



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Ecologie Végétale

N° d'ordre : 111/D3C/2019

N° de série : 05/ECO/2019

Thèse

En vue de l'obtention de doctorat 3^{ème} cycle

Filière : Biotechnologie-Biologie-Environnement

**Spécialité : Gestion Durable des Écosystèmes et
Protection de L'environnement**

Thème

**BIOSTIMULATION DES SOLS CULTIVES PAR APPORT
DE BOIS RAMEAL FRAGMENTE (BRF) ET DE FUMIER**

Présentée par :

KERROUCHE Ibrahim

Le : 10/12/2019

Devant le jury :

Président :	ALATOU Djamel	Prof. UFM Constantine 1.
Rapporteur :	OUAHRANI Ghania	Prof. à UFA Sétif.
Examineurs :	M. SAHEB Menouar	Prof. UNIV. Larbi Ben m'hidi, Oum El Bouaghi.
	BAZRI Kamel Eddine	MC.A. UFM Constantine 1.

Année universitaire : 2018/2019



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI CONSTANTINE



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Ecologie Végétale

N° d'ordre : 111/D3C/2019

N° de série : 05/ECO/2019

Thèse

En vue de l'obtention de doctorat 3^{ème} cycle

Filière : Biotechnologie-Biologie-Environnement

**Spécialité : Gestion Durable des Écosystèmes et
Protection de L'environnement**

Thème

**BIOSTIMULATION DES SOLS CULTIVES PAR APPORT
DE BOIS RAMEAL FRAGMENTE (BRF) ET DE FUMIER**

Présentée par :

KERROUCHE Ibrahim

Le : 10/12/2019

Devant le jury :

Président :	ALATOU Djamel	Prof. UFM Constantine 1.
Rapporteur :	OUAHRANI Ghania	Prof. à UFA Sétif.
Examineurs :	M. SAHEB Menouar	Prof. UNIV. Larbi Ben m'hidi, Oum El Bouaghi.
	BAZRI Kamel Eddine	MC.A. UFM Constantine 1.

Année universitaire : 2018/2019



J'ai le plaisir de dédier ce travail,

A mes parents

Qui m'ont toujours entouré de leur amour et de leur tendresse.

*Sans votre bonne éducation et vos nobles sacrifices je ne serai jamais
arrivé là où je suis aujourd'hui.*

A mes soeurs et frères

*Je vous dédie ce travail en témoignage des liens solides et intimes qui
nous unissent en vous souhaitant un avenir plein de succès et de
bonheur.*

A mes nièces

Nidhal, Takwa-Douaa, Soundouss, Amani et Allaa Fatima Alzahraa.

Je vous souhaite que du bonheur et une vie pleine de succès.

A tout(es) mes fidèles amis(es)

*Aziz, Mohamed Ghana, Mohamed Bendjabllah, Houssam, Saber,
Achraf, Chouaki, Nabil, Mourad, Sadek, Zizou, Loubna, Aicha,
Rayenne, Dounia, Widad, Abla, Mounia, Djenet.*

*Que notre amitié puisse durer éternellement. Puisse ce travail vous
exprime mes souhaits de succès.*

*A toute notre équipe du laboratoire de compostage et
Imobricompostage*

*Professeur, madame Ouahrani Ghania, Monsieur : Bazri kamel
eddine, à Aicha, Hassina, Asma, Maria, Rayenne et Hamza.*

A tous ceux qui m'ont soutenu et qui me soutiennent encore,

Veillez accepter mes meilleurs voeux de prospérité.



L'accomplissement du présent travail n'a été possible qu'avec le soutien d' "ALLAH" le tout clément, le tout miséricordieux.

Je tiens à remercier madame OUAHRANI Ghania, ma directrice de thèse, Je la remercie pour son soutien surtout moral durant ces années et pour nos discussions et sa rigueur scientifique et son exigence qui m'ont poussé à aller toujours plus loin et surtout pour sa gentillesse. Mille Mercis professeur.

Je remercie Monsieur Alatou Djamel Professeur à l'université de Constantine1 d'avoir accepté de présider mon jury.

Mes remerciements s'adressent également à monsieur SI BACHIR Abdelkrim Professeur à l'Université Hadj Lakhder de Batna pour avoir accepté de faire partie du jury et de juger ce travail.

Je me dois tout autant de remercier Monsieur BAZRI Kamel Eddine, maitre de conférences à l'université de Constantine 1, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie également Monsieur DARIO J. DIAZ COSIN Professeur à l'université Complutense de Madrid de m'avoir accueilli au sein de son laboratoire parmi son équipe de recherche, je remercie également madame DOLORES TRIGO AZA Professeur à l'université Complutense de Madrid ainsi que Monica Gutirez Lopèz Docteur à l'université Complutense de Madrid pour leur sympathie, leur disponibilité, leurs idées et conseils.

Je tiens à exprimer mes remerciements à tout le personnel de l'Institut Technique des Grandes Cultures d'el khroub (ITGC), plus particulièrement le directeur ; monsieur Sakhri, Zelti abd essaïem et Reda ainsi que pour toutes les facilités et l'aide qu'ils m'ont fournie au cours de mon travail là-bas

J'adresse aussi mes sincères remerciements à toutes les personnes qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

Remerciement

Sommaire

Glossaire

Résumé

Introduction.1

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

1.1. Les Déchets verts3

1.1.1. Définition3

1.1.2. Compositions3

1.1.3. Origine des déchets verts3

1.1.4. Cadre réglementaire applicable aux déchets verts4

1.2. Bois raméal fragmenté5

1.2.1 Historique6

1.2.2 Types de bois utilisables.....7

1.2.3 Composition du Bois raméal.....7

1.2.4. Rôle.....8

1.3. Le fumier.....9

1.3.1. Définition.....9

1.3.2. Historique.....9

1.3.3. Les différents types de fumiers10

1.3.4. Les usages11

1.4. L'écosystème Sol.....11

1.4.1. Sol : compartiment abiotique.....11

1.4.2. Les champignons.....16

1.4.3. La faune du sol18

1.5. LE BLE DUR.....39

1.5.1. Présentation de la culture du blé dur.....39

Chapitre 2 : Présentation de la région d'étude La ferme de El Baaraouia

2.1. Situation géographique et localisation de la Wilaya de Constantine.....	44
2.2. Caractéristiques climatiques	45
2.2.1. Les Précipitations	45
2.2.2. Les Températures	45
2.3. L'étage bioclimatique de la zone d'étude	48
2.4 Sols	49
2.5. La ferme pilote «El-Baaraouia»	49

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes.

3.1. Présentation de la Station d'étude	51
3.2. Mise en place de l'expérience sur terrain.....	51
3.2.1. Plan expérimental	51
3.2.2. Choix des déchets	52
3.2.3. Calcul des apports.....	55
3.2.4. Le fumier	55
3.2.5. Choix des vers de terre	55
3.2.6. Présentation des différentes placettes	56
3.3. Méthodes d'échantillonnage	57
3.3.1. Prélèvement du sol pour les paramètres physico-chimiques	57
3.3.2. Prélèvement du sol pour les paramètres biotiques.....	58
3.4. Paramètres déterminés.....	58
3.4.1. Paramètres physico-chimiques.....	58
3.4.2. Détermination des paramètres biotiques	65
3.5. Détermination de la productivité primaire du blé dur (g/m ²).....	67

3.6. Traitement statistique des données	67
---	----

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

4.1. Paramètres abiotiques	68
4.1.1. Analyse granulométrique du terrain d'étude	68
4.1.2. T°C sol	71
4.1.3. % H sol	86
4.1.4. Le pH sol	102
4.1.5. Fluctuations saisonnière de la Conductivité électrique (CE) sol en automne, printemps et été	117
4.1.6. Fluctuations du %CaCO ₃	134
4.1.7. Fluctuations saisonnière du CaCO ₃ actif en automne, printemps été	147
4.1.8. La porosité du sol (% P)	158
4.1.9 Carbone total (% C) et Matière Organique (%MO)	161
4.1.10. L'azote total	166
4.1.11. Le rapport C/N	169
4.2. Compartiment biologique	172
4.2.1. Les Champignons microscopiques étudiés	172
4.2.2. Densité des collemboles et des Acariens récoltés	184
4.2.3. Détermination de l'indice de la qualité biologique des sols étudiés (QBS)	196
4.2.4. Impact de l'apport de BRF et du fumier sur la croissance et développement d' <i>Octodrilus complanatus</i>	203
4.2.5. Compartiment Blé	207
5.3 Corrélation entre compartiment abiotique et biotique	228
Conclusion Générale	231
Annexes	236
Références Bibliographiques	241

Article

Glossaire :

ITGC : Institut Technique des Grandes Cultures.

T : témoins.

BRF : Bois Raméal fragmenté.

BRFF : Bois Raméal fragmenté et du fumier.

BRFV : Bois Raméal fragmenté et vers de terre.

BRFFV : Bois Raméal fragmenté et du fumier et en présence de vers de terre.

T°C : la température.

H% : l'humidité.

% CaCO₃ : % calcaire totale.

%Ca⁺⁺ : % calcaire actif.

%C : % carbone total.

% M,O : % de la matière organique.

%N : taux d'azote total.

C/N : rapport C/N.

pH : Potentiel Hydrogène.

%P : Porosité.

D (a) : la densité apparente.

D (r): la densité réelle.

CE (µS/cm) : Conductivité électrique.

QBS indice : indice de la Qualité Biologique du Sol.

IEM : Indice éco-morphologique.

O.transpadanus : *Octodrilus Complanatus*.

S : Sable.

A : Argile.

L : Limon.

Ufc : Unité formant colonie.

Lt : longueur des tiges.

pFa : la phytomasse Fraiche aérienne.

pS a : Phytomasse sèche.

Résumé :

Une étude de biostimulation des sols cultivés a été menée pendant 4 ans (2014 à 2017) pour déterminer la valeur agricole de déchets verts le Bois Raméals fragmentés (BRF), le Fumier et l'épandage de vers de terre anécique (*Octodrilus complanatus*). Les résultats montrent : que le sol choisi, appartient à la classe limon sableux, la température du sol change d'un milieu à l'autre, d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre. L'humidité du sol change d'un milieu à l'autre, Elle varie notamment d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre. Le pH varie en fonction du milieu, entre saisons et années, au début l'expérimentation, le pH est en moyenne alcalin $[7,63 \pm 0,06]$, puis en fin d'expérimentation il devient en moyenne peu alcalin $[7,43 \pm 0,03]$. La conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) change d'un milieu à un autre, d'une année à l'autre. Toutefois, l'apport du BRF et du fumier n'a pas affecté la classe de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) du sol, elle est restée en Classe I (non salé). Le sol étudié est fortement riche en calcaire. L'apport de BRF de nectarine et du fumier de bovins n'ont pas affecté le % CaCO_3 et le sol analysé reste dans la classe fortement calcaire. Il est à noter que la porosité (%) du sol étudié passe de la classe très mauvaise (34,0 %) à la classe moyenne (43,1 %) à la fin de l'étude. La moyenne du % C du sol en fin de processus (1,96 %C) est légèrement plus élevée par rapport au début de l'expérience (1,84 % C). Il y eu un enrichissement de carbone organique et de la M.O après apport de de BRF de nectarine et du fumier de bovins. Pour, le %Nt en fin d'expérience a augmenté significativement de 12 % par rapport au début de l'essai. Pour le compartiment biotique, nous avons noté une augmentation de la densité des champignons microscopiques, des microarthropodes (collemboles et acariens) dans les placettes amendées par rapport au témoin. En outre, l'indice de la qualité biologique du sol (QBS) est multiplié par 2 par rapport au témoin dans les différentes placettes étudiées. Par ailleurs, l'ajout de BRF du Nectarinier et du fumier de bovins, favorise la croissance et le développement d'*O. complanatus*. Aussi, le BRF de nectarinier (*Prunus persica* var. *nucipersica*) et le fumier de bovin, stimule significativement la productivité (g/m^2) du blé dur (*Triticum durum*) de la variété Hedba 3. En effet, la phytomasse fraîche et sèche aérienne (g/m^2), ont augmenté respectivement de 282 % et de 275 % par rapport au témoin. Toutefois, la présence de vers de terre avec BRF et fumier (BRFFV) favorise plus la production de la biomasse fraîche aérienne (pFa (g/m^2)). Cette étude sur la contribution du bois raméal fragmenté(BRF) est très intéressante futuriste pour le développement durable des écosystèmes. En effet, elle a montré que le BRF est un entrant énergétique pour l'espèce *Octodrilus complanatus*.

Mots clés : Sol, Fertilité, Agroécologie, Gestion des déchets, Valorisation, Bois Raméals Fragmentés (BRF), Biologie du sol, Biostimulation, blé dur, Microarthropodes, Vers de terre anéciques.

A biostimulation study of cultivated soils was conducted for 4 years (2014 to 2017) to determine the agricultural value of green waste Ramial Fragmented Wood (BRF), Manure and land application of anecic earthworms (*Octodrilus complanatus*). The results show that, the soil chosen belongs to the sandy loam class, the soil temperature varies from one environment to another, from one season to another and from one year to the next. Soil moisture changes from one environment to another, and varies from season to season and from year to year. The pH varies according to the medium, between seasons and years, at the beginning of the experiment, the pH is on average alkaline [7.63 ± 0.06], then at the end of the experiment it becomes on average little alkaline [$7, 43 \pm 0.03$]. The electrical conductivity ($\mu\text{S} / \text{cm}$) changes from one medium to another, from one year to the next. However, the intake of BRF and manure did not affect the EC class ($\mu\text{S} / \text{cm}$) of the soil; it remained in Class I (unsalted). The soil studied is rich in limestone, the BRF intake of Nectarine and cattle manure did not affect the% CaCO_3 and the soil analyzed remained in the highly calcareous class. It should be noted that the porosity (%) of the soil studied goes from the very poor class (34.0%) to the middle class (43.1%) at the end of the study. The average soil% C at the end of the process (1.96% C) is slightly higher compared to the beginning of the experiment (1.84% C). There was an enrichment of organic carbon and M.O. after addition of BRF of nectarine and cattle manure. For, the% Nt at the end of the experiment increased significantly by 12% compared to the beginning of the test. For the biotic compartment, we noted an increase in the density of microscopic fungi, microarthropods (collembolans and mites) in the amended plots compared to the control. In addition, the index of soil biological quality (QBS) is multiplied by 2 compared to the control in the different plots studied. In addition, the addition of BRF Nectarine and cattle manure, promotes the growth and development of *O. complanatus*. Also, the BRF of nectarine (*Prunus persica var nucipersica*) and cattle manure significantly boosts the productivity (g / m^2) of durum wheat (*Triticum durum*) of the Hedba 3 variety. (g / m^2) increased by 282% and 275%, respectively, compared with the control. However, the presence of earthworms with BRF and manure (BRFFV) favors more the production of fresh aerial biomass (pFa (g / m^2)), This study on the contribution of Fragmented Ramial Wood (BRF) is very interesting futuristic for the in fact, it has shown that the BRF is an energy input for the species *Octodrilus complanatus*.

Key words: Soil, Fertility, Agroecology, Waste management, Valorisation, Fragmented Ramial Wood (BRF), soil biology Biostimulation, Durum wheat, Microarthropods, Anecic earthworms.

ملخص :

أُجريت دراسة تحفيزية عن التربة المزروعة لمدة 4 سنوات (2014 إلى 2017) لتحديد القيمة الزراعية لخشب النفايات الخضراء المجزأ (BRF) ، الروث و ديدان الأرض (*Octodrilus complanatus*). تظهر النتائج: أن التربة المختارة ، تنتمي إلى الطبقة الرملية الطمية ، تتغير درجة حرارة التربة من بيئة إلى أخرى ، من موسم إلى آخر ومن سنة إلى أخرى. تتغير رطوبة التربة من بيئة إلى أخرى ، وتختلف من موسم إلى آخر ومن سنة إلى أخرى. تختلف درجة الحموضة باختلاف الوسط ، بين الفصول والسنوات ، في بداية التجربة ، يكون الأس الهيدروجيني في المتوسط قلوي [7.63 ± 0.06] ، ثم في نهاية التجربة يصبح متوسط القلوية [7 ، 43 ± 0.03]. تتغير الموصلية الكهربائية (μS / cm) من وسط إلى آخر . ومع ذلك ، فإن الخشب المجزأ والسماذ لا يؤثران على الموصلية الكهربائية (μS / سم) في التربة ، وظلت في الدرجة الأولى (غير ملحية). التربة المدروسة غنية بالحجر الجيري ، ومع ذلك ، خلال هذه التجربة ، لوحظت اختلافات في %الحجر الجيري CaCO3 ، لكن إضافة الخشب المجزأ BRF وروث الماشية لم تؤثر على % CaCO3 وظلت التربة التي تم تحليلها في الطبقة الجيرية العالية. تجدر الإشارة إلى أن المسامية (%) من التربة المدروسة تنحدر من الطبقة الفقيرة للغاية (%34.0) إلى الطبقة المتوسطة (%43.1) في نهاية الدراسة. متوسط الكربون في التربة في نهاية العملية (%1.96) أعلى بقليل مقارنة ببداية التجربة (%1.84). كان هناك إثراء للمادة العضوية و بعد إضافة الخشب المجزأ BRF من النكتارين وروث الماشية. كذلك لحضنا زيادة في نسبة الازوت في نهاية التجربة بشكل ملحوظ بنسبة 12 % مقارنة مع بداية الاختبار. بالنسبة للحجرة الحيوية ، لاحظنا زيادة في كثافة الفطريات المجهرية ، و مفصليات الأرجل المجهرية في القطع المعدلة مقارنة بالمجموعة الضابطة. بالإضافة إلى ذلك ، تضاعف مؤشر الجودة البيولوجية للتربة (QBS) في القطع المعدلة مقارنة بالمجموعة الضابطة. وبالإضافة إلى ذلك ، فإن الخشب المجزأ BRF وروث الماشية ، يعزز نمو وتطور *O. complanatus*.

بالإضافة إلى ذلك ، فإن إضافة الخشب المجزأ BRF من النكتارين (*Prunus persica var nucipersica*) وروث الماشية يعززان بشكل كبير الإنتاجية (g / m²) من القمح القاسي (*Triticum durum*) من نوع هدبة3. في الواقع ، ازدادت كمية الكتلة الحيوية الهوائية المبللة و الجافة (g / m²) بنسبة %282 و %275 على التوالي مقارنة بالمجموعة الضابطة. ومع ذلك ، فإن وجود ديدان الأرض مع الخشب المجزأ BRF والسماذ (BRFFV) يزيد إنتاج الكتلة الحيوية الهوائية ، هذه الدراسة عن مساهمة الخشب المجزأ (BRF) هي مستقبلية و مثيرة للاهتمام للغاية بالنسبة للتنمية المستدامة للنظم الإيكولوجية. في الواقع ، أظهرت أن BRF هو محفز ل *Octodrilus complanatus*.

كلمات البحث: التربة، الخصوبة، إيكولوجيا الزراعة، إدارة النفايات، التثمين، الخشب المجزأ (BRF)، علم الأحياء التربة تحفيز حيوي، القمح الصلب، مفصليات الأرجل المجهرية وديدان الأرض.

Introduction

Introduction

La protection de l'environnement devient de plus en plus une préoccupation collective. La question des déchets est quotidienne et cruciale car elle touche chaque être humain tant sur le plan professionnel que familial. En tant que: Consommateur, Producteur, Usager du ramassage des ordures et trieur de déchets recyclables, citoyen ou contribuable, Chacun peut et doit être acteur majeure d'une gestion adéquate des déchets.

La gestion des déchets constitue aujourd'hui un véritable enjeu tant financier en raison du cout élevé du traitement des déchets qu'environnemental. Les principaux problèmes relatifs à une gestion saine déchets relèvent sans doute au manque d'informations régulières sur leur emplacement, leur volume et leur impact sur l'environnement et la santé humaine.

L'augmentation de la production agricole pour répondre à la demande alimentaire humaine, cette augmentation qui se traduit par l'intensification de l'agriculture on utilisant des engrais minéraux pour la fertilisation, ainsi que des machines puissantes et sophistiquées peuvent avoir des effets néfastes tels que l'érosion et la dégradation des sols, la pollution des eaux souterraines, l'eutrophisation des habitats aquatiques, les émissions de gaz à effet de serre, etc. L'abaissement du taux de la matière organique dans les sols cultivés a imposé les chercheurs de trouver des techniques durables pour palier ce phénomène. L'agriculture biologique est un système de gestion de production holistique qui favorise et met en valeur la santé de l'agro-écosystème, y compris la biodiversité, les cycles biologiques et l'activité biologique du sol tout en utilisant des produits naturels dans les systèmes de production agricole. L'application des amendements organiques a retrouvé de l'intérêt en tant qu'alternative durable pour la gestion des écosystèmes tout en améliorant les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. L'apport des amendements organiques au sol peut être effectué sous différentes formes : les déjections de bétail directement déposées au sol ou après collecte, traitement et application ; le compost. Ainsi une technique québécoise vise à épandre des branches de ligneux broyées sur le sol et à les incorporer à celui-ci, pour augmenter son taux de matières organiques. Ces branches broyées portent le nom de Bois Raméaux Fragmentés (BRF).

Cette technique d'aggradation des sols a été développée par un groupe de chercheurs canadiens dirigé par le professeur Gilles Lemieux de l'Université de Laval au Québec dans les années 80. Le BRF est aujourd'hui pratiqué dans de nombreux pays avec des résultats étonnants, aussi bien sur des sols stériles que des sols déjà fertiles.

Introduction

Par ailleurs, la présence de matière organique dans les sols agricoles est un facteur important pour évaluer l'état du sol. Le BRF et le Fumier sont des entrants énergétiques qui peuvent améliorer le sol. Le Bois Raméal Fragmenté (BRF) désigne l'ensemble de branches qui ont un diamètre inférieur à 7 cm. Ces branches se caractérisent par une teneur en composés phénoliques faible et une teneur en nutriments relativement élevée. En outre, les BRF constituent une source importante de carbone pour les sols agricoles dégradés. En générale, les amendements organiques riches en carbone, favorise la vie du sol.

L'objectif de ce travail est de de contribuer à la biostimulation des sols incultes par l'apport de Bois Raméal Fragmenté (= BRF), du fumier), et de vers de terre anéciques de l'espèce *Octodrilus complanatus*. Cette étude s'inscrit dans la gestion et la valorisation des déchets vert biodégradables.

Au cours de cette étude, nous nous sommes intéressés à l'évolution des paramètres abiotiques (pH, T°C, %H...etc.) et biotiques (champignons microscopiques, collemboles...etc.). Par ailleurs, nous avons mené des cultures de blé dur (*Triticum durum*) de la variété Hedba 3, pour évaluer la fertilité des placettes étudiées grâce à la productivité primaire (g/m²).

Le premier chapitre donne les notions clés concernant des déchets verts, le Bois Raméal Fragmenté (BRF), le fumier, l'écosystème Sol (paramètres abiotiques et biotiques) et la culture de blé seront définies.

Le deuxième chapitre présente la situation géographique et la localisation de la zone d'étude ainsi que les caractéristiques climatiques de la zone.

Le troisième chapitre présente les placettes étudiées, ainsi que les matériels et méthodes utilisés pour suivre l'évolution des paramètres abiotiques et biotiques durant cette étude.

Le quatrième chapitre présente les résultats et la discussion.

Enfin, la conclusion recadre l'étude, souligne ses principaux résultats et s'oriente ensuite vers les perspectives.

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

1.1. Les Déchets verts :

1.1.1. Définition :

Les déchets verts sont définis comme étant des déchets d'origine végétale qui proviennent de l'entretien des jardins publics et particuliers et des espaces verts. Ils sont constitués de feuilles mortes, des déchets d'élagage, de gazon de taille des arbres. Ils regroupent différents types de déchets qui ont été classés en 4 grandes catégories :

- Tontes de pelouses et fauchage : déchets cellulosiques.
- Feuilles mortes : déchets ligno-cellulosiques à cellulosiques.
- Tailles d'arbustes, haies, arbustes et brindilles : déchets ligno-cellulosiques.
- Elagage et abattage d'arbres et haies : déchets ligneux.

Ces déchets sont produits par les collectivités, les sociétés privées d'entretien des espaces verts et des particuliers. On exclut de ce type de déchets, les déchets végétaux résultant des activités agricoles ou forestières ainsi que les déchets verts souillés par des substances dangereuses (Anonyme1, 2015)

1.1.2. Compositions :

La composition des déchets verts se diffère selon leur nature :

- Les branches d'élagage et les tailles de haies sont des produits ligneux, secs et fibreux qui se dégradent lentement (Anonyme 2, 2001).
- Les tontes de gazons, les fleurs et plantes fraîchement coupées, les pousses vertes sont des produits très fermentescibles plutôt riches en eau, en sucres et en azote qui sont sensibles au tassement (Anonyme 2, 2001).

1.1.3. Origine des déchets verts :

Ces déchets résultent de l'entretien des espaces verts publics (espaces plantés ou couverts de végétation destinés à l'accueil et la détente du public). Ils proviennent aussi de l'entretien des jardins des particuliers (espaces plantés associés aux maisons individuelles). Les alignements d'arbres le long de la voirie sont également pris en compte.

1.1.4. Cadre réglementaire applicable aux déchets verts :

En Algérie, il n'y a pas de réglementations spécifiques concernant la gestion des déchets verts, on se contente de citer celle appliquée pour les déchets ménagers, la gestion de ces derniers est basée sur le Programme National de Gestion Intégrée des Déchets solides Ménagers (PROGDEM), adopté en 2002. Cette démarche intégrée, graduelle et progressive a été instituée, par la loi 01-19 du 12 décembre 2001.

La loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, traitant des aspects inhérents à la prise en charge des déchets spéciaux, et dont les principes sont :

- la prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source,
- l'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets,
- la valorisation des déchets par leur réemploi et par leur recyclage,
- le traitement écologiquement rationnel des déchets,
- l'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leurs impacts sur la santé et l'environnement,
- l'institution d'outils de gestion: Plan National de Gestion des Déchets Spéciaux (PNAGDES),
- la réglementation relative

En France, il est interdit de déposer les déchets verts à la périphérie des villes par la réglementation, car cela contribue à la dégradation des paysages et génèrent les mêmes nuisances et pollutions qu'une décharge non contrôlée. En outre, il favorise souvent l'émergence d'amas d'autres détritiques (Anonyme 2, 2001).

En ce qui concerne le brûlage en plein air, la réglementation française applicable aux brûlages de végétaux se diffère selon qu'il s'agit d'écobuage pratiqué dans le cadre d'une exploitation agricole ou forestière ou brûlage de déchets issus de parcs, jardins et cimetières (Anonyme 3. 2011).

Dans le cadre de l'écobuage, il convient en effet d'appliquer les arrêtés préfectoraux des 8 mars 1974 (Arrêté 1974, arrêté française) et 11 juillet 1984 (incinération- végétaux 11juil1984, arrêté française) autorisant les brûlages de végétaux sur pied et des rémanents de débroussaillage à certaines périodes de l'année (Anonyme 3. 2011).

Le brûlage en plein air des ordures ménagères ou assimilées (donc des déchets verts) est interdit (Règlement sanitaire type, article français 84). Dans la pratique, il crée des problèmes de sécurité pour les agents municipaux et provoque une pollution atmosphérique (poussières, oxyde de carbone...). Toutefois, le brûlage est parfois toléré pour les particuliers par arrêté préfectoral à certaines périodes de l'année (Anonyme 2, 2001).

A Luxembourg et selon le plan général de gestion des déchets paru en 2010 et selon les dispositions de la loi du 17 juin 1994, la gestion des déchets organiques incombe aux communes ou, le cas échéant, aux syndicats intercommunaux dans la mesure où il s'agit de déchets organiques d'origine ménagère ou de déchets assimilés. La gestion des autres déchets organiques incombe à leurs producteurs. Les déchets organiques doivent obligatoirement être valorisés par compostage ou par un autre procédé adapté à leur nature et aux caractéristiques régionales et locales.

1.2. Bois raméal fragmenté :

Le BRF est constitué de branches d'arbres broyées (Fig.1.1), qui ont un diamètre inférieur à 7 cm (Lemieux, 1986). Selon, Hendrickson (1987), 75 % des nutriments dans un arbre, sont situés dans les branches de moins de 7 cm de diamètre.



Figure 1.1 : Photo Bois Raméal Fragmenté (Kerrouche, 2016).

1.2.1 Historique :

Dans les années 1970, au Québec, M. Edgar Guay, ministre adjoint au ministère des Terres et Forêts du Québec, proposait un agriculteur qui avait des problèmes de sécheresse dans son champ de blé et qui veut augmenter le taux de matière organique de ses terres, d'utiliser des copeaux de bois. En première année la fertilité augmente et la zone traitée résiste à la sécheresse alors que la partie non traitée sèche sur place (Tissaux, 1996 in Tanguy 2006). L'année suivante, les rendements en céréales ont atteint plus de 170 % de la parcelle témoin (Guay *et al.*, 1981 et 1982), ainsi que le taux de la matière organique passe de 3 à 6 %. Ces résultats furent le début au Canada, des recherches plus approfondies. C'est à ce moment-là que M. Gilles Lemieux, professeur à l'Université de Laval au Québec, s'est montré intéressé par les différents effets de ces copeaux, entre 1983 jusqu'au 1989, il a mis en place plus de 300 parcelles, afin de vérifier l'influence ces rameaux de bois sur l'amendement des sols, il les a donné le nom de Bois Raméaux Fragmentés (Lemieux, 1986) (Tissaux, 1996 in Tanguy 2006). Aujourd'hui encore cette technique est encore mal connue en Afrique, où on trouve juste quelques pays comme le Burkina-Faso, le Sénégal, le Côte d'Ivoire, ou le Madagascar qui ont tenté de faire des essais de recherches pour comprendre ses effets dans les circonstances locales (Mutonkole, 2013).

1.2.2 Types de bois utilisables :

Les rameaux qui peuvent être utilisés en BRF sont les rameaux jeunes qui ont un diamètre inférieur à 7 cm, provenant d'un mélange d'arbres (bois durs à forte teneur en tannins tels que le chêne, le châtaignier, l'érable, le hêtre, le robinier) sont utilisables en BRF. En effet Le bois de grosses branches ou caulinaire, ne pas être utilisé en BRF, le rapport C/N de ces branches est un rapport très élevé (600), ce qui nécessite une très grande quantité d'azote pour qu'il soit dégradé. Les résineux sont utilisables mais avec un pourcentage de 10 à 20 % en raison de leur lignine spécifique (Dupéty et Bertrand, 2007 ; Asselineau et Domenech, 2007).

1.2.3 Composition du Bois raméal :

Les constituants principales des BRF sont : la cellulose, l'hémicelluloses, la lignine, les protéines, les sucres et les acides aminés ainsi que de métabolites secondaires comme les polyphénols, les alcaloïdes, les pigments et les régulateurs de croissance (Fengel et Wegener, 1984; Lemieux, 1986 et Haider, 1992). La composition, ainsi que la concentration en nutriments des BRF, varient considérablement par rapport au bois caulinaire (Miller, 1984; Lemieux, 1986; Larochelle, 1993).

Les concentrations en nutriments sont plus élevées chez les feuillus que chez les résineux (Van Den Driessche, 1984 ; Barthès *et al.*, 2010). Le taux en nutriments dans le bois que dans l'écorce de l'arbre décroît avec l'accroissement du diamètre (Hendrickson, 1987). De plus, le contenu total en nutriments dans les rameaux est plus élevé chez les Angiospermes que chez les Gymnospermes, notamment en ce qui concerne la teneur en azote (Williams et Gray, 1974; Hendrickson, 1987). En effet, les BRF est constitué en moyenne de 0,46 à 1,15 % d'azote (N), de 0,26 à 1,10 mg/g de phosphore (P), de 1,40 à 5,30 mg/g de potassium (K), de 3,00 à 13,99 mg/g de calcium (Ca) et de 0,42 à 1,20 mg/g de magnésium (Mg) (Tremblay et Beauchamp, 1998). A l'opposé, le bois contient 20 à 25 % de Ca, 2 à 10 % de K, 0,5 à 1,5 % de P (www.medieco.info), 0,15 à 0,25 % de Mg et 1 à 1,1 % de N (Bernhard, 1970 in Mutonkole, 2013).

La lignine est une macromolécule amorphe et complexe, non linéaire, constituée d'un système aromatique et phénolique (Stevanovic et Perrin, 2009 in Muttonkole, 2013), c'est un constituant important des tissus des plantes vasculaires, il représente en moyenne 18 à 35 % de leur poids total (Kirk et Fenn, 1982 ; Stevanovic et Perrin, 2009). La lignine est moins polymérisée au niveau des rameaux, par rapport aux branches et au bois caulinaires (Lemieux et Tétreault, 1994). Cette macromolécule réduit la sensibilité aux pathogènes et empêche l'attaque des enzymes telles que la cellulase et l'hémicellulase car elle exerce un effet protecteur vis-à-vis de la cellulose et l'hémicelluloses (Kirk et Fenn, 1982).

Les polyphénols sont des composés benzéniques renfermant plusieurs hydroxyles phénoliques (Stevanovic et Perrin, 2009 in Muttonkole, 2013). La concentration en polyphénols diffère selon la taille et l'âge de l'arbre ainsi selon les espèces (Scheffer et Cowling, 1966 ; Käärik, 1974), les plus hautes concentrations des polyphénols se localisent dans le bois de cœur à la base du tronc (Scheffer et Cowling, 1966). Ainsi, la concentration en polyphénols dans les rameaux est la moins élevée (Larochelle, 1993). Concernant la relation qui existe entre le pourcentage en composés phénoliques et la fertilité du site de croissance, plusieurs recherches ont montré qu'il existe une corrélation entre le taux en composés phénoliques dans les tissus végétaux est la fertilité du site. En effet, la concentration en polyphénols augmente avec la pauvreté du site (Davies, 1971; McKey *et al.*, 1978 ; Swift *et al.*, 1979; Muller *et al.*, 1987; Roy *et al.*, 2001; Yaakoubi *et al.*, 2009).

1.2.4. Rôle :

Le BRF a plusieurs rôles qui sont :

Le BRF régénère et maintient la richesse du sol. En effet, en présence des basidiomycètes, la lignine va être dépolymérisée, conduisant ainsi à la production de glomalines favorables à la pédogenèse, qui permet le développement d'une chaîne alimentaire à partir de micro-organismes (En premier lieu, ce sont les populations de champignons qui seront fortement stimulés, suivies par d'autres organismes de la pédofaune) jusqu'aux organismes de la faune du sol (vers de terre). La présence de vers de terre permet de creuser un réseau de galerie en aérant le sol tout en assurant l'évolution rapide du BRF vers la formation d'humus (l'augmentation du taux d'humus de 1% en 10 ans, alors qu'il faut 67 ans avec du fumier).

Quand le BRF est épandu sur le sol (couche superficielle du sol), il diminue l'évaporation de l'eau du sol (empêche les remontées d'eau par capillarité), il absorbe les eaux de pluies et limite le lessivage, notamment en l'absence de couvert végétal. De plus, l'activité biologique des champignons permet une régulation de l'humidité, le sol n'est donc jamais ni sec ni engorgé.

Le BRF est reconnu par son effet tampon sur la température du sol (moins chaud en été), ce qui protège les plantes ainsi que la pédofaune.

L'utilisation du BRF en paillage diminue le développement des mauvaises herbes, l'amélioration de la structure du sol facilite leur arrachage.

1.3. Le fumier :

1.3.1. Définition :

Le fumier est une matière organique résultant des déjections (excréments et urine) d'animaux mélangées avec la litière (paille, fougère, etc.) (Petit et Jobien, 2005), après transformation (compostage), on l'utilise comme fertilisant en agriculture. Par l'apport de matières organiques et de nutriments, particulièrement l'azote, les fumiers aident à maintenir la fertilité des sols (Duplessis, 2002; Hiraoka *et al.*, 2005).

1.3.2. Historique :

Le fumier a été considéré comme une richesse, à cause de sa valeur marchande. Vue l'absence d'égouts et la présence d'une population animale et humaine plus intense assuraient une production continue, la ville fut pendant longtemps une source privilégiée de matière fertilisante pour les agriculteurs, une partie de cette production de fumier a été assurée dans les fermes grâce à l'élevage de bétail. (King, 1992). En Ecosse, c'est les habitants des bourgs eux-mêmes qui s'occupaient à la collection des excréments dans les rues, et à leur épandage dans leurs jardins ou dans les champs de la ville, où ils cultivaient leur propre nourriture (Oram, 2011). Dans les Pays-Bas autrichiens, les décisions concernant le nettoyage des villes, et plus particulièrement la vidange des latrines et le ramassage des boues, longtemps aux mains des autorités locales, fait l'objet de l'intervention du pouvoir central à partir de 1760. A Namur, pour actualiser l'agriculture en l'orientant vers

l'utilisation intensive du fumier sur leurs terres, les magistrats de la ville sont sommés en 1765 d'organiser le ramassage des excréments (Parmentier, 2007).

Avec l'accroissement des villes et le développement des moyens de transports, le fumier est commercialisé de plus en plus loin : à la fin du 17^{ème} siècle, sur des distances plus longues que les céréales (Brunt, 2007). A partir du 19^{ème} siècle la présence des chevaux dans les villes, génèrent des quantités énormes d'excréments. Les autorités urbaines se retrouvent face à un problème de taille, d'autant plus que la présence de ces ordures font le nid ce qui provoquaient des épidémies de choléra. Les villes se munissent alors d'éboueurs pour assurer la collection des déchets ménagers, ainsi que des balayeurs de rues qui ramassaient les excréments d'animaux dans les rues. Ces collectes ont été centralisées dans une ferme des boues, puis ils ont vendu aux agriculteurs. (Erman, 2012), ainsi le développement des voies de chemin de fer, contribuait à l'évacuation du fumier (Barles, 2005). Au fur et à mesure, que les villes se munissent des systèmes d'égouts la valorisation des eaux usées et autres boues d'épuration s'y installait.

1.3.3. Les différents types de fumiers :

Le fumier de cheval : Il présente une forte dose de matières sèche ce qui aide à l'amélioration des sols lourds. Il est préférable de l'incorporer au sol en automne ce qui permet encore sa transformation en humus. Il peut être utilisé en paillage aux pieds de certaines plantes comme les rosiers, les tomates, les melons ou les concombres. La décomposition du fumier de cheval frais augmente la température ce qui le rend utilisable pour la culture en couches chaudes sous châssis afin d'avancer certaines cultures.

Le fumier de bovins : Riche en matières organiques, il contribue à l'amélioration des terres légères. On l'incorpore au sol en automne après un compostage d'au moins six mois. Ce type de fumier chauffe peu, on ne l'utilise donc pas en couches chaudes.

Le fumier de moutons : Riche en potasse en comparaison aux autres types de fumiers. Il s'utilise en terrains lourds de la même façon que le fumier de bovins.

Le fumier de volailles : Ce type de fumier est très concentré et extrêmement riche en azote, en faisant attention au risque de brûlure des plantes car il. Il faut le diluer avant

de l'utiliser, ou l'incorporer au compost avec un pourcentage qui ne dépasse pas les 5 % du volume total (Anonyme 4).

1.3.4. Les usages :

Le fumier se distingue par sa richesse en matières organiques. Toutefois, il n'est pas conseillé de l'utiliser comme il est. En premier lieu il doit recevoir des traitements particuliers car il contient un taux très élevé d'ammoniaque, de germes pathogènes ainsi que des graines qui ont l'aptitude de germer et qui par conséquent affectent les cultures. En outre, la température de fumier peut s'élever à plus de 50° au cours de la fermentation. Il faut donc l'entasser en tas pour le laisser se décomposer un certain temps pour qu'il soit prêt à être utilisé. Le fumier pour se décomposer, a besoin d'une quantité importante d'azote ; ce qui va contribuer à sa diminution dans les sols, et par conséquent affecte le développement des plantes. Il est donc important de composter le fumier avant toute utilisation.

1.4. L'écosystème Sol :

1.4.1. Sol : compartiment abiotique :

Le sol est un complexe dynamique, caractérisé par une atmosphère interne, une économie de l'eau particulière, une flore et une faune déterminées, des éléments minéraux. Mais le sol est aussi un milieu dynamique car ses propriétés s'acquièrent progressivement sous l'action combinée des facteurs du milieu (Duchaufour, 1979). Selon Davet (1996) ; le sol est un milieu minéral poreux, à partir duquel le gaz et le liquide peuvent y circuler. On peut donc le diviser en trois compartiments physiques : un compartiment gazeux, un compartiment liquide et un compartiment solide. A ces trois compartiments s'ajoute le compartiment organique vivant créatrice de matière organique.

Le sol représente la couche superficielle de la croûte terrestre, former au cours des temps géologiques par une lente transformation des roches mères initiales enrichies par des apports organiques sous l'effet de phénomènes physiques, chimiques et biologiques dont l'action se poursuit de nos jours, on distingue le sol de la croûte terrestre par la présence de vie. Le sol est le milieu meuble où se fixent les racines et dans lequel absorbent de l'eau et les éléments minéraux nécessaires aux croissances et au développement des végétaux. (Le Clech, 2000).

La texture d'un sol se définit par la composition granulométrique ou la proportion relative (exprimée en pourcentage) de sable, de limon, d'argile qui se trouve dans une fraction de terre fine (diamètre inférieur à 2mm). On distingue la texture minérale qui est la proportion des sables, limons, et argiles mesurés par l'analyse granulométrique, et la texture organique qui reflète la proportion de fibres et de matériel fin de microagrégé dans les matériaux holorganiques. La texture conditionne directement la structure du sol, et donc la porosité et le régime hydrique. En particulier, la proportion d'argile influence la formation du complexe argilo-humique, la capacité d'échange, la fertilité et la profondeur d'enracinement. La texture est une propriété stable, ne varie qu'en fonction de l'évolution à long terme du sol. (Gobat *et al.*, 2003).

La structure d'un sol se définit comme étant la disposition des particules terreuses (sable, limon, argile) les unes par rapport aux autres. Elle dépend directement de la texture mais aussi de l'état des colloïdes, du taux d'humidité ou de matière organique et dans une large mesure de l'activité de la faune.

On distingue :

- la structure massive, continue, compacte. Les éléments sont noyés dans une masse d'argile dispersée formant un bloc homogène. Le sol est asphyxiant, défavorable à l'activité biologique : mauvaise pénétration des racines, difficulté de creuse de galeries, etc. (Gobat *et al.*, 2003).
- Structure particulière où les éléments sont juxtaposés ou entassés, sans liaison colloïdales. Le sol est meuble, filtrant, vite asséché. Si la structure est limoneuse fine, il existe des risques d'imperméabilisation superficielle. (Gobat *et al.*, 2003).
- Structure fragmentaire, favorables à la fertilité du sol, en particulier la structure grumeleuse dans laquelle les éléments organiques et minéraux sont liés au sein du complexe argilo-humique. Elle retient bien l'eau tout en permettant sa circulation et l'aération du sol ; elle laisse des vides colonisables par les animaux ou les racines. (Gobat *et al.*, 2003).

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

La température du sol est un facteur important dans toutes les études du sol. En effet la température du sol affecte :

- Les propriétés physiques du sol : La pédogenèse, les variations de température : alternances gel/dégel favorisent la désagrégation de la roche et par conséquent contribuent à la formation des sols. Une température basse (gel) influence la dynamique de l'eau et de l'air (transfert liquide et gazeux).
- Les propriétés chimiques du sol :
- Les réactions chimiques se font en fonction de la température.
- les propriétés biologiques du sol : La température conditionne la germination, conditionne l'activité microbienne et celle des êtres vivants du sol

L'humidité relative de l'air est la quantité de vapeur d'eau dans l'air que ce dernier peut en renfermer par rapport à la quantité de vapeur d'eau maximale possible. Elle s'exprime en pourcentage (%) et dépend de la température et de la pression. L'humidité du sol contribue au maintien de la vie sur la terre, elle permet la croissance de la végétation. Elle conditionne l'installation du peuplement végétal (germination des semences, implantation du système racinaire). Sa connaissance est donc importante en hydrologie et en agronomie, et constitue un paramètre d'alerte pour la désertification.

Le pH est une abréviation de potentiel Hydrogène, permettant d'exprimer le degré d'acidité ou de basicité d'une solution aqueuse. Il dépend de la concentration en ions $[H_3O^+]$ de la solution : $pH = -\log [H_3O^+]$. Le pH est mesuré sur une échelle allant de 0 à 14. Les solutions acides ont un pH inférieur à 7, les solutions basiques ont un pH supérieur à 7 et les solutions neutres ont un pH égal à 7 (Mathieu et Pieltain, 2009).

Selon, Gisi *et al.*, 1997 in Gobat *et al.*, 2003, le degré d'humectation, les vides du sol sont occupés majoritairement en eau, ou par l'air. Ce qui donne la porosité. Cette dernière, selon la taille des pores est divisée en macroporosité (vides > 50 μm , pouvant être remplis par l'eau de gravité rapidement drainée et souvent colonisés par les racines moyennes), en mésoporosité ou porosité capillaire, constituée de vides de 0,2 à 0,5 μm retenant l'eau utile aux plantes, et en microporosité, dont les vides inférieurs à 0,2 μm retiennent l'eau inutilisable.

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

La conductivité électrique d'une solution indique les teneurs en sels solubles dans un sol. Elle donne une approximation sur la concentration des solutés ionisables présents dans un échantillon. Elle est en relation avec la concentration en cations et anions, elle augmente lorsque ces deux dernières augmentent. L'unité de mesure utilisée est le Siemens (S/cm) exprimé souvent en micro Siemens ($\mu\text{S/cm}$) ou millisiemens (mS/cm) (Mathieu et Pieltain, 2009).

Dans le sol, le calcaire est la source la plus fréquente de calcium. Il peut se trouver dans le sol à l'état de dimensions différentes depuis les blocs et les graviers jusqu'à la taille des colloïdes argileux. Il joue un rôle physique important dans le sol, car il rend la structure des sols plus meuble et plus stable, celle-ci favorise la perméabilité à l'eau et à l'air, elle facilite le travail du sol et la pénétration des racines. Le calcium agit aussi sur la structure et sa stabilité en favorisant l'humification et la stabilisation du complexe argilo-humique. Le calcium joue un rôle chimique dans la mesure où il régularise le pH des sols et favorise les échanges des ions. Aussi on note le rôle du calcium dans la fixation réversible du phosphore. Le calcium et le magnésium jouent un rôle sur l'activité biologique dans les sols, surtout en créant des conditions préférentielles aux microorganismes du sol (mobilité des bases échangeables, pH, neutre ou légèrement acide, bonne aération, humidité moyenne) (Mathieu et Pieltain, 2009).

C'est la partie du calcaire total qui peut se solubiliser dans l'eau du sol. Sa teneur est déterminée quand le sol contient plus de 5% de calcaire total. Il correspond à la fraction fine au plan granulométrique (taille des argiles). C'est un critère important pour la détermination de l'indice du pouvoir chlorosant (IPC) (Mathieu et Pieltain, 2009).

La matière organique est une source importante d'éléments nutritifs pour les plantes et la connaissance de sa teneur totale dans le sol renseigne sur sa potentialité fertilisante. Le terme matière organique regroupe une somme importante et hétérogène de substances et composés d'origine végétale et animale. Les débris végétaux de toute nature, feuille ; rameaux mort qui tombent sur le sol, constituent la source essentiel de la matière organique ; dès leur arrivée au sol, ils sont plus aux moins rapidement décomposée par l'activité biologique. Elle est ainsi peu à peu transformée et cela donne naissance, d'une part , a des éléments solubles ou gazeux

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

comme l'ammoniac NH_3 , l'acide nitreux HNO_2 et le gaz carbonique CO_2 , et d'autre part à des complexes humiques qui se décomposent, se minéralisent très lentement, très progressivement (Chenu et Balabane, 2001 ; Mathieu et Pieltain, 2009).

L'azote total d'un sol constitue « la réserve » globale d'azote contenue dans l'humus, réserve dont la rapidité de mobilisation (par minéralisation) est très variable suivant le type d'humus (mull, mor, moder). La teneur en azote total est interprétée en fonction du rapport C/N. (Mathieu et Pieltain, 2009). L'azote minéral est constitué de l'azote nitrique (NO_3^-) et de l'azote ammoniacal (NH_4^+). Ils se trouvent dans la solution du sol et facilement extractible au laboratoire. Les autres formes minérales comme le NO_2 , sont négligées. L'azote organique est celui qui est associé à des macromolécules organiques plus ou moins complexes provenant de la décomposition des matières végétales, animales ou microbiennes (protéines, acides nucléiques, amino-sucres, etc.). Il constitue la biomasse vivante du sol (micro-organismes). Ainsi, 95% de l'azote total est constitué par l'azote organique dans la plupart des sols (Hébert, 1994), Ces formes ne sont généralement pas assimilables sauf les très petites molécules, par exemple l'urée. La caractérisation de l'azote total est très importante, elle a pour but de déterminer les matières organiques et la fertilité chimique des sols en calculant le rapport C/N. (Baize, 2000).

Le rapport C/N ou rapport carbone/azote est un indicateur qui permet d'évaluer le degré de transformation de la matière organique, c'est-à-dire de son aptitude à se décomposer plus ou moins rapidement dans le sol (Dommergue et Manganot, 1970; Swift *et al.*, 1979). On peut aussi calculer ce rapport pour des éléments comme (P, K, Ca, Mg) (Swift *et al.*, 1979), mais l'azote est l'élément le plus souvent déficient (Allison, 1973). Quand des matières organiques ont des taux élevés en lignine, la libération du carbone se fait plus lentement. Pour cela, le rapport C/N est un bon indicateur seulement pour les matières organiques qui sont pauvres en lignine (Taylor *et al.*, 1989). Le rapport C/N du bois caulinair est compris entre 350-500, il peut aller jusqu'à 1250 pour le bois du cœur de *Picea sitchensis* (Scheffer et Cowling, 1966). Le rapport C/N de bois raméal est de l'ordre de 50-175 à cause du contenu élevé en acides aminés et en protéines (Lemieux, 1986).

Lorsque le rapport C/N dépasse certaines valeurs (supérieur à 25 ou 30) ce qui signifie une faible dégradation de la litière et une certaine résistance aux organismes

et aux attaques biochimiques. En revanche lorsqu'il est supérieur à 6 ou 7 cela indique une litière riche en azote, facilement atteignable par les décomposeurs (Gobat *et al.*, 2003).

En sols agricoles, les rapports C/N des horizons superficiels labourés sont de l'ordre de 9 quand l'humification est bonne. Ce qui est relatif à des matières organiques à 5% d'azote. Sous culture un rapport C/N égal ou supérieur à 12 indique que la minéralisation rencontre des difficultés (conditions d'anaérobie, acidité excessive) (Baize, 2000).

1.4.2. Les champignons :

Les champignons (fungi ou mycètes) forment un groupe d'organismes hétérotrophes ubiquistes. Il existe environ 120000 espèces, ayant des structures et des caractéristiques biologiques différentes et leur mode de vie est saprophyte, parasitaire ou symbiotique (Senal *et al.*, 1993 ; Kirk *et al.*, 2001).

Les mycètes sont des microorganismes eucaryotes filamenteux, aérobies et rarement anaérobies (Mathew, 1995 ; Tortora *et al.*, 2003). Ils se caractérisent par un métabolisme hétérotrophe en tirant leur énergie de la respiration et de la fermentation à partir des matières organiques solubles disponibles dans leur environnement (Leveau et Bouix, 1993 ; Nicklin *et al.*, 1999).

Morphologiquement, le mycète est composé d'un thalle qui forme son appareil végétatif (Hawksworth *et al.*, 1994). La majorité des champignons ont des thalles pluricellulaires constitués d'un mycélium et d'organes de fructification. On les appelle champignons filamenteux ou moisissures (Mathew, 1995). Le mycélium est constitué de tubes (hyphes), interrompus de cloisons ou septums. Dans quelques classes de mycètes, les hyphes ne contiennent pas de cloisons et ont l'aspect de longues cellules continues à noyau multiples ; ils sont appelées cénocytes (Tortora *et al.*, 2003).

les mycètes peuvent vivre dans un environnement rugueux (Tortora *et al.*, 2003). En fait, les mycètes peuvent se développer à un pH légèrement acide (3 et 7) et à une température comprise entre 20°C et 30°C, cependant certaines espèces sont psychrophiles, pouvant se développer à des températures très basses (inférieur à 15°C ou même parfois inférieur à 0°C) (Botton *et al.*, 1990 ; Guiraud, 1998 ; Tortora *et al.*, 2003).

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

Dans la classification taxonomique générale, les champignons sont regroupés en termes d'embranchement, classe, ordre, famille, genre, section et espèce. Dans la description binomiale d'un champignon, le prénom est celui du genre et le deuxième nom est l'espèce (Hanson, 2008).

Selon Rapior et Fons, (2006), les principaux radicaux par ordre d'importance décroissante sont les suivants (Tab.1.1) :

Tableau 1.1 : Les principaux radicaux par ordre d'importance décroissante (Rapior et Fons, 2006).

Taxon	Terminaison
Division ou Embranchement	<i>Mycota</i>
Sub-division ou Sous-embranchement	<i>Mycotina</i>
Classe	<i>Mycetes</i>
Sous-classe	<i>Mycetideae</i>
Ordre	<i>Ales</i>
Sous-ordre	<i>Ineae</i>
Famille	<i>Aceae</i>
Sous-famille	<i>Oideae</i>

Par sa taille et sa structure, un mycélium est à même de transporter activement des quantités importantes d'eau et de substances d'un endroit à l'autre du sol. (Gobat et al., 2003). Les champignons affectent la structure du sol par un certain nombre de mécanismes. Les Hyphae lient les particules du sol lorsqu'elles se développent à travers les réseaux de pores, et les mycéliums denses peuvent «tricoter» ensemble le tissu du sol. Beaucoup de produits biochimiques libérés par les hyphes dans le sol sont adhésifs, servant à coller les particules de sol ensemble; les autres sont hautement hydrofuges et peuvent stabiliser les sols en empêchant l'incursion de

l'eau. Cependant, une telle répulsion peut aussi être un problème en empêchant l'infiltration de l'eau dans le sol (Anonyme, 5) Les champignons du sol, jouent un rôle important dans le cycle des nutriments dans les milieux terrestres. En effet, ils ont la capacité de décomposer presque tous les matériaux organiques. Beaucoup d'espèces possèdent une large gamme d'enzymes capables de dégrader les résidus végétaux récalcitrants tels que la cellulose et la lignine, libérant des éléments nutritifs qui sont disponibles pour l'absorption par d'autres organismes du sol y compris les plantes. Certains champignons libèrent des acides organiques dans le sol qui solubilisent des éléments nutritifs tels que le phosphore (Anonyme 5 et Gobat *et al.*, 2003). Selon Münch et Ottow, (1977), les microorganismes produisent des composés qui rendent le fer plus disponible pour l'absorption. Les nutriments peuvent également être transportés grâce à réseaux de mycélium fongique entre différentes régions du sol (Anonyme 5, Gobat *et al.*, 2003).

Comme chez les bactéries, les mycètes commencent à digérer les grosses molécules dans le milieu extérieur, seules les molécules de petites tailles peuvent traverser la paroi (Davet, 1996). Les molécules complexes ou polymères sont préalablement dégradés en monomères par des enzymes excrétées ou liées à la paroi (Botton *et al.*, 1990).

Les associations mutuelles entre les racines des plantes et les champignons sont extrêmement communes, Ces associations sont appelées «mycorhize». Dans la relation mycorhizienne, le champignon importe du carbone et l'énergie à partir de la plante l'hôte, qui est utilisé pour la croissance mycélienne dans le sol. Le champignon absorbe les nutriments, notamment du phosphore, du sol et le transporte directement dans les racines où il est absorbé et utilisé par la plante (Anonyme 5, Gobat *et al.*, 2003).

1.4.3. La faune du sol :

Les acariens du sol sont les microarthropodes les plus abondants dans de nombreux types de sols. Dans un sol forestier, un échantillon de 100 g peut contenir plus de 500 individus d'acariens représentant près de 100 genres. Cette diversité comprend des répartitions sur plusieurs niveaux trophiques et avec des stratégies variables pour l'alimentation, la reproduction et la dispersion (Coleman *et al.*, 2004). Les acariens se subdivisent en quatre sous-ordres qui se trouvent généralement dans

les sols: les *Oribates* (Fig. 1.2), les *Prostigmata* (Fig. 1.3), les *Mesostigmata* et *Astigmata*.

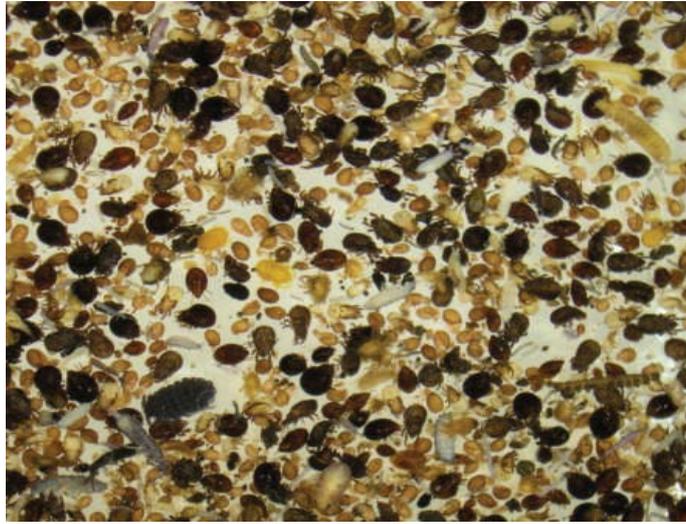


Figure 1.2 : Photo montrant des microarthropodes extraits à partir d'un échantillon d'un sol forestier dominée par les acariens Oribates (Anonyme 5, 2010. Par Miko).

Des quatre groupes d'acariens, les oribates sont les acariens les plus fréquents du sol. Ils sont généralement fongivores, détritivores, ou les deux. Les acariens *mésostigmata* mènent une vie libre ou parasite, ils vivent dans les litières et se nourrissent d'insectes, ils sont carnivores sont presque tous des prédateurs d'une autre petite faune, bien que quelques espèces soient fongivores et celles-ci peuvent devenir nombreuses dans certaines situations (Coleman *et al.*, 2004).



Figure 1.3 : Des acariens de l'ordre *Prostigmata* qui sont fréquemment présents dans le sol (Anonyme 5, 2010. Par Walter).

Les acariens *Prostigmata* contiennent une large diversité avec une variété d'habitudes alimentaires et de stratégies. On sait peu d'informations concernant les niches ou les exigences écologiques de la plupart des acariens du sol, mais des informations émergent dans le terrain recherche (Walter *et al.*, 1987 ; Hansen, 2000), mais Grasse in Bachelier (1978) a indiqué que les Acariens présentent un habitat variable, la plupart vivent dans les endroits obscurs et humides. Il y en a qui se réfugient dans l'humus. Certains acariens peuvent jouer un rôle important en tant que consommateurs des champignons pathogènes des plantes. Les Oribates sont les plus nombreux, ils occupent les couches de litières, ils se divisent en deux groupes selon leur régime alimentaire les Oribates macrophytophages: qui s'attaquent aux débris végétaux et aux végétaux inférieurs en décomposition et les Oribates microphytophages qui se nourrissent de pollens, d'algues, de lichens, de mycélium et de racines en décomposition (Bachelier, 1978). La densité des oribates dans les sols forestiers est de l'ordre de 50000 à 500000/m². Dans les champs agricoles les

populations d'oribates sont réduites pour atteindre en moyenne environ 25 000/m² (Coleman *et al.*, 2004). La plupart des acariens du sol ne pondent qu'un petit nombre d'œufs de 2 à 6 ou parfois même un seul. Le développement des œufs est long et dépend de la température.

Les Aranéides (Fig. 1.4), se divisent en deux grands groupes nettement caractérisés par la position des chélicères qui sont dirigés dans l'axe du corps Araignées orthognathes, ou perpendiculaire à l'axe et Araignées Labidognathes (Grasse in Bachelier, 1978).



Figure 1.4 : les Araignées (Crossley, in Coleman *et al.*, 2004).

Les Pseudoscorpions ressemblent aux scorpions (Fig. 1.5), sauf qu'ils manquent de queues et de piqûres. Ils se produisent dans tout le monde terrestre, sauf pour l'Arctique et l'Antarctique. Ils peuvent se déplacer facilement à travers les petits espaces et les crevasses, on les trouve dans un certain nombre d'habitats. Sous les roches et l'écorce des arbres. Ils sont des prédateurs des petits arthropodes comme, les nématodes, et *enchytraeides* (Coleman *et al.*, 2004). Les pseudoscorpions aiment l'humidité élevée et la disponibilité de petites crevasses. Deux caractéristiques qui peuvent être fournis par la litière forestière tout comme l'écorce en décomposition (Wallwork, 1976).



Figure 1.5 : Pseudoscorpion (Anonyme 5, 2010. Par C. Menta).

Les Myriapodes sont des Trachéifères à nombreuses pattes articulées, ayant un corps forme d'un grand nombre de segments tous semblables On trouve également les Chilopodes, les Diplopodes, les Pauropodes et les Symphyles. Les chilopodes sont des centipèdes allongés aplatis (Fig.1.6).



Figure 1.6 : quelques espèces de chilopodes *Orya barbarica* (à droite en-bas), *Eupolybothrus tridentinus* (à gauche en-haut), *Scutigera coleoptrata* ,(centre en-haut), *Clinopodes flavidus* , (à gauche en-bas) et *Henia illyrica* (à droite en-haut) (Anonyme 5, 2010. Par Trnka et Tuft).

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

On les trouve dans différents écosystèmes. Ils mesurent environ 15 cm de long ; les centipèdes tropicaux peuvent dépasser 30 cm (Shelley, 2002). Pour éviter la dissection, ils cherchent des habitats humides, aussi dans les déserts pour qu'ils restent en état humide, ils ajustent leurs activités diurnes durant périodes humides. Les centipèdes se distinguent des organismes similaires superficiellement par la présence de forcipules, le premier segment modifié sur lequel appuie-tête (Mundel, 1990). Ils sont des prédateurs ils se nourrissent de vers de terre, d'enchytréides et de larves de Diptères, ils peuvent aussi capturer des petites proies telles que collembolles (Lock et Dekoninck, 2001 ; Coleman *et al.*, 2004).

On trouve :

Les Diplopodes : ou Les mille-pattes (Fig.1.7), leur taille varie entre 0,02 à 28 cm, vivent généralement dans les couches de litière et dans les parties supérieures du sol. Ils sont des détritivores qui se déplacent lentement, ils mangent des feuilles en décomposition et d'autres matières végétales mortes, contribuant à la diminution et la destruction des débris dans le cadre de la première phase de décomposition. Il y a aussi quelques espèces omnivores ou carnivores, ces dernières peuvent s'attaquer aux petits arthropodes, tels que les insectes et les centipèdes ou sur les vers de terre. De nombreuses espèces sont adaptées à la vie dans les sols plus profonds horizons Malgré leurs adaptations défensives, les mille-pattes sont un groupe de proies important pour de nombreux grands prédateurs. L'activité de reproduction implique généralement la copulation, même si quelques espèces peuvent être parthénogénétiques. La densité des mille-pattes peut varier de 15 à 8000 Indi/m² et ça à cause de leur grande résistance (Anonyme, 5).



Figure 1.7 : Diplopodes *Strongylosoma stigmatosum* (à gauche en-bas), *Polyzonium germanicum* (à droite en-bas), *Polydesmus complanatus* (à gauche en-haut), Similaires aux isopodes (centre et à droite en-haut), *Glomeris tetrasticha* (à droite en-haut), *Trachysphaera gibbula* (centre en-haut). (Anonyme 5, 2010. Trnka et Tuft).

Les pauropodes : (Fig. 1.8) sont de très petites tailles (1,0-1,5 mm de long), ils ont des paires de pattes de 8 à 11 (Scheller, 1988). Ils sont blancs à incolores et aveugle ; ces caractéristiques les rendent eudaphiques. Ils se trouvent dans tous les sols, dans les forêts, ils habitent les couches inférieures de la litière, on les trouve aussi dans les sols agricoles. Mais ils ne sont pas bien connus, peu nombreux, généralement moins de 100/m². On admet dans le cas général que les pauropodes sont des mangeurs de champignons, mais ils peuvent aussi être prédateurs (Coleman *et al.*, 2004). Il y'a un grand manque d'informations en ce qui concerne leur biologie ou de leur écologie (Scheller, 1990).

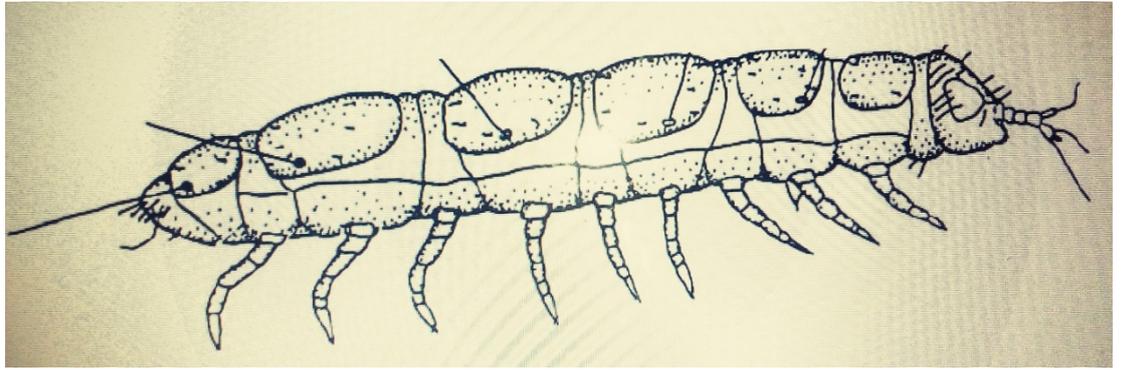


Figure 1.8 : Pauropode (Dindal, 1990 in Coleman *et al.*, 2004).

Les symphyles : (Fig.1.9) sont petits, blancs, sans yeux, allongés, ressemblent aux centipèdes. Ils diffèrent de ces dernières dans plusieurs caractéristiques.



Figure 1.9 : Symphyle (Anonyme 5, 2010. Par Kováč et Czišmarová).

Les symphyles ont 12 segments de corps et 12 paires de pattes, alors que les centipèdes ont au moins 15 paires de pattes (Coleman *et al.*, 2004). Ils sont omnivores et peuvent se nourrir des tissus mous de plantes ou d'animaux (Edwards, 1959).

Les insectes se subdivisent en deux sous-classes, les Aptérygotes sont dépourvus d'ailes et les Ptérygotes sont pourvus d'ailes, dans cette classe des insectes on trouve les ordres suivants :

Les Collemboles (Fig.1.10) portent des pièces buccales entognates de type broyeur, des antennes de 4 articles, les 3 premiers pourvus de muscles, une plaque oculaire constituée d'ommatidies de type en cône.

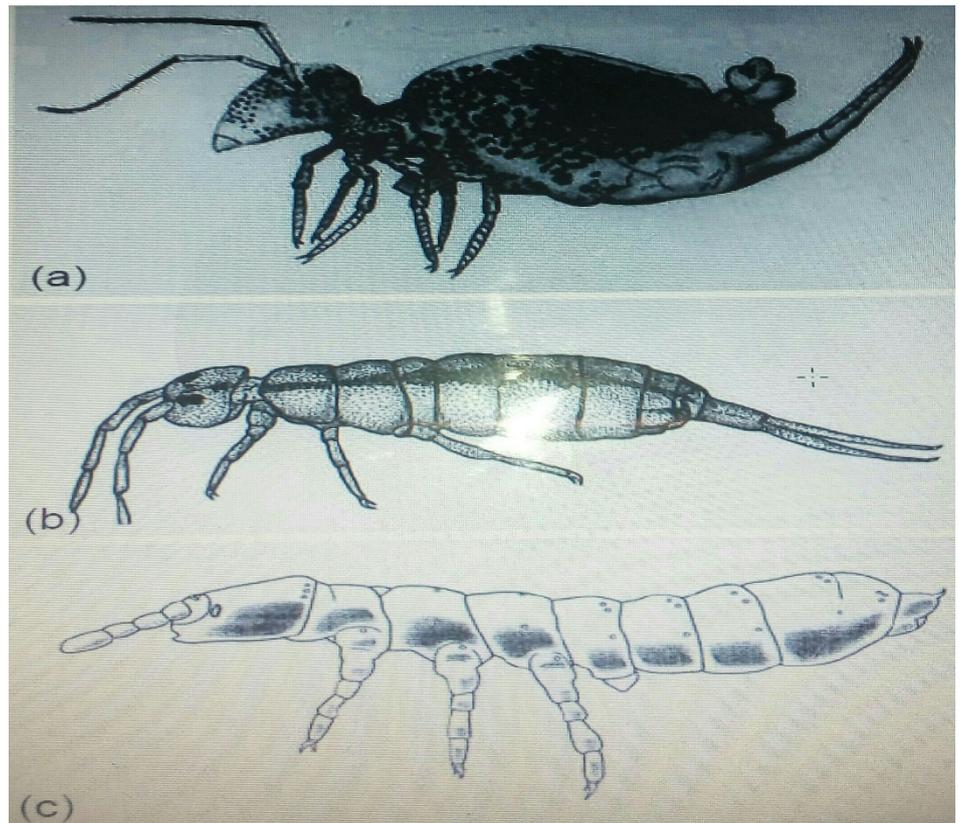


Figure 1.10: (a) (*Sminthurus burtcheri*) (Snider, 1969 in Coleman *et al.*, 2004), (b) (*Isotomurus palustris*) (Snider, 1967 in Coleman *et al.*, 2004). (c) (*Onychiuridae: Protaphorura* sp. (Coleman *et al.*, 2004).

Les collemboles présentent un régime alimentaire très varié mais ils sont généralement considérés comme des fongivores (Hunt *et al.*, 1987, Moore et de Ruitter, 2000), certains se nourrissent des végétaux en décomposition (Fig.1.11), des parenchymes tendres et du polie ou des excréments dans les cultures, ou un matériau fécal, d'autres ont un régime exclusivement animal (Massoud et Najt, 1976, Bachelier, 1978).



Figure 1.11 : *Proisotoma minuta*, mesure en moyenne 1.3 mm de long. Ils vivent dans les pots des fleurs et dans la matière organique (Anonyme 5, 2010. Par P. Henning Krog).

Beaucoup d'espèces de collemboles mangent des nématodes lorsque ceux-ci sont abondants (Gilmore et Potter, 1993). Certaines espèces peuvent être efficaces dans le contrôle biologique des populations de nématodes (Gilmore, 1972). Ils sont souvent considérés comme des nourrisseurs non spécifiques, mais cette conclusion est controversée (Petersen, 2002). L'analyse du contenu intestinal des spécimens prélevés sur le terrain (Gunn et Cherrett, 1993) révèle souvent une grande variété des matières, y compris les champignons, les débris végétaux et les restes d'animaux. En laboratoire, en revanche, les études sur les choix ont montré que les collemboles ont des préférences alimentaires, en choisissant une espèce fongique par rapport aux autres. Bengtsson *et al.*, (1994), a rapporté que le collembole *Protaphorura armata* montre une augmentation du taux de dispersion si un champignon favorisé est présent aussi loin que 40 cm (Petersen, 2002). Les Collemboles ne s'accouplent pas, ils ne possèdent pas d'organes copulateurs et l'ouverture génitale de la femelle est transversale, alors que celle du mâle est longitudinale. Les mâles déposent les spermatophores pédicellés auxquels les femelles se fécondent en frottant le sol de leur abdomen. Souvent les mâles guident les femelles réceptives vers les spermatophores (Betsch-Pinot in Bachelier, 1978). Selon les espèces et la température, les Collemboles pondent de 100 à 600 œufs au cours de leur vie qui dure souvent moins d'un an (Massoud et Pinot, 1973). Concernant l'aspect écologique, les Collemboles du sol sont très diversifiés, ils peuplent la surface du sol, la litière, les herbes et les

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

arbustes (Massoud, 1976). Les sols agricoles sont parfois riches en Collemboles, certains peuvent servir d'indicateurs de fertilité (Bachelier, 1978).

Les diploures (Fig.1.12) sont de petits insectes allongés, délicats et primitifs. Ils ont longues antennes et deux cerci abdominales, dépassant rarement 1cm. Ils ne portent pas d'yeux, pas d'ocelles. il ont un abdomen présentant 11 segments (Coineau, 1974 ; Coleman *et al.*, 2004).

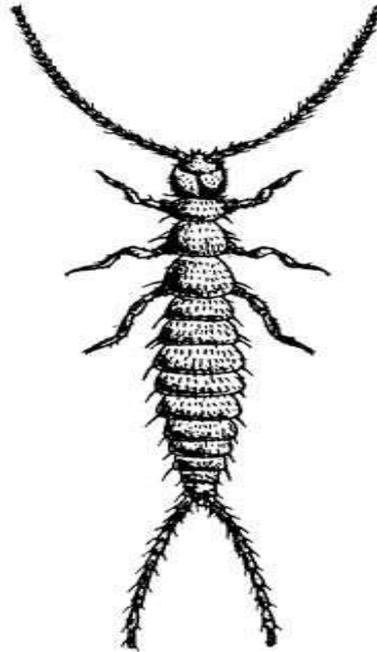


Figure 1.12 : Diploures (Campodeidae) (Coleman *et al.*, 2004).

La plupart des diploures sont euedaphiques, mais certains sont nocturnes, dissimulés sous des pierres ou sous l'écorce au cours de la journée. Ils se trouvent dans les sols tropicaux et tempérés à faible densité. Dans les agroécosystèmes du Piémont en Géorgie, les auteurs ont échantillonné des populations de diploures, en trouvant des populations de environ 50/m² (Coleman *et al.*, 2004). Le régime alimentaire est très varié : certains sont détritivores, d'autres sont carnivores. (Grasse in Bachelier, 1978). Certaines espèces sont des prédateurs des acariens et autres petits arthropodes, mais aussi ils ingèrent le mycélium des champignons (Ferguson, 1990).

Les protoures (Fig. 1.13) sont de petits insectes minuscules, ne dépassant pas 2 mm, ils sont allongés et de couleur ambrée. Ils n'ont pas d'antennes et pas d'yeux

(Bernard, 1985). Ils portent des pièces buccales disposées pour piquer et 12 segments abdominaux. (Coineau, 1974).

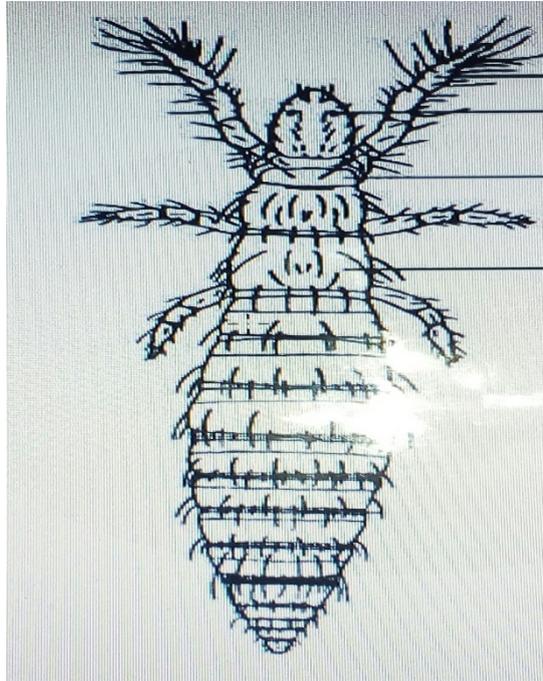


Figure 1.13 : Protocole (Coleman *et al.*, 2004).

Ils sont moins nombreux par rapport aux autres microarthropodes. Les protocoles se trouvent dans différents types de sols. Ils sont abondants dans les milieux riches en matière organique en voie de décomposition, associés aux racines des plantes, les litières et les horizons humiques des sols. La densité des protocoles varie de 1000 à 7000/m² (Petersen et Luxton, 1982). Bien qu'ils ne soient pas habitués à la fouille, les protocoles peuvent pénétrer jusqu'à 25 cm (Price, 1975 ; Copeland et Imadaté, 1990). Sturm, (1959) a noté qu'ils se nourrissent de mycorhizes. Leurs régimes alimentaires restent un peu connus, mais ces observations n'ont pas été vérifiées. Mais selon Bachelier (1978), ce sont des microphages réducteurs de la matière organique, ils stimulent la vie microbienne du sol. Des clés de familles et genres de Protocoles ont été publiés par Copeland et Imadaté (1990) et Nosek (1973).

Les Thysanoures sont peu fréquents dans le sol. Ils vivent dans les broussailles, près des pierres et des roches et dans les endroits peu humides. Certains se nourrissent d'algues microscopiques ou de débris végétaux, d'autres de Débris végétaux et d'animaux, de pollens et de spores de champignons. (Bachelier, 1978).

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

Selon Coiffait (1960), 80% des coléoptères du sol sont des prédateurs aussi bien à l'état larvaire qu'à l'état adulte. Les larves des coléoptères sont les plus nombreuses du sol, dans les régions tempérées, elles hibernent plus profondément (Bachelier, 1978). De très nombreux Coléoptères demeurent dans les sols et peuvent souvent servir d'indicateurs aux pédobiologistes. Certains genres ont une vie strictement endogée et possèdent un endémisme extraordinaire (Coiffait in Bachelier 1978). D'après cet auteur, les sols favorables au développement des Coléoptères seraient des sols ayant une teneur élevée en éléments fins (argiles et limons) susceptibles d'y maintenir une humidité favorable. De nombreux Scarabées (famille des Scarabeidae) (Fig.1.14), tels les bousiers sont coprophages et contribuent à la formation du sol par leurs activités de fouissage et l'incorporation de matière organiques dans les horizons supérieurs (Dajoz, 1980). L'humidité et la température du sol, ainsi que l'état physiologique des larves, commandent leur migration verticale (Bachelier, 1978).

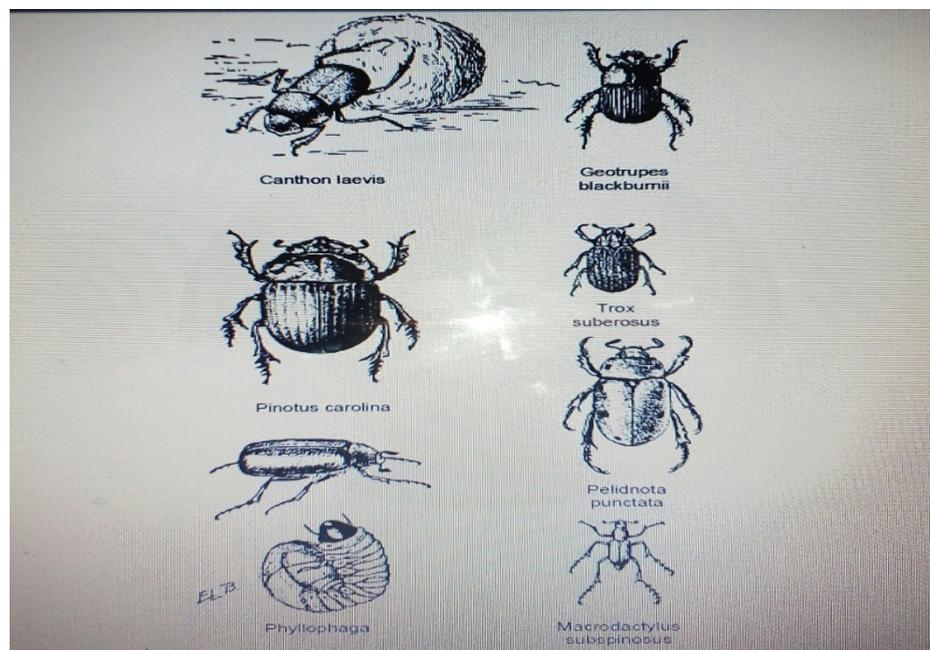


Figure 1.14 : des Scarabées (Lutz, 1948 in Coleman *et al.*, 2004).

Les Carabes (Fig. 1.15) (famille des Carabeidae), sont en majorités carnassiers et pour la plupart nocturnes.

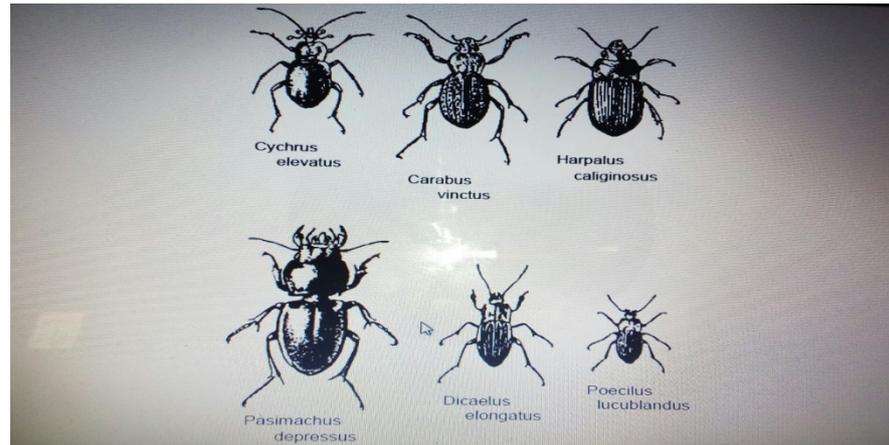


Figure 1.15 : des Carabes (Lutz, 1948 in Coleman *et al.*, 2004).

Ils s'attaquent aux Araignées, aux vers, aux mollusques, aux autres insectes et à leurs larves se mangent parfois entre espèces. Les larves d'*Elateridae*, ont un régime alimentaire carnassier, phytophage ou mixte.

Les diptères, les larves de mouches évitent habituellement la lumière et la chaleur, mais elles résistent souvent au froid. Certains s'enfoncent dans le sol au début de l'hiver. La résistance sous forme déshydratée de certaines larves de Diptères est très remarquable (Teskey, 1990). Deux familles de Diptères possèdent des larves fouisseuses : Les *Bibionidae* et les *Tipulidae*. Les larves de Diptères influencent la décomposition des débris végétaux, elles peuvent mélanger activement ces débris avec la partie minérale. La majorité des larves de Diptères se nourrit de débris végétaux. De nombreuses larves de Diptères manifestent des préférences alimentaires : racines, bois mort en décomposition, mycélium de champignons, fumiers. Beaucoup de larves de diptères sont carnivores à l'occasion (Bachelier, 1978).

L'ordre des hyménoptères contient deux groupes d'insectes du sol de grande importance : les fourmis et les guêpes. Les fourmis (Fig.1.16), sont probablement la plus importante famille d'insectes du sol, en raison de la très grande influence qu'ils ont sur la structure du sol. Abeilles et guêpes, autres hyménoptères les insectes ont également un impact sur les sols, car ils peuvent y nicher (Coleman *et al.*, 2004).

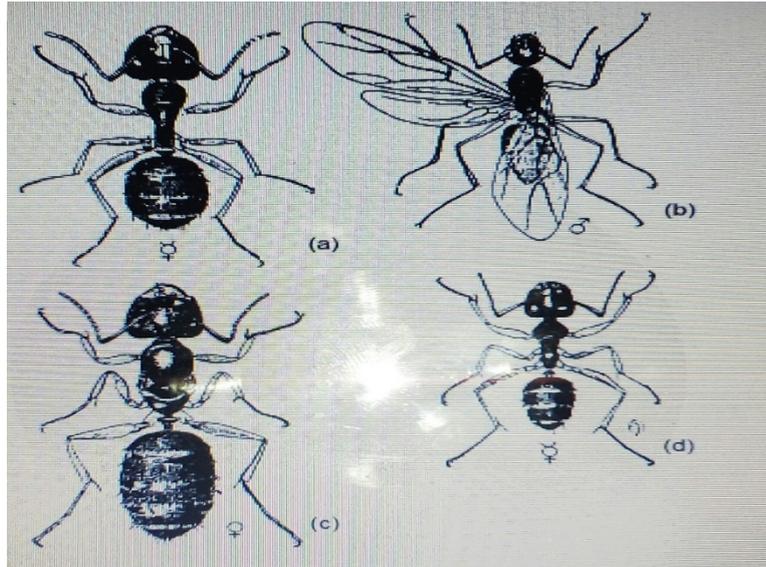


Figure 1.16 : travailleur (a), male (b), femelle (c), petit travailleur (d) (

Henderson, 1952 in Coleman *et al.*, 2004).

Les fourmis sont largement distribuées, nombreuses, et diverses. Elles contiennent de nombreuses espèces, même dans les zones désertiques (Whitford, 2000). Elles se caractérisent par un grand nombre d'individus au sein de leurs populations. Un tiers de la biomasse animale de la forêt amazonienne est constitué entièrement de fourmis et de termites, chaque hectare contenant plus de 8 millions de fourmis et 1 million de termites (Hölldobler et Wilson, 1990). En outre, les fourmis sont des insectes sociaux, vivant dans des colonies avec plusieurs castes. Les fourmis ont un rôle important au sein de leurs écosystèmes. L'activité des fourmis est grandement en fonction de la lumière et des pluies. Elles contribuent à enrichir le sol en matières organiques, en accroissent l'aération et en facilitent la pénétration par les eaux de pluie. Elles contribuent à remonter en surface les matériaux des horizons sous-jacents. Ce sont des prédateurs majeurs de petits invertébrés, y compris les acariens oribates. D'après Kuhnelt (1958), les fourmis attaquent peu les Microarthropodes, mais elles attaquent les Araignées, les Coléoptères, les Chilopodes et même les escargots. Leurs activités réduisent l'abondance des autres prédateurs tels que les araignées et les carabidés (Wilson, 1987). Les fourmis sont "Ingénieurs de l'écosystème", ils remuent autant de volumes de sol que des vers de terre le fassent

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

(Hölldobler et Wilson, 1990). Certaines fourmis nichent dans le bois mort et en accélèrent la décomposition en le réduisant en fines particules lorsqu'elles creusent leurs galeries (Bachelier, 1978).

Les microarthropodes ont un rôle important dans la pédogenèse. Dans les sols, les microarthropodes contribuent à la fragmentation fine de la litière et marquent un stade dans la dégradation des débris végétaux (Pesson, 1971). Ils favorisent les processus d'humification (Bachelier, 1978). Les Acariens et les Collembolés, en ingérant les débris végétaux multiplient sensiblement les surfaces utiles. Leur présence en très grand nombre témoigne d'un sol productif, c'est à dire un sol où sont périodiquement régénérées les substances nutritives indispensables au développement des plantes. Les microarthropodes ne sont pas directement responsables de la libération des substances assimilables par les végétaux, leur rôle est néanmoins de la favoriser. Les Collembolés, en grand nombre, jouent un grand rôle dans la disparition rapide des litières. Ils reprennent souvent les débris végétaux subsistant dans les déjections des vers de terre, des Isopodes ou des Diplopodes.

L'action des microarthropodes du sol se localise principalement au niveau de la première phase de dégradation de la matière organique, grâce à leurs appareils buccaux adaptés, les animaux procèdent à la dilacération des débris organiques et par ce travail de sape, développent les surfaces considérables d'attaque par les micro-organismes tels que les bactéries et les champignons. Une partie des éléments nutritifs qui reste emmagasinée est revenue au milieu à leur mort (Vannier in Pesson, 1971 ; Gobat *et al.*, 2003).

Selon Bachelier (1978), les Acariens tendent à augmenter localement les cavités naturelles et à entretenir la porosité, tout en y créant des centres de peuplement déterminés par la reproduction. Les Acariens et les Collembolés grâce à leur entrainement en profondeur de leurs excréments aident dans les sols poreux à l'humification des horizons supérieurs.

Les vers de terre, ou les lombriciens appartiennent au phylum des annélides, lequel a évolué en constituant trois classes principales ; Classe des Annélides polychètes : Annélides presque toutes marines pourvues de soies; Classe des Annélides oligochètes ; Annélides d'eau douce ou terrestres dont les soies généralement peu nombreuses sont implantées directement dans les téguments ;

Classe des Annélides achètes : Ce sont les sangsues, parasites externes. Les lombriciens appartiennent à la classe des Oligochètes (Bachelier, 1978). Les vers de terre représentent plus de la moitié des 6000 espèces décrites chez les oligochètes, ils se rencontrent dans presque tous les sols de la planète, exceptée dans le désert et dans les régions polaires, où il n'y a pas de plantes (Ruben, 2012). En Algérie, les premières études réalisées concernant les vers de terre ont été effectuées par Gandolphe en 1861, Beddard (1892) a indiqué la présence de *Microscolex algeriensis*. Depuis il fallait attendre presque 100 ans pour que les recherches soient reprises par Omodeo et Martinucci (1987) pour l'identification des vers de terre dans les massifs du Djurdjura, de l'Akfadou et du massif de l'Edough. Baha (1997) a mené une étude sur les vers de terre des régions d'El Harrach, du Hama et Birtouta dans le secteur algérois qui a abouti au dénombrement de 11 espèces, Omodeo *et al.*, (2003) a indiqué que les territoires Maghrébins ont une faible biodiversité. Ouahrani (2003) a déterminé 11 espèces dans le constantinois. Kherbouche *et al* (2012) a indiqué la présence de 5 espèces dans la vallée du Soummam en Kabylie. Bazri *et al.*, (2013) a indiqué la présence de 18 espèces lombriciennes à l'est algérien depuis le littoral jusqu'au désert.

Les vers de terres sont divisés en 3 groupes, ces 3 groupes appelés catégories écologiques (Bouché, 1972). Elles se différencient par leurs morphologies, leurs cycles de vie et des comportements différents. Chacune de ces catégories ont des fonctions propres vis-à-vis du sol. Cette division des vers en catégories écologiques permet de faire un rapide diagnostic de l'état biologique des sols (Fig.1.17).

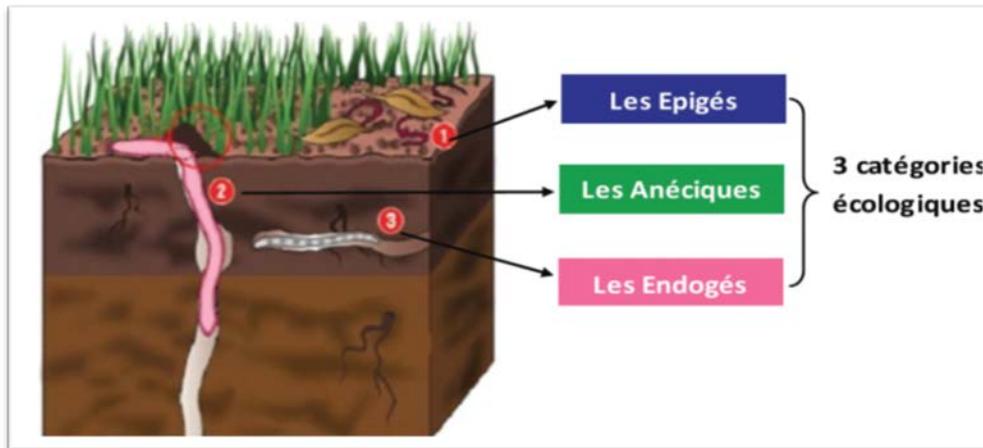


Figure 1.17 : localisation des trois catégories écologiques de lombriciens (Source : OPVT—OSUR/Univ.Rennes.).

Les épigés : (Bouche, 1977) ou « litter species » (Lee, 1959), allant de 1 cm à 5 cm, rouge sombre. Ils sont fondamentalement adaptés à la litière, se nourrissent uniquement des matières organiques de surface, ils ont un rôle fouisseur nul ou médiocre, ils contribuent au recyclage en fractionnant les matières organiques on distingue les straminicoles ou « leaf mould species » (Lee, 1959) (litière), les corticoles (écorces et troncs d'arbre en décomposition, composts et fumiers), les pholéophiles (galeries de lombriciens anéciques, terriers d'animaux, fissures), détritiphages (déchets organiques divers), coprophages (bouses de mammifères) (Bouche, 1977 ; Lee, 1985). Ils se reproduisent abondamment pour faire face aux prédateurs.

Les endogés : vivent en permanence dans le sol, ils ont une taille variable moyenne à grande allant de 1 à 20 cm et ont une faible pigmentation. Ils se nourrissent de terre plus au moins mélangée à la matière organique, selon leur régime alimentaire et les horizons où ils vivent, en distingue :

Les géophages qui se nourrissent surtout de sol « minéral » contenant divers éléments organiques ;

- Les sapro-rhizophages : on les trouve localisés près des racines des plantes;
- Les épiendogés : vivent dans l'horizon A, mais peuvent descendre jusqu'à 70 cm de profondeur pour estiver. Lee (1959) associe cette sous-catégorie aux anéciques (« top soil species »).

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

- Les hypoendogés : vivent en profondeur dans des zones pauvres en matière organique. Ils correspondent aux « subsoil » définis par Lee (1959). Ils creusent des galeries horizontales, leur travail contribue à la formation d'une structure grumeleuse qui permet une bonne rétention et infiltration de l'eau dans le sol.

Les Anéciques : «Top soil species » (Lee, 1959), Allant de 20 à 110 cm, brune à noirâtre. Ils vivent dans l'ensemble du profil de sol, de la surface aux horizons plus profonds. Les anéciques creusent des galeries subverticales, ouvertes en surface, contribuant à l'aération du sol et à l'infiltration de l'eau. Ils se nourrissent de matières organiques de surface et enfouissent dans leurs galeries. Ils ingèrent et mélangent la matière organique et la matière minérale. Ils déposent leurs déjections en surface sous forme de turricules, donnant une certaine rugosité de surface qui contribue à limiter l'érosion.

Les vers de terre occupent une place fondamentale dans l'élaboration de la fertilité des sols grâce à la prise de conscience actuelle des problèmes d'environnement, on redécouvre l'importance de leur rôle pour la fécondité naturelle de la terre et la formation de l'humus.

L'activité des vers de terre, principalement mécanique, est très importante et constitue une activité caractéristique dans les sols. Cette activité permet l'épanouissement biologique d'un milieu ou la structuration d'un écosystème (Bouche, 1972 ; Stahli *et al.*, 1997). Les lombriciens remontent le sol profond à la surface et assurent l'enfouissement actif des débris végétaux et de la matière organique, en contribuant à la décomposition de ces derniers, ils libèrent divers éléments nutritifs. En les rendant accessibles aux végétaux (Gates, 1972). En creusant des galeries (action mécanique) ils tendent à augmenter la macroporosité du sol ce qui favorise la circulation de l'eau et de l'air (action chimique) (Bouche, 1974 ; Edwards et Bohlen, 1996). sous un m² de prairie, les vers terre creusent entre 400 et 500 m² de galeries, ce qui vaut à un volume d'air de 5 à 9 dm³ (Gobat *et al.*, 2003). 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, D'autre part, les vers de terre libèrent les divers éléments (N, P, K.) Qui y sont contenu. En les rendant accessibles aux végétaux (Gates, 1972). Ainsi, les modalités de

dégradation et / ou d'incorporation de cette production végétale ont de nombreuses conséquences sur la qualité des sols et leur fertilité (Bouche, 1974 et Heidet, 1983).

La faune lombricienne est connue pour son importance capitale pour la "formation de la terre végétal". Les lombriciens dégagent les débris végétaux (plus rarement animaux) en libérant les éléments chimiques (N, P, K, etc.) qui y sont contenu. Les modalités de dégradation et / ou d'incorporation de cette production végétale ont de nombreuses conséquences sur la qualité des sols et leur fertilité (Satchell, 1967 ; Bouche, 1974 ; Bachelier, 1978 ; Ireland, 1975 ; Randriamamonjizaka, 1981 ; Heidet, 1983 ; Bouche, 1984 ; Lee, 1985 ; Lavelle *et al.*, 1992 et Bouche *et al.*, 1997). Les lombriciens augmentent la capacité de rétention en eau en agissant sur la structure des sols et fabriquant un complexe colloïdal plus humique. En outre, ces derniers peuvent être de bons indicateurs biologiques de la contamination du sol par l'accumulation des métaux lourds, y compris radioactifs Par ailleurs, selon Gates (1972) les lombriciens favorisent la stabilité structurale du sol. Enfin, les lombriciens représentent une source d'aliments importante pour beaucoup d'animaux vertébrés (oiseaux, mammifères,) et invertébrés ils sont donc un chaînon de transfert des contaminants vers leurs prédateurs.

Pour l'action des facteurs abiotiques sur les lombriciens ;

Pour la température du sol, d'après Chaoui (2010), les vers de terre ont besoin d'une température allant de 0° à 35°C (la température optimale étant de 25°C). Et selon, Herger (2003), les vers de terre peuvent vivre à des températures comprises entre 0°et 25°C. Mais la plupart des espèces ont une température optimale comprise entre 10 à 15 °C. L'espèce *Eseinia foetida* a une tolérance entre 0-30 °C (Naturland, 2010). Selon, Buch, 1991, les températures qui se situent au- dessus de 30°C sont mortelles pour tous les vers de terre. Les températures un peu plus élevées stimulent plutôt la production de cocons, l'éclosion des petits et leur croissance.

Le taux d'humidité du sol joue aussi un rôle décisif dans la vie de ces habitants de la terre (Buch, 1991). L'étude biologique des vers de terre montre qu'ils ont tendance à être plus aquatiques que terrestres. L'eau constitue 80 à 85 % du poids du corps des vers de terre, ils l'absorbent par la peau et la rejette par les néphridies et l'intestin, comme il peut atteindre 140 à 570 % du poids sec des vers chez *Allolophora caliginosa* (Grant, 1955 cité in Bachelier, 1978). Ils ont une respiration cutanée, cette

dernière n'est réalisable que si leur peau est restée humide. Ils effectuent des échanges importants d'eau et de sels minéraux à travers leur paroi tégumentaire. Quand les sols tendent à se dessécher, les vers de terre, pour qu'ils ne meurent pas, ils procèdent à une déshydratation partielle où ils s'enfoncent dans le sol et s'enroulent en boule dans des compartiments et peuvent perdre jusqu'à la moitié de leur eau, cet état de léthargie ne s'arrête qu'avec le retour de l'eau.

Le pH du sol est un facteur influençant la répartition, la densité, et les espèces des lombriciens qui vivent dans un sol donné. Dans le cas général, les vers de terre apprécient les sols ayant des pH voisins de la neutralité (pH =7). Selon Bachelier (1978) et Herger (2003), les vers de terre ont des préférences pour le pH. On trouve des espèces acidophiles, des espèces basophiles et des espèces ubiquistes ou indifférentes. Ils sont généralement absents dans des sols très acides (pH < 3.5) et sont peu nombreux dans les sols à pH < 4.5 (Curry, 1998). Herger (2003), indique que les vers de terre apprécient des valeurs de pH allant de 3,5 à 7,5. Alors que Bouché (1972) montre qu'ils ont une tolérance de pH allant de 3 à 8.5 on spécifiant qu'il a y des optimums pour chaque espèce. Cluzeau *et al.*, (2004) ont mis un intervalle allant de 4,4 à 11. Il existe un pH optimal pour chaque espèce (Edwards et Bohlen, 1996). Concernant les espèces de régions tempérées se trouvent dans des sols à pH compris entre 5.0 et 7.4. Les travaux de Bhatti (1962) et Bachelier (1978) donnent des valeurs limites de pH, ainsi Satchell (1958) in Bachelier 1978 propose une classification des Lumbricidés selon leurs préférences du pH.

La circulation de l'eau, de l'air et de la faune dépend de la porosité du sol Il suffit d'une porosité très moyenne pour que les sols soient suffisamment aérés et pour éviter l'accumulation du gaz carbonique. (Bachelier ,1978). Les vers de terre montrent une très grande tolérance à l'atmosphère du milieu, en revanche, ils sont moins nombreux dans des sols à faible porosité, humides et mal aérés, l'excès d'eau et le manque d'oxygène peuvent être des facteurs limitant (Bachelier, 1978). Les vers de terre ont la capacité d'éliminer le CO₂ sous forme de calcite très stable grâce à leurs glandes de Moren. La porosité dépend aussi de l'espèce ainsi que de la nature du milieu.

Les vers de terre montrent une grande tolérance, mais ils sont cependant peu nombreux dans les sols lourds et mal drainés où l'aération est particulièrement

mauvaise (Bachelier, 1978). Les vers de terre peuvent survivre longtemps à faible température, Ils minimisent leurs besoins respiratoires quand la température tendent à diminuer (vers 5° C par exemple) dans un milieu inondé. En revanche, ils peuvent vivre temporairement dans des conditions d'anhydrobiose, en accumulant des acides qu'ils oxydent ensuite rapidement quand ils disposent à nouveau d'oxygène (Al-addan, 1992).

La texture du sol est un facteur du milieu qui peut influencer la distribution et l'abondance des populations de vers de terre (Guild, 1948 ; Curry, 1998) ainsi qu'au type de sol (Edwards et Bohlen, 1996), Nordström et Rundgren (1974) ont montré qu'il existe une corrélation positive significative entre l'abondance des vers de terre et le taux d'argile des sols. Selon Bachelier, (1978) les vers de terre sont beaucoup plus abondants dans les sols limoneux, argilo-limoneux et argilo-sableux que dans les sables, les graviers et les argiles.

La composition des litières est un élément essentiel du milieu écologique. Elle détermine la qualité et la nature des aliments disponibles pour les vers de terre. Ces dernières apprécient beaucoup plus les herbes tendres en voie de décomposition, les composts ou les fumiers surtout de gros bétail (bouses de vache, crottin de cheval) (Al-addan, 1992).

1.5. LE BLE DUR

1.5.1. Présentation de la culture du blé dur

La culture de blé est très ancienne, sa découverte remonte à 15000 ans avant Jésus-Christ dans la région du croissant fertile de la Mésopotamie (région du Moyen-Orient située entre les rivières de Tigre et l'Euphrate) (Feldman et Sears, 1981 ; Mouellef, 2010). Les civilisations babyloniennes et égyptiennes se sont construites autour du blé (Moule, 1980). L'espèce s'est différenciée à partir de cette zone vers différentes régions ; le bassin occidental de la méditerranée, la Russie et le proche orient.

Le blé est une culture herbacée de cycle annuel du genre *Triticum* qu'est subdivisé en 3 groupes : Le groupe diploïde *Triticum monococcum* (2n=14). Le groupe tétraploïde *Triticum dico cum* (2n=28). Où on trouve le blé dur. Le groupe hexaploïdes *Triticum sativum* (2n=42).

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

Le blé dur est une plante appartient au groupe des Spermaphytes et à l'embranchement des Angiospermes et à la classe des Monocotylédones (Grignac, 1965 ; Prats, 1966). Prats, (1960) ; Crête, (1965) et Feillet, (2000) ont classifié le blé dur comme suit :

Embranchement : Angiospermes

Sous embranchement : Spermaphytes

Classe : Monocotylédones

Ordre : Glumiflorales

Super ordre : Comméliniflorales

Famille : *Gramineae*

Tribu : *Triticeae*

Sous tribu : *Triticinae*

Genre : *Triticum*

Espèce : *Triticum durum* Desf.

Les blés sont des plantes herbacées annuelles, monocotylédones de 50 à 150 cm. Les racines sont de type fasciculé, c'est-à-dire qu'on trouve 5 ou 6 racines primaires et une ramification de plusieurs racines secondaires. La tige (chaume) portant un épi constitue de deux rangées d'épillets sessiles et aplatis, les feuilles sont alternées. Les fleurs sont nombreuses, petites et peu visibles. Elles sont groupées en épis situés à l'extrémité des chaumes. Les fleurs sont dépourvues de pétales. Chaque fleur porte trois étamines et un ovaire surmonté de deux styles plumeux. Après fécondation, l'ovaire donnera le grain de blé qui Le grain contient 65 à 70 % d'amidon et une substance protéique qui est le gluten. La graine Entourée d'une matière végétale qui la protège des influences extérieures Les enveloppes sont soudées à celles de la graine, on appelle ce type de fruit un caryopse.

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

Les différents stades du développement du blé ont été décrits par plusieurs auteurs parmi lesquels : Muame et Dulac (1936) ; Feeks (1941) et Jonard *et al.*, (1952). On distingue généralement les stades suivants :

La levée : La germination commence lorsque les conditions favorables sont réunies dans le sol (humidité, température et oxygène nécessaire). La graine germe quand la température dépasse le zéro de végétation (0°C), (Soltner, 1988). La levée commence quand la plantule sort de terre et que la première feuille paraît au sommet de la coléoptile (Karou *et al.*, 1998).

Le stade « 3-4 feuilles » est un indice de développement du blé et se caractérise par le nombre de feuilles de la plante.

Le tallage commence lorsque des bourgeons se forment à l'aisselle des feuilles pour donner des talles. Ainsi chaque talle primaire donne des talles secondaires (Belaid, 1986 ; Gate, 1995). Des racines secondaires ou adventives paraissent à partir de la base du plateau de tallage, qui seront à l'origine de l'augmentation du nombre d'épis, durant cette phase, la diminution de la température est critique pour les feuilles, (ITCF, 2002). Le nombre de talles diffusé par une plante lié à certaines conditions (densité de semis, température, et la précocité de la variété au stade épi 1 cm). Ainsi la fin de ce stade se caractérise par une croissance active des thalles, un apport d'engrais azotés est important.

La montaison qui se caractérise par le début du développement de l'épi. Ainsi qu'il allongement des entrenœuds, la phase deux nœuds est atteinte lorsque les deux premiers entre-nœuds sont visibles à la base de la tige principale sur 50% des plantes. La fin de ce stade se distingue par l'apparition de la dernière feuille, elle est atteint lorsque le sommet du limbe de la dernière feuille est visible, enroulé sur 50% des tiges.

L'épiaison qui commence par l'apparition des premiers épis jusqu'à la sortie complète de tous les épis de la gaine de la dernière feuille (Bahlouli *et al.*, 2005). A ce stade, le nombre total d'épi est défini, de même que le nombre total de fleur par épi.

La floraison qui débute par la sortie des étamines hors des épillets et se termine lorsque toutes les étamines sont extériorisées. Quand les anthères apparaissent elles sont jaunes mais après exposition au soleil se passent vers la couleur blanche.

Chapitre 1 : Synthèses bibliographiques

Geslin et Jonard (1948) in Mazouz (2006) indiquent que ce stade se caractérise par différents sous-stades :

- Sous-stade laiteux : Les substances de réserve migrent vers le grain qui contient encore 50% d'humidité, il est de couleur vert clair, d'un contenu laiteux. Les enveloppes sont formées, il atteint sa dimension définitive, et le stockage protéique touche à sa fin.
- Sous-stade pâteux : Le taux d'humidité diminue et les réserves durant cette phase migre depuis les parties vertes jusqu'aux grains, la teneur en amidon augmente. Quand le blé est mur le végétal est sec et les grains des épis sont chargés de réserves. C'est pendant ce second stade de la formation du grain que se situe le palier hydrique, phase de grande sensibilité à l'échaudage des grains durant laquelle la quantité d'eau contenue dans le grain est constante.
- Sous- stade maturité complète : Le grain mûrit, se déshydrate et l'humidité atteint environ 20%, il présente une couleur jaune qui devient brillant, le grain a la couleur typique de la variété (Youcef, 2009).

Pour les exigences pédoclimatiques du blé dur :

Selon Hubert (2004), les sols qui conviennent le mieux au blé sont des sols limono argilo-calcaires ou argilo siliceux drainés et profonds.

Les blés durs sont sensibles au calcaire et à la salinité, Ben Naceur *et al.*, (2001) dans une étude portée sur la tolérance du blé à la salinité, ont testé six variétés de blé dont trois variétés de blé dur, ils ont trouvé qu'une seule variété de blé dur tolère la salinité (variété Mohammed Ben Bachir) alors que les deux autres variétés (Khiar et Razzak) sont fortement sensibles à la salinité. Le pH du sol doit être voisin de la neutralité, un pH de 6,5 à 7,5 (Maachi, 2005).

La lumière est un élément indispensable pour la photosynthèse (Diehl, 1975). Le blé dur a des besoins élevés en ensoleillement, une baisse de l'éclairement provoque une diminution en glucides et un accroissement à la sensibilité à la verse. La lumière et l'aération sont des facteurs qui agissent directement sur l'intensité de la

photosynthèse, si le blé est placé dans les conditions optimales d'éclairements, un bon tallage est garanti (Prats et Graldecourt, 1970).

Pour la température est un facteur important pendant tout le cycle de développement du blé dur. Pour chaque stade de développement, la plante a besoin d'un optimum de température. Les changements de la température que la culture subie pendant tout son cycle du développement est l'une des causes principales de la variation des rendements d'une année à une autre et d'une région à une autre (Abbassenne *et al.*, 1998 ; Fellah *et al.*, 2002 ; Bahlouli *et al.*, 2005 ; Mekhlouf *et al.*, 2006 ; Chenaffi *et al.*, 2006 ; Benmahammed *et al.*, 2010). La culture du blé dur nécessite un minimum de température de 3 à 5°C, son optimum de développement est compris entre 16 et 25°C dans les hauts plateaux. Les effets des hautes températures sur les cultures se traduisent par une diminution de la longueur du coléoptile (Hazmoune, 2000) ou par une accélération de la sénescence foliaire et l'arrêt de la croissance du grain (Dakheel *et al.*, 1993) ainsi d'un abaissement de la productivité. (Wardlaw *et al.*, 1989 ; Hauchinal *et al.*, 1993).alors que l'effet principale des basses températures s'exprime par une perturbation du fonctionnement cellulaire (levitt, 1982) et une diminution de la croissance (Passioura, 1996). Des dégradations peuvent être remarquées sur les feuilles lorsque la température tombe en dessous de 8°C (Mazouyer, 2002).

Pour l'humidité, l'eau dans le sol n'est pas disponible à sa totalité pour la plante, car une partie de cette eau ruisselle et une partie s'infiltré pour alimenter les nappes phréatiques (Passioura, 1996). La culture du blé, exige une humidité permanente, cette exigence varie selon le stade de développement de la plante. Durant son cycle de développement le blé a besoin entre 450 à 702 mm (Ollier et Poirée, 1981). La période critique où plante a besoin de plus en eau se situe 20 jours avant l'épiaison jusqu'à 30 à 35 jours après la floraison. C'est à cette période que les besoins en eau sont les plus importants (Loué, 1982). En général, pour les céréales les exigences pluviométriques, définies par la F.A.O, sont comprises entre 450 et 1000 mm en période de croissance.

Chapitre 2 :
Présentation de la
région d'étude La
ferme de El Baaraouia

2.1. Situation géographique et localisation de la wilaya de Constantine :

La Wilaya de (Fig. 2.1) Constantine est située à l'est de l'Algérie (36°36'N, 06°62E, 660 m) et s'étend sur 2287 km². Elle est limitée au nord par la Wilaya de Skikda, à l'ouest par la Wilaya de Mila, à l'Est par la Wilaya de Guelma et au Sud par la wilaya d'Oum El Bouaghi. Constantine se situe au carrefour de quatre vallées :

- la vallée du Rhumel supérieur au sud-ouest comprend la ville de Ain-Smara (36°26' N, 06° 70' E 609 m) ;

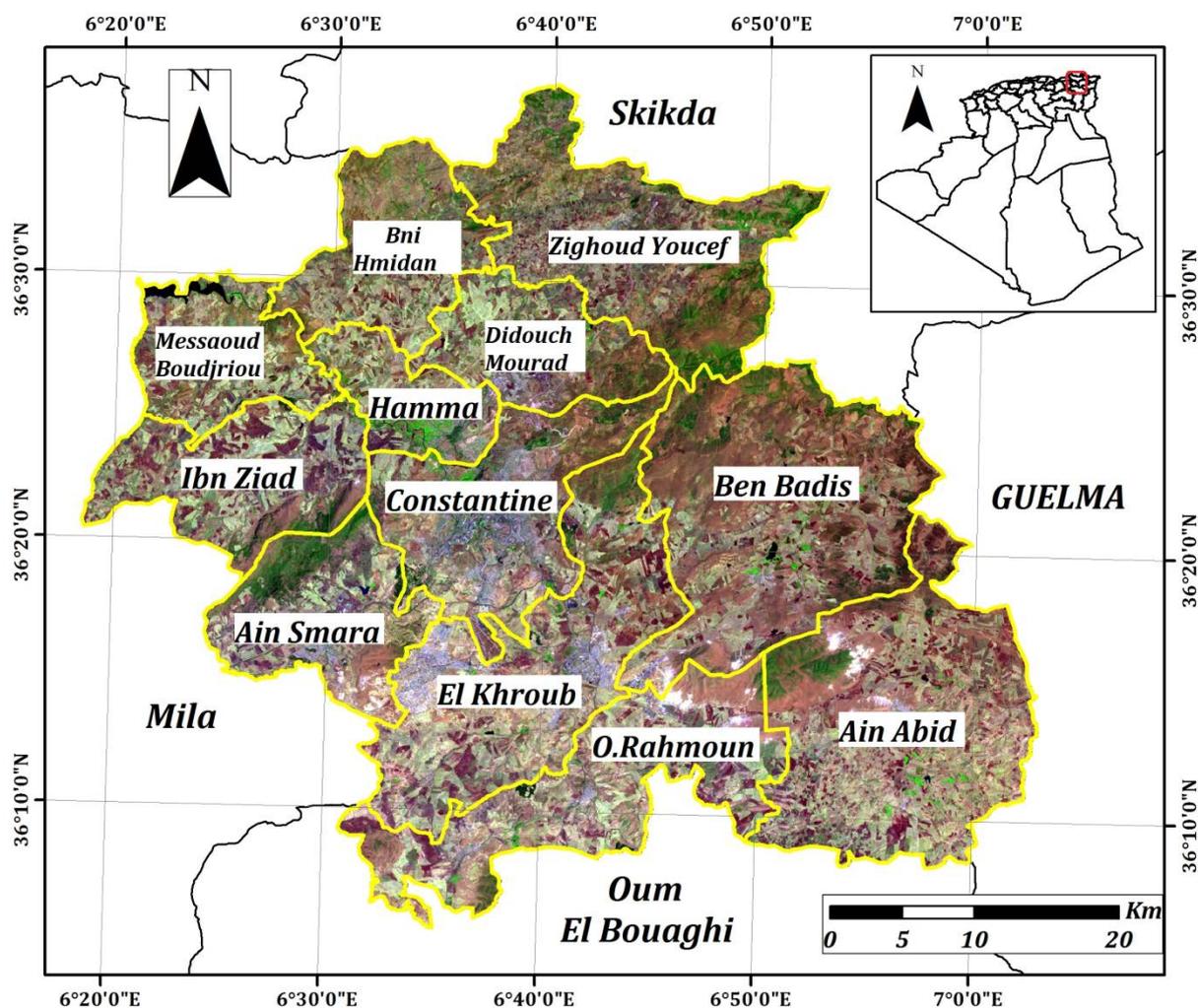


Figure 2.1 : Limite administrative de la Wilaya de Constantine (Google. 2016).

- la vallée de Boumerzoug au sud-est comprend les villes d'El Khroub (36°26'N, 06° 70' E 640 m) et Bounouara (36° 20' N, 06°81' E, 670 m) ;

Chapitre 2 : Présentation de la région d'étude La ferme de El Baaraouia

- la vallée du Rhumel inférieur est située au Nord- Ouest avec l'axe de Mila ;
- la dépression du Hamma Bouziane au nord-est (36°41'N, 06° 59 E, 460 m).

La wilaya de Constantine est une zone de transition entre le Nord de l'Algérie au relief accidenté et le Sud plutôt plat. Les seuls pseudo-massifs méridionaux sont ceux de Chettaba situés au sud-ouest de Constantine et Oum-Settas situé au sud-est ; le Djebel Ouach se situe au nord-est et le Djebel Driss qui est une limite naturelle de la wilaya, est au nord –ouest. La région de Constantine montagneuse car son altitude varie entre 300 m dans la vallée du Rhumel et 1350 m au Djebel Driss. Le relief local est cependant souvent accidenté et à pente très forte.

L'étude a été réalisée dans la région de Constantine plus précisément dans la commune d'El-Khroub qui est située au Sud-ouest du chef-lieu la wilaya de Constantine, elle est limitrophe des communes suivantes (Fig 2.1) :

- Au Nord-ouest : commune de Ain-Smara
- Au Nord : commune de Constantine
- Au Nord-est : commune de Ibn-Badis
- Au Sud : commune de Ouled Rahmoune

2.2. Caractéristiques climatiques :

La zone ciblée par l'investigation est située dans un étage bioclimatique semi-aride de type continental, caractérisée par des étés chauds et des hivers frais et pluvieux.

2.2.1. Les Précipitations :

Le tableau 2.1, présente les données des précipitations sur 25 ans et celles de la période d'étude (2013/2016).

Tableau 2.1 : Pluviométrie (mm) moyenne annuelle mensuelle sur 25 ans et de la période d'étude 2013/2016 (Source : ONM).

	Septe	Octol	Novo	Décen	Janvi	Féври	Mars	Avril	Mai	Juin	Juille	Août	Total
P (mm) 25 ans	37,5	38,5	45	73,2	62,8	53,8	56,2	59	42,3	19,3	4,7	16,3	508
2013/2014	23,0	26,8	86,2	29,6	42,8	31,0	131,7	5,7	60,3	14,8	1,0	0,4	453,3
2014/2015	12,8	13,0	25,1	105,4	113,0	121,0	85,8	5,2	18,8	9,2	0,6	125,0	634,9
2015/2016	24,4	48,8	40,6	0,0	43,8	16,2	66,4	46,4	44,6	9,2	0,0	9,0	349,4

2.2.2. Les Températures :

Les données des températures (T°C) de la période d'étude (2013/2016) (Tab. 2.2).

Chapitre 2 : Présentation de la région d'étude La ferme de El Baaraouia

Tableau 2.2 : Températures moyennes, maximales et minimales mensuelles (T°C) de la période d'étude 2013/2016 (Source : ONM).

T°C/Mois	Sept	Octo	Novel	Décem	Janvi	Févr	Mar	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
T°C Moy 2013/2014	21,3	20,1	10,5	7,0	8,1	8,9	8,7	13,7	16,9	22,6	25,6	26,3
T°C Moy 2014/2015	24,2	18,5	13,9	7,3	6,0	5,9	9,8	14,3	18,8	22,3	27,3	26,1
T°C Moy 2015/2016	21,5	17,2	11,2	7,9	8,8	9,1	9,6	14,6	17,6	22,6	26,0	24,3
T°C Max 2013/2014	28,9	28,5	15,7	12,9	14,0	15,7	14,3	21,8	25,3	31,1	34,3	35,4
T°C Max 2014/2015	33,1	27,0	20,9	12,5	12,3	10,9	16,0	22,5	27,3	30,7	36,2	34,5
T°C Max 2015/2016	28,3	23,5	17,2	15,8	15,7	15,6	16,1	22,0	26,0	31,5	34,8	32,9
T°C Min 2013/2014	15,7	13,5	6,5	2,3	3,5	3,2	4,2	6,2	9,3	14,4	17,5	18,6
T°C Min 2014/2015	17,2	11,9	8,2	3,2	1,5	2,1	4,6	7,2	10,7	14,2	18,3	18,6
T°C Min 2015/2016	16,3	12,4	6,5	2,0	3,5	3,9	4,2	8,3	10,2	14,6	17,3	16,6

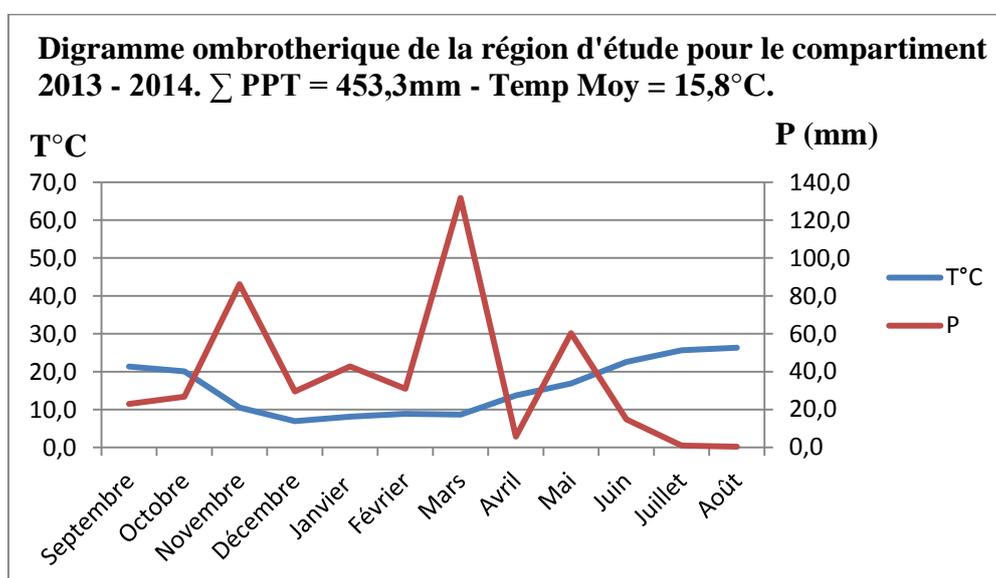


Figure 2.2 : Diagrammes ombrothermique pour l'année 2013/2014.

Le digramme ombrothermique de l'année 2013/2014 (Fig. 2.2), nous indique 2 périodes sèches :

1. Septembre –début Novembre,
2. Fin mai – Août.

Une période humide s'étalant de :

Début novembre jusqu'au mai.

Ainsi, le total pluviométrique cumulé durant cette année (2013/2014) a été au-dessus de la moyenne de l'ONM (office national de la météorologie). En effet, on observe qu'il y a une pluviométrie anormale durant le mois de mars 2014 où 131,1 mm (Tab. 1.1) sont tombées

Chapitre 2 : Présentation de la région d'étude La ferme de El Baaraouia

pendant 18 jours soit 111 mm de plus que la moyenne normale sur 25 ans. Il est à noter aussi que même le mois de novembre 2013 (Tab. 1.1) a été pluvieux. Ainsi, il est tombé en 16 jours 86,2 mm alors que la moyenne normale de l'ONM est de 45 mm seulement. Cependant, les précipitations ont été inférieures à la moyenne ONM sur presque la totalité des autres mois de l'année 2013/2014 (Fig. 2.2).

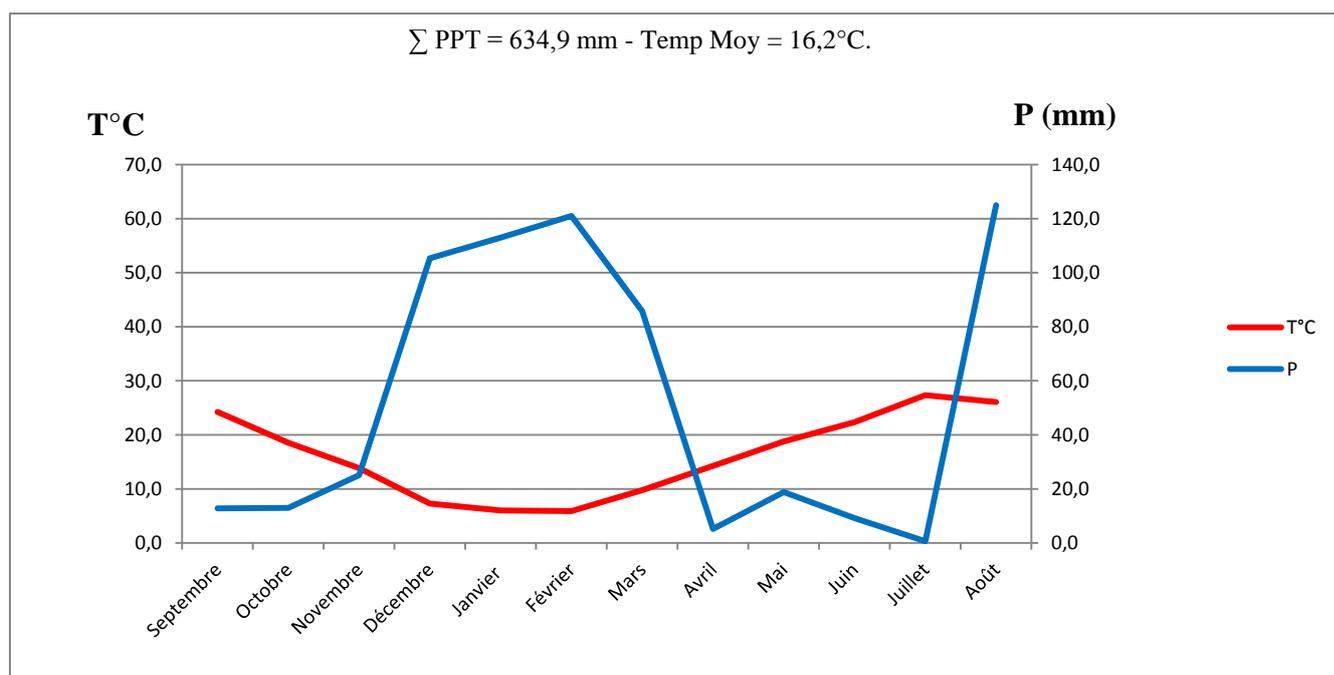


Figure 2.3 : Digramme ombrothermique de la région d'étude pour 2014 - 2015.

Concernant, l'année 2014/2015, le diagramme ombrothermique (Fig. 2.3) nous indique 2 périodes sèches sur les mois :

1. De septembre jusqu'au moitié de mois de novembre 2014.
2. Du mois d'avril jusqu'au fin juillet 2015.

Une période humide (Fig. 2.3) :

1. s'étalant de la moitié de novembre 2014 - au début d'avril 2015.

Le cumul pluviométrique de cette année est au-dessus de la moyenne Seltzer (sur 25 ans) mais elle est considérée comme l'une des plus défavorables pour une bonne production. Ceci est simplement dû à la très mauvaise répartition de cette pluviométrie dans le temps.

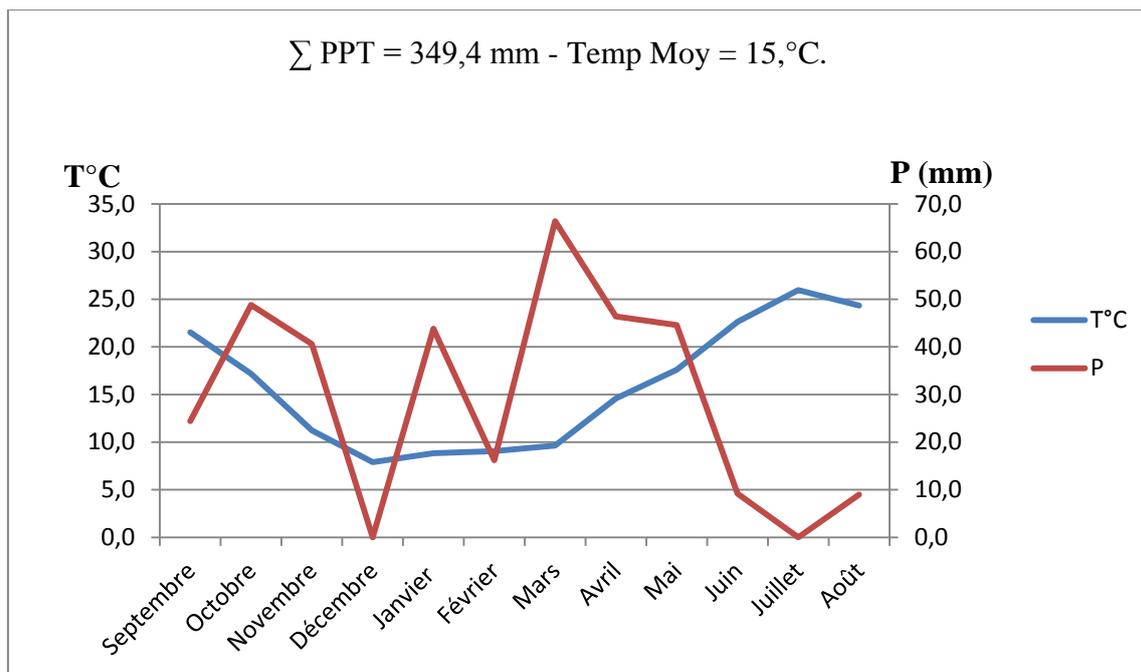


Figure 2.4 : Digramme ombrothermique de la région d'étude 2015 - 2016.

Pour l'année 2015/2016, le digramme ombrothermique indique 2 périodes sèches :

1. Le mois de septembre 2015 jusqu'au début octobre.
2. Fin mai jusqu'au Août.

Et une période humide :

1. De mois d'octobre jusqu'au fin mai.

Les précipitations enregistrées durant la période allant du mois de septembre 2015 jusqu'au la fin d'avril 2016 affiche un écart négatif de 139,4 mm par rapport à la moyenne SELTZER. Cette année est caractérisée par un hiver de faibles précipitations ce qui a contribué à la diminution des réserves hydriques du sol.

2.3. L'étage bioclimatique de la zone d'étude :

Pour déterminer l'étage bioclimatique de la zone d'étude, nous avons utilisé le climagramme d'EMBERGER (1932) dont la relation a été modifiée par STEWART (1969) et qui s'exprime :

$$Q = \frac{I_s \times P}{M - mI_s} : \text{Indice de Stewart} = 3,43.$$

P : moyenne mensuelle des précipitations annuelles en (mm/an).

M : moyenne mensuelle des températures maximales du mois le plus chaud en (°C).

m : moyenne mensuelle des températures minimales du mois le plus froid en (°C).

Selon STEWART, la région méditerranéenne est subdivisée en cinq étages bioclimatiques : humide, subhumide, semi-aride, aride et saharien.

Pour notre zone d'étude : Q_1 (2013/2014) = 46,97, Q_2 (2014/2015) = 62,75 et Q_3 (2015/2016) = 36,53 correspondent à l'étage bioclimatique semi-aride (Fig.5).

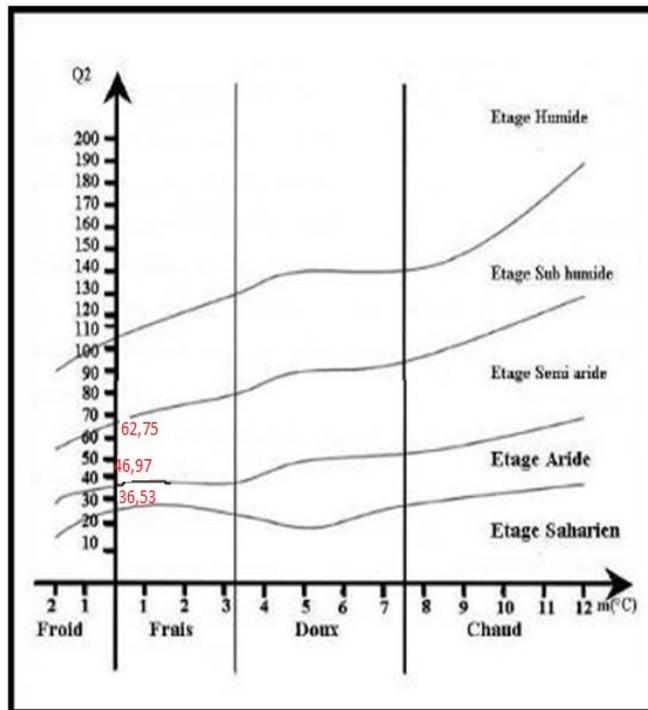


Figure 2.5 : Climagramme d'EMBERGER.

2.4 Sols :

La ferme pilote d'El Baraouia totalise une superficie agricole totale (S.A.T) de : 1113 ha, la superficie agricole utile (S.A.U) est de 990 ha, soit 89% environ de la superficie totale. Les sols sont à prédominance argilo-limoneux pour 55%. Les terrains incultes sont à forte potentialités agricoles caractérisés par une végétation naturelle dominée par des espèces fourragères variées (orge en vert, avoine fourragère, vesce avoine, luzerne) (Anonyme 6 = D.S.A de Constantine, 2014).

2.5. La ferme pilote «El-Baaraouia» :

La station expérimentale (Fig. 2.6), est un domaine d'élevage qui été créé à l'époque de la colonisation en 1948 comme station pilote et comme ferme en 1981, elle est située à 14 km au Sud-est de Constantine et à 2km au Nord-ouest d'El-Khroub.

Chapitre 2 : Présentation de la région d'étude La ferme de El Baaraouia

L'unité d'exploitation de la ferme est un ensemble homogène, a pour mission la production de semence de céréales, des fourrages et l'amélioration de la production animale (Merikhi et Ghemara, 2009). D'après les études menées par Rached-Mosbah (1977) et Hamra-Kroua et Cancela Da Fonseca (2009) sur le sol de la ferme d'El-Baaraouia, ils ont noté que la nature du sol est calcaire avec présence d'éléments calciques. 2011(Djaalab, 2011).

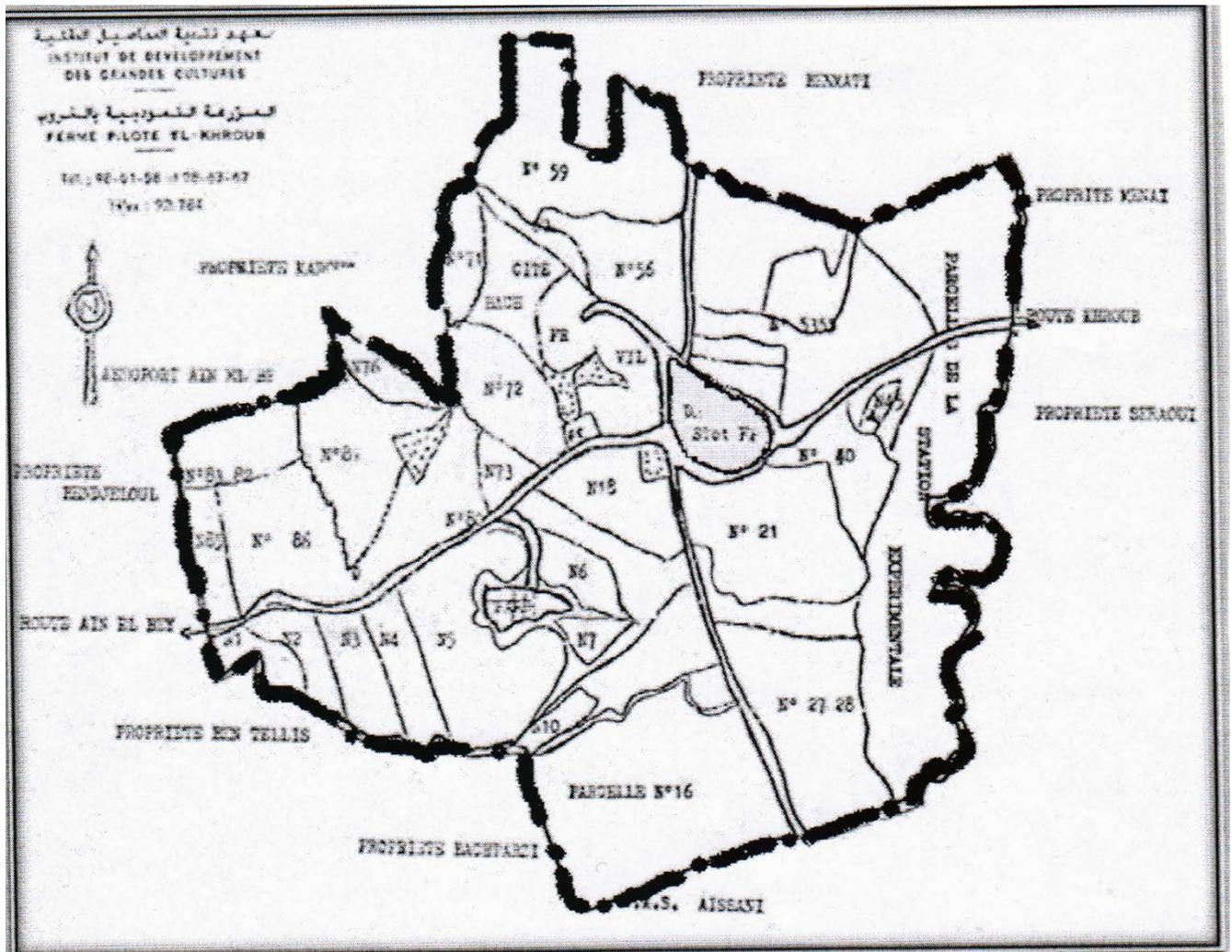


Figure 2.6: Plan de la Ferme pilote « El Baaraouia » (ITGC, 2010).

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

3.1. Présentation de la Station d'étude :

Ce travail est réalisé, sur l'une des terres incultes de la ferme expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) dans la région d'El Khroub (Cf. Chap II). La station d'étude est située à une altitude de 594 m, une latitude de 6.40 Est et une longitude de 36.16 Nord (Fig.3.1). Elle est située en zone semi-aride dont la moyenne des précipitations annuelles est de 450 mm/an (Cf. Chap. II).



Figure 3.1 : Présentation de la Station d'étude (Google Earth, 2016).

3.2. Mise en place de l'expérience sur terrain :

3.2.1. Plan expérimental :

Dans la station d'étude, il a été choisi une parcelle de 100 m². Nous l'avons subdivisée en 15 placettes de 2 m² chacune et avec un espacement de 2,5 m entre chaque placette. Ainsi, la figure 3.2, montre, 5 modalités : des parcelles témoins (T), des parcelles avec Bois Raméal fragmenté (BRF), des parcelles avec un mélange de Bois Raméal fragmenté et du fumier (BRFF), des parcelles avec Bois Raméal fragmenté et vers de terre (BRFV) et des parcelles avec mélange de Bois Raméal

fragmenté et du fumier et en présence de vers de terre (BRFFV). En outre pour chaque observation 3 répétitions ont été faites (Fig. 3.2).

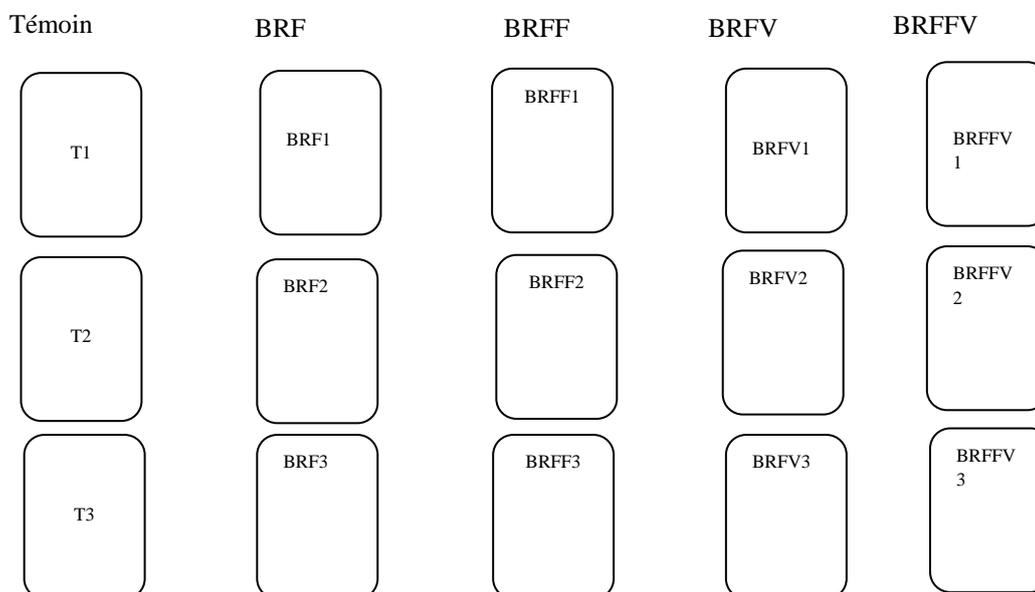


Figure 3.2 : Schéma du plan expérimental.

3.2.2. Choix des déchets :

Nous avons choisi des petites branches inférieures à 7 cm de diamètre d'un arbre fruitier, le nectarinier (*Prunus persica* var. *nucipersica*). Ses rameaux ont été élagués avec un sécateur et broyés à l'aide d'un broyeur à marteau (Fig. 3.3) pour obtenir des copeaux de 2 à 5 cm³ (Fig. 3.4).

Ces déchets ont été mis dans des sachets et transportés pour la mise en place dans le site expérimental (Fig. 3.5, 3.6 et 3.7).



Figure 3.3 : Photo du Broyeur à marteau utilisé.



Figure 3.4 : Photo des copeaux de BRF de nectarine après broyage.



Figure 3.5 : Photo du BRF en sachets pour le transport.



Figure 3.6 : Photo du Transport de BRF.



Figure 3.7 : Photo des différentes placettes.

3.2.3. Calcul des apports :

Pour chaque placette étudiée à l'exception du témoin, un volume $0,03 \text{ m}^3/\text{m}^2$ a été apporté. Ce qui équivaut à une quantité de $4 \text{ kg}/\text{m}^2$ soit une hauteur de 4 cm d'apport. En effet, le volume qu'il s'agit d'ajouter dans un hectare pour une épaisseur de 4 cm est de 40 T/ha (Caron et Lemieux, 1999). Ainsi Il a été mis 8 kg d'entrant énergétique pour chaque parcelle. L'apport des déchets a été effectué 2 fois, le 1^{er} apport a été effectué en mars 2014 et le 2^{ème} en avril 2016.

3.2.4. Le fumier :

Nous avons choisi comme fumier celui des bovins. Ce fumier a été apporté à partir de la ferme pilote de l'ITGC, sa durée de compostage est de 6 mois à un an.

3.2.5. Choix des vers de terre :

Les vers de terre utilisés sont de l'espèce *Octodrilus complanatus* (Fig. 3.8). Ce choix a été fait, car *Octodrilus complanatus* est un vers de terre anéciques (Annexe, I), Ces gros vers de terre cherchent leur nourriture à la surface du sol puis la distribution en profondeur grâce aux galeries verticales qu'ils creusent. Ils sont appelés les laboureurs du sol ou encore les ingénieurs du sol ou les intestins du sol (Cf. Chap. I).

Ainsi, au début de l'expérimentation, nous avons introduit dans les placettes (BRFV1, 2 et 3 et BRFFV1, 2 et 3) $60 \text{ ind}/\text{m}^2$ (biomasse estimée à $240 \text{ g}/\text{m}^2$) *Octodrilus complanatus*. Ces vers de terre ont été prélevés dans la région de Mila plus précisément à Ain Mellouk (latitude de 6.11 Est, longitude de 36.16 Nord ; une altitude de 858 m et des précipitations moyennes de 900 mm (Anonyme7, 2015= Source : Service des forêts de Mila 2015).



Figure 3.8 : Photo d'*Octodrilus complanatus*.

3.2.6. Présentation des différentes placettes :

T : placette de 2 m², avec aucun apport dans T1, T2 et T3 ;

BRF : dans chaque placette de 2 m² une quantité de 4 kg/m² de bois raméal fragmentés (BRF) a été mis dans BRF1, BRF2 et BRF3 ;

BRFF : 4kg/m² dont 75% de BRF et 25% de fumier dans BRFF1, BRFF2 et BRFF3 ;

BRFV : 4kg/m² de BRF présence de 120 individus (*Octodrilus complanatus*) dans BRFV1, BRFV2 et BRFV3 ;

BRFFV : 4 kg/m² dont 3kg de BRF et 1kg de fumier et présence de 120 vers de terre (*Octodrilus complanatus*) dans BRFFV1, BRFFV2 et BRFFV3.

Tableau 3.1 : Composition des placettes étudiées.

Placettes	Composition	Symboles
Témoïn	Terrain nu	T1, T2 ; T3
BRF	8 kg de BRF.	BRF1, BRF2, BRF3
BRFF	6 kg de BRF, 2 kg de fumier,	BRFF1, BRFF2, BRFF3
BRFV	8 kg de BRF, et 120 vers de terre <i>Octodrilus complanatus</i>	BRFV1, BRFV2, BRFV3
BRFFV	6 kg de BRF, 2 kg de fumier, et 120 vers de terre <i>Octodrilus complanatus</i>	BRFFV1, BRFFV2, BRFFV3

3.3. Méthodes d'échantillonnage :

La méthode d'échantillonnage consiste à prélever le sol sur une surface de 20 cm × 20 cm et à une profondeur de 20 cm à l'intérieur de chaque placette, le prélèvement a été effectué à l'aide d'une tarière.

3.3.1. Prélèvement du sol pour les paramètres physico-chimiques :

Le prélèvement du sol pour l'analyse des paramètres physico-chimiques a été effectué sur une surface de 20 cm × 20 cm et à une profondeur de 20 cm à l'intérieur de chaque placette, le prélèvement a été effectué à l'aide d'une tarière. Les prélèvements ont été effectués pendant chaque saisons (automne, printemps et été de 2014 à 2016) pour : la température ($T^{\circ}\text{C}$), % de l'humidité (H%), le pH, la conductivité électrique ($\text{CE}_{\mu\text{S}/\text{cm}^2}$), le % calcaire totale (% CaCO_3), le % calcaire actif (Ca^{++}). Au début d'étude (2014) et en fin d'étude (2017) pour : la porosité le %

carbone total (%C), le % de la matière organique (M,O), le taux d'azote totale (%N), le rapport C/N et au début d'étude pour la granulométrie. Les échantillons pris ont été mis dans des sachets en plastique étiquetés et fermés. Les sols sont séchés à l'étuve pendant 24 h, tamisés par un tamis de 2 mm et conservés dans des sachets pour l'analyse.

3.3.2. Prélèvement du sol pour les paramètres biotiques:

Pour les paramètres biotiques, les échantillons du sol ont été collectés à partir des différents types de placettes étudiées. Les prélèvements des échantillons ont été effectués dans les 20 premiers centimètres du sol ils ont été mis dans des sachets de plastique pour les étudier au laboratoire.

3.4. Paramètres déterminés :

3.4.1. Paramètres physico-chimiques :

les paramètres physico-chimiques du sol déterminés sont : la température ($T^{\circ}\text{C}$), % de l'humidité (H%),le pH,la granulométrie,la porosité, la conductivité électrique ($\text{CE}\mu\text{S}/\text{cm}^2$), le % calcaire totale (% CaCO_3), le % calcaire actif (Ca^{++}), le % carbone total (%C), le % de la matière organique (M,O), le taux d'azote totale (%N), le rapport C/N. Ces paramètres physico-chimiques ont été mesurés par des méthodes standards.

A. Granulométrie :

Elle est effectuée au niveau du laboratoire de Mécanique Des Sols (MDS) au sein du département de Génie Civil de l'Université des Frères Mentouri Constantine1. 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 norme (NF EN 94-057).

L'interprétation des résultats est effectuée après avoir représenté les données sur un triangle textural.

B. Evolution de la température du sol (°C) :

La température (°C) dans les quinze placettes préparées a été mesurée hebdomadairement avec une sonde.

C. Evolution de l'humidité du sol (H%) :

Les mesures de l'humidité (H%) dans les quinze placettes ont été mesurées hebdomadairement à l'aide d'un hygromètre Testo 635-1 avec une sonde 0636 2161.

D. Evolution du 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 CRISON (model pH-Meter BASIC 20) étalonné avec trois solutions à pH connu (pH 4,01. pH 7,0 et pH 9,21) à 20°C, dans une suspension de sol et d'eau distillée, dans un rapport (2/5), après agitation pendant 1 h, suivie et un repos de 18 h (NF X 31-117 1999).

E. Conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) :

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 une agitation de 2h et un repos de 24h (Aubert, 1978) à l'aide d'un conductimètre (model JENWAY 4510), les lectures sont exprimées en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

F. 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**»

G. Calcaire actif (Ca⁺⁺) :

La méthode de détermination du calcaire actif est composée de deux parties ; l'extraction de CaCO₃ 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 KMnO₃ et H₂SO₄.

H. Porosité totale (%P) :

Le calcul de la porosité se fait à partir de la densité apparente et de la densité réelle. On détermine donc la porosité totale comme suit :

La densité apparente a été déterminée par la méthode de la motte de terre enrobée par la paraffine (dans le laboratoire).

$$P \% = [1 - (D_a / D_r)] \times 100 \text{ où :}$$

D_a : la densité apparente.

D_r : la densité réelle. (La densité réelle est constante pour la plupart des sols et a pour valeur 2,65)

I. Taux de Carbone organique (% C) :

Le dosage est réalisé à partir de l'oxydation du glucose (P_m = 180,16 g) par le bichromate de potassium (Cr₂O₇K₂) en milieu fortement acide (acide sulfurique). Le carbone est transformé en CO₂ et réduit en Cr³⁺. 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 micro-plates.

J. Taux de Matière organique (%MO):

Le taux de matières organiques étant obtenu par la formule :

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

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).

L. Taux de l'azote total (% N) :

L'azote total 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 ammoniac est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammonium. Puis l'ammoniac est distillée dans une solution d'acide borique. On titre avec une solution d'acide chlorhydrique à 0.01 N.

M. Le rapport C/N :

Le rapport C/N est déterminé à partir du carbone organique et de l'azote total.

3.4.2. Détermination des paramètres biotiques :

Durant cette expérimentation, nous avons déterminé les espèces de champignons et leur densité pendant mars, avril, mai, juin et novembre 2014.

La densité des collemboles et des acariens a été suivi mensuellement de mars 2014 à janvier 2015.

Le QBS indice (Qualité Biologique du Sol) a été suivi mensuellement de mars 2016 jusqu'au mois de février 2017 soit 12 mois de suivi.

L'effectif ind/m² et la biomasse (g/m²) sont déterminés en fin de l'expérimentation.

A. Détermination des champignons microscopiques :

1. Identification :

1g d'échantillon du sol a été suspendu dans 10ml d'eau distillée (Waksman, 1922) pour préparer les suspensions microbiennes (10^{-1} à 10^{-6}). Seules les dilutions de 10^{-2} , 10^{-4} et 10^{-6} ont été utilisées pour isoler les champignons. De chaque dilution 1ml de suspensions a été mise dans une boîte de pétri stérilisée contenant 15ml de gélose Sabouraud. Les boîtes de pétri ont été incubées à la température ambiante et elles ont été observées après 7 jours. L'identification des isolats est basée sur les observations du mycélium fongique. Observation macroscopique permet de déterminer la couleur de la colonie pendant le développement et à mesurer son diamètre. L'observation microscopique détecte la présence du thalle, la présence ou l'absence de septum, la nature de la production et les caractéristiques des fructifications et des spores (Samson et Haesks, 1988 ; Hawkswarth, 1995 ; Hoog and Guarro, 1995 et Gams *et al.*, 1998). Le mycélium est fixé en utilisant une solution contenant 13 ml de 40 % formaldéhyde et 5 ml d'acide acétique glaciale, ajouté à 200 ml d'éthanol 50 % (w/v). La préparation est colorée avec du lactophénol bleu coton (Packer et Thomas, 1990).

2. Densité des champignons microscopiques (colonie/g du sol)

Le nombre de microorganismes/g de sol est égal au nombre de colonies comptées par boîte/dilution utilisée (colonie/g du sol).

B. Extraction des collemboles des acariens et détermination de l'indice de la qualité biologique du sol (QBS) :

Les collemboles et les acariens font partie des microarthropodes, leur méthode d'extraction est la même que celle utilisée pour la détermination de l'indice de la qualité biologique du sol (QBS). Les principales étapes pour obtenir les valeurs QBS sont:

(1) échantillonnage; (2) l'extraction des microarthropodes et conservation des spécimens recueillis; (3) détermination des formes biologiques et calcul de l'indice QBS (Parisi, 2001).

1. Échantillonnage :

Dans le site d'étude, on délimite une zone représentative pour l'échantillonnage du sol. Pour le calcul du QBS les échantillons doivent être collectés lorsque l'humidité du sol se situe entre 40 et 80%. Les échantillons sont placés dans des sacs en plastique étiquetés et fermés (Parisi *et al.*, 2005).

2. Extraction des microarthropodes et conservation des spécimens recueillis:

Selon Bachelier, (1978), les microarthropodes sont extraits par plusieurs méthodes, dont la plus simple et la plus utilisée à nos jours est celle connue sous le nom «extraction par voie sèche» décrite par BERLEZ-TULLGREN (1918) qui consiste à placer sur un entonnoir d'environ 25cm d'ouverture un tamis métallique ou en tulle à maille de 2mm à 4mm de diamètre contenant l'échantillon que l'on étale sur une épaisseur de 2cm pour éviter une forte mortalité des individus (Fig.3.9).

L'échantillon est chauffé par une lampe électrique de 25 à 40 watts que l'on place à 25cm au-dessus du tamis.

La durée d'extraction (jamais inférieure à 5 jours) sera proportionnelle à la teneur en eau de l'échantillon de sol, telle que déterminée par (Parisi, 1974).

Les échantillons extraits sont observés sous un stéréo-microscope à faible grossissement (45 fois, habituellement 20 à 40 fois suffisant) dans le même liquide conservateur (Parisi *et al.*, 2005).

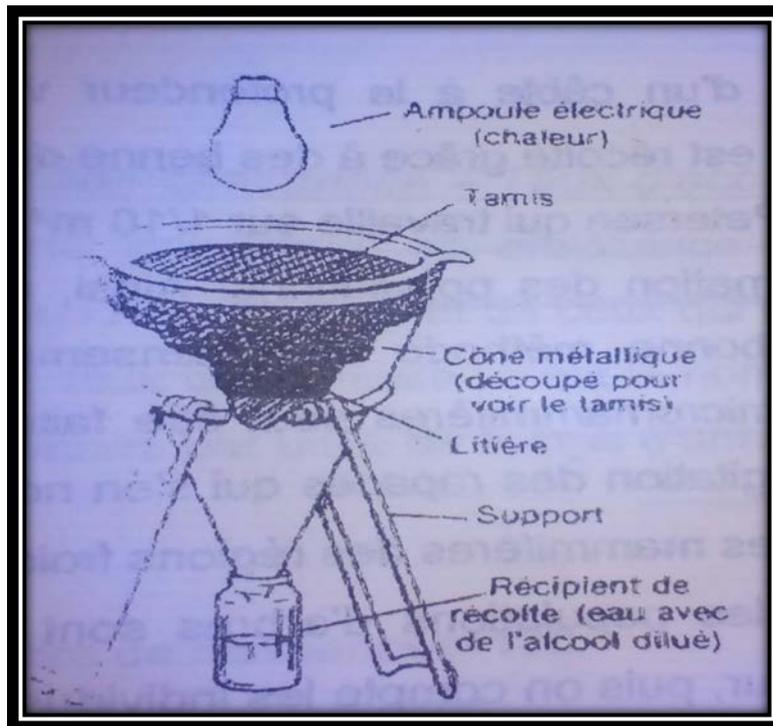


Figure 3.9 : Schéma du BERLEZ pour la récolte de la faune du sol (Bachelier, 1978).

3. Détermination des formes biologiques et calcul de l'indice QBS :

Définir les formes biologiques présentes dans un échantillon signifie reconnaître les différents niveaux d'adaptation à l'environnement du sol pour chaque groupe systématique. Dans chaque taxon supérieur, la méthode QBS nécessite la recherche de la forme biologique (morpho-type) la plus adaptée au sol. Ce type recevra un score éco-morphologique (IEM) proportionnel à son niveau d'adaptation (Tab.3.2). En règle générale, les formes eu-édaphique (c'est-à-dire les formes qui vivent en profondeur du Sol-vivant) obtiennent une EMI= 20, les formes hémiedaphiques (c'est-à-dire intermédiaires) reçoivent un d'indice Proportionnel à leur degré de spécialisation, tandis que les formes épi-édaphique (qui vivent en surface) reçoivent un IEM= 1 Pour calculer le QBS d'un échantillon, il suffit de faire la somme des EMI de cet échantillon. (Parisi *et al.*, 2005) (Tab.3.2).

Chapitre 3 : Matériels et Méthodes

Tableau 3.2 : Indices Eco-Morphologiques (IEM) des groupes de microarthropodes édaphiques (Parisi *et al.*, 2005).

Groupe	EMI score
Protura	20
Diplura	20
Collembola	1-20
Microcoryphie	10
Zygentomata	10
Dermaptera	1
Orthoptères	1-20
Embioptera	10
Blattaria	5
Psocoptera	1
Hemiptera	1-10
Thysanoptères	1
Coleoptera	1-20
Hyménoptères	1-5
Diptères (larves)	10
Autres insectes holométaboles (larves)	10
Autres insectes holométaboles	1
Acariens	20
Aranéide	1-5
Opilion	10
Palpigrade	20
Pseudoscorpions	20
Isopode	10
Chilopode	10-20
Diplopode	10-20
Paupode	20
Symphyles	20

C. Essai au laboratoire sur l'impact de l'apport de BRF et du fumier sur la croissance et le développement d'*Octodrilus complanatus* :

1. Plan d'expérience :

La figure (3.10) montre 2 compartiments BRFV et BRFFV. En outre pour chaque observation trois répétitions sont faites. L'essai au laboratoire a duré 8 mois (du 20/05/2017 au 20/01/2018).

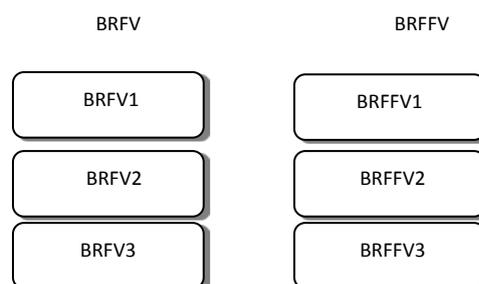


Figure 3.10 : plan d'expérience au laboratoire.

2. Montage proprement dit : mise en œuvre.

a) Préparation des Boîtes : Nous avons préparé 6 boîtes en plastique (Longueur=26,5cm, Largeur=19 cm Hauteur=12cm). Les boîtes sont préalablement trouées (aération) et tapissées d'une moustiquaire afin d'éviter que les vers de terre ne fuient. Nous les dénommons dans "lombriboîtes».

b) Mise en place du sol : Dans chaque lombriboîte, nous avons mis 2 kg de sol venant des placettes BRFV et BRFFV de la station.

c) Mise en place des vers de terre : Choix de l'espèce : nous avons utilisé la même espèce que l'expérimentation au terrain soit *Octodrilus complanatus*.

•Nombre d'individus : nous avons mis 3 individus adultes d'*Octodrilus complanatus* dans les lombriboîtes de 0,05 m² soit une densité estimée à 60 ind/m².

•Biomasse initiale (g) est de 12g soit une biomasse (g) estimée à 240g/m².

3. Détermination de l'effectif (N ind) et de la biomasse (g) :

A la fin de l'essai, nous avons dénombré et déterminé la biomasse (g) d'*Octodrilus complanatus* pour les différents stades de développement (Juvéniles et Adultes) dans les lombriboîtes BRFV et BRFFV.

3.5. Détermination de la productivité primaire du blé dur (g/m²) :

Pour connaître la qualité du sol après l'apport du BRF du fumier et la présence de lombriciens, nous avons fait des cultures de blé dur sur les différentes placettes et pour 3 saisons (printemps 2016, Automne 2016, printemps 2017) jusqu'au stade 4 feuilles. Dans chaque placette nous avons semé 200 graines de Hedba 3(Annexe 1). Les paramètres mesurés sont le pourcentage de germination (%), la hauteur (cm) des plants et la phytomasse fraîche et sèche (g/m²) de la partie aérienne.

3.6. Traitement statistique des données :

Le but d'une ANOVA consiste à étudier la variation d'un ou plusieurs facteurs mesurés sur des échantillons provenant de la réalisation d'un plan expérimental préétabli. Les observations obtenues sont alors modélisées en conséquence et les résultats des analyses statistiques associés sont souvent résumés dans une table d'ANOVA. Ces résultats décrivent les sources de variations des différents facteurs et donnent la valeur du test statistique (Test de Fischer, Fobs) associé. La règle de décision consiste alors à comparer le Fobs à la valeur tabulée Ft pour un niveau du test donné et à conclure.

Les traitements des données sont effectués à l'aide du logiciel XLSTAT-Base 2017.

Les graphiques sont obtenus au moyen de logiciel EXCEL 2013.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

4.1. Paramètres abiotiques :

4.1.1. Analyse granulométrique du terrain d'étude :

A. Texture du sol étudié :

Les résultats de l'analyse granulométrique montrent qu'en moyenne : les argiles, les limons et le sable représentent respectivement 13,9% : 17,7 et : 68,4%. (Fig.4.1). Leur projection sur le triangle textural Américain (Duchauffour, 1977) (Fig.4.2), montre que le sol choisi appartient à la classe limon sableux qui se caractérise selon (Duchauffour, 1977) par une texture équilibrée qui présente toutes les qualités des textures fines et moyennes.

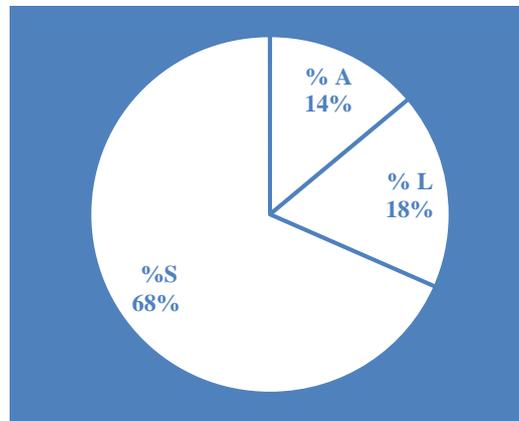


Figure 4.1 : Proportions moyennes (%) des fractions granulométriques du sol étudié.

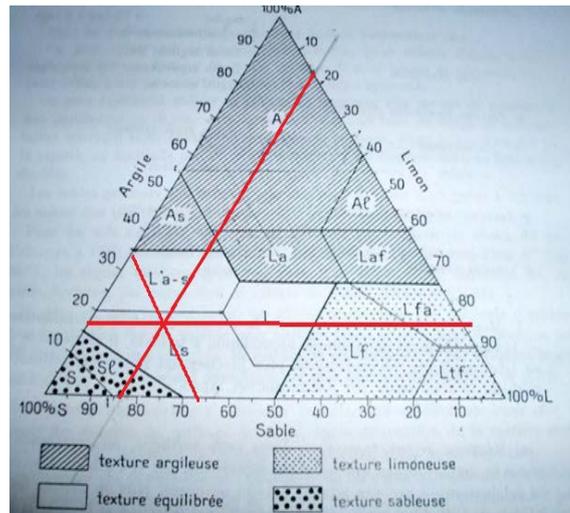


Figure 4.2 : Projection des fractions granulométriques (%) du sol étudié sur le triangle textural américain (Duchauffour, 1977).

Le tableau 4.1 donne les statistiques élémentaires des paramètres étudiés ($T^{\circ}\text{C}_{\text{sol}}$, $\%H_{\text{sol}}$, pH_{sol} , $\%CaCo_3$, $\% CaCo_3$ actif et C_e sol ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$) pour 3 saisons (automne, printemps et été) et pendant les 3 campagnes 2014, 2015 et 2016 étudiées.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.1. : Intervalles de confiance à 95 % pour les moyennes des variables physicochimiques déterminées (T°Csol, %Hsol, pHsol, %CaCo3, % CaCo3 actif et Ce ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)) dans les campagnes d'étude et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses.

Saisons	Campagnes	T°Csol	%H	pH	%CaCO3	% Calcaire actif	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Automne	2014	[21,2±0,2] (20,6- 22,0)	[72,4±3,1] 66,9-76,3	[7,6±0,0] 7,4-7,9	[32,0±0,5] 30,8-33,4	[11,5±0,2] (11,0- 12,5)	[61,8±10,0] (25,7-83,7)
	2015	[19,0±0,3] 17,6-20,3	[81,0±1,5] 75,0-86,0	[7,3±0,0] 7,2-7,5	[32,9±0,4] 31,7-34,8	[14,5±0,4] 13,5-16,5	[36,6±2,1] 31,5-44,9
	2016	[18,9±0,2] 18,0-19,6	[76,9±1,0] 72,0-82,0	[7,9±0,0] 7,7-8,1	[29,1±0,6] 27,6-31,2	[20,9±3,1] 10,0-33,5	[7,8±1,2] 5,0-13,4
Printemps	2014	[20,6±0,5] (19,2- 23,2)	[77,1±3,7] (61,6- 85,5)	[7,8±0,1] (7,4-8,0)	[35,1±0,5] (33,8- 36,7)	[14,5±0,2] (14,0- 15,3)	[33,4±3,2] (26,2-46,2)
	2015	[17,1±0,2] (16,3- 18,3)	[77,0±0,9] (73,1- 79,8)	[7,0±0,0] (6,8-7,3)	[32,1±0,6] (28,9- 34,0)	[14,2±0,4] (11,3- 15,5)	[53,0±6,5] (31,2-72,6)
	2016	[11,6±0,1] (11,1- 12,2)	[93,0±0,9] (87,2- 95,7)	[8,0±0,0] (7,8-8,2)	[28,6±0,4] (25,5- 29,7)	[21,8±1,0] (18,5- 26,0)	[7,2±1,2] (4,54-11,5)
Eté	2014	[27,3±0,4] (26,2- 29,0)	[73,7±1,8] (62,8- 77,7)	[7,8±0,0] (7,5-7,9)	[34,0±0,3] (31,4- 35,0)	[13,5±0,2] (13,0- 14,0)	[30,2±2,4] (25,5-44,9)
	2015	[29,7±0,3] (28,8- 31,7)	[71,2±1,7] (62,8- 75,0)	[7,3±0,0] (7,1-7,5)	[31,9±0,4] (30,4- 33,6)	[14,1±0,6] (12,0- 16,0)	[53,4±4,0] (44,8-67,2)
	2016	[26,1±0,3] (24,8- 27,4)	[74,9±1,6] (67,1- 78,6)	[7,9±0,0] (7,8-8,2)	[30,6±0,8] (27,8- 34,4)	[21,6±1,5] (17,5- 26,5)	[10,2±1,4] (5,5-14,5)

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.2 : Intervalles de confiance à 95 % pour les moyennes annuelles des variables physicochimiques déterminées ($T^{\circ}\text{C}_{\text{sol}}$, %Hsol, pHsol, %CaCO₃, % CaCO₃ actif et CE ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)) dans les campagnes d'étude et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses.

Années	$T^{\circ}\text{C}_{\text{sol}}$	%H	pH	%CaCO ₃	% Calcaire actif	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Année2014	[23,0±0,9]	[74,4±1,5]	[7,7±0,0]	[33,7±0,4]	[13,1±0,4]	[41,8±5,4]
	19,2-29,0	61,6-85,5	7,4-8,0	30,8-36,7	11-15,3	25,5-83,7
Année2015	[22,0±1,6]	[76,4±1,4]	[7,2±0,0]	[32,3±0,3]	[14,3±0,3]	[47,7±3,4]
	16,3-31,7	62,8-86	6,8-7,58	28,9-34,8	11,3-16,5	31,2-72
Année2016	[18,9±1,7]	[81,6±2,5]	[7,9±0,0]	[29,4±0,4]	[21,4±1,1]	[8,4±0,0]
	(11,1-27,4)	67,1-95,7	7,7-8,2	25,5-34,4	10,0-33,5	4,5-14,5

Tableau 4.3 : Fluctuations globales des paramètres physicochimiques.

Variables	$T^{\circ}\text{C}_{\text{sol}}$	%H	pH	%CaCO ₃
N	135	135	135	135
	[21,34±0,90]	[77,54±1,2]	[7,67±0,06]	[31,84±0,38]
	(11,16-33,77)	(61,60-95,70)	(6,870-8,2)	(25,53-36,71)

4.1.2. $T^{\circ}\text{C}$ sol :

A. Fluctuations des $T^{\circ}\text{C}$ sol pendant les campagnes d'étude :

1. Pour l'automne 2014, 2015 et 2016 :

a) **Selon les campagnes :** les moyennes des $T^{\circ}\text{C}_{\text{sol}}$ relevées dans sont de [21,2±0,2] ; [19,0±0,3] et [18,9±0,2] $^{\circ}\text{C}$ respectivement pour l'automne 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). La différence entre les moyennes est très significative ($F_{\text{obs}} = 168,746$; $\text{ddl}=2$ et $p<0,00$) (Tab. 4.4 et Fig. 4.3). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 2 classes de $T^{\circ}\text{C}_{\text{sol}}$ soit Aut14 (a)>Aut15 et Aut16 (b). Ainsi l'automne 2014 a été le plus chaud (Tab. 4.5).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.4 : Anova variable T°Csol en Automne.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	50,257	25,129	168,746	< 0,0001
Placettes	4	6,981	1,745	11,721	< 0,0001
Campagnes*Placettes	8	0,793	0,099	0,666	0,717

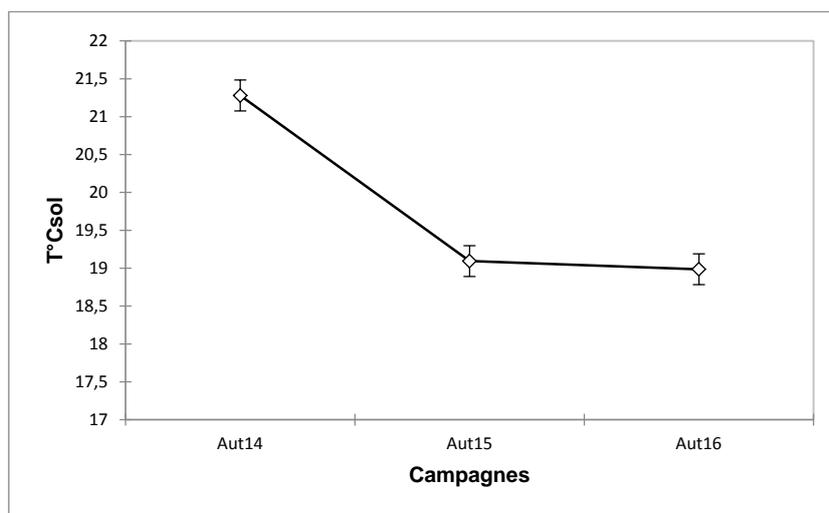


Figure 4.3 : Variations des moyennes des T°sol dans les campagnes d'étude.

Tableau 4.5 : Classification des campagnes d'automne selon la T°Csol (Test de Tukey).

T°Csol	
Aut14	21,280 a
Aut15	19,094 b
Aut16	18,986 b
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

b) Selon les placettes : Concernant les moyennes des T°Csol en automne dans les placettes, elles sont de [20,3] ; [19,1] ; [19,6] ; [19,7] et [19,9] °C respectivement pour T, BRFF, BRFF, BRFF, BRFF.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

BRFV et BRFFV. La différence entre les moyennes de la T°Csol dans les placettes étudiées est très significative ($F_{obs} = 11,721$; $ddl=4$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.4). Cela signifie que les placettes ont des T°C différentes pendant l'automne (Tab. 4.4 et Fig. 4.4). La valeur critique du d de Tukey : 4,102 nous donne 4 classes de T°Csol décroissante soit T (a) > BRFFV (ab) > BRFFV; BRFF (b) > BRF (c) (Tab. 4.6 et Fig. 4.5). Il est à noter que la placette sans apport (T) est la plus chaude.

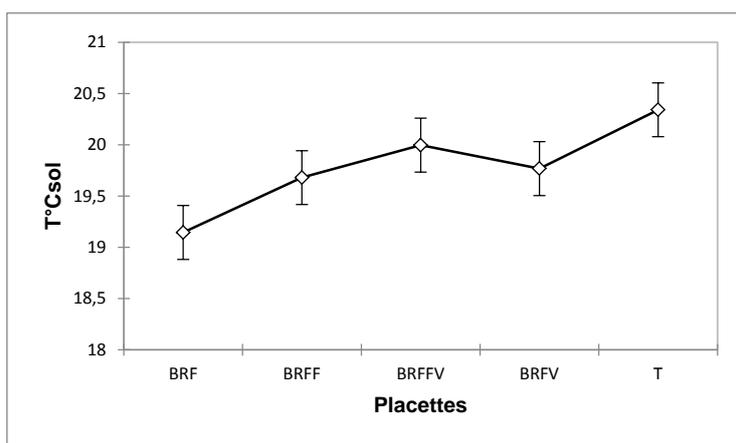


Figure 4.4 : Variations des moyennes des T°sol dans les placettes d'étude et en automne.

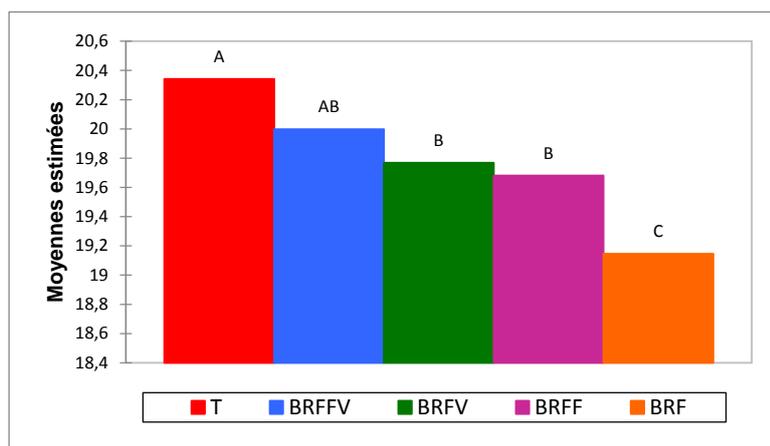


Figure 4.5 : Classification des placettes selon la T°Csol pour les campagnes d'automne étudiées.

Tableau 4.6 : Classification des placettes selon la T°Csol en automne.

	T°Csol
T	20,342
BRFFV	19,997
BRFV	19,769
BRFF	19,681
BRF	19,145

2. Pour le Printemps de 2014, 2015 et 2016 :

a) **Selon les campagnes de printemps :** La moyenne du T°Csol est de $[20,6 \pm 0,5]$; $[17,1 \pm 0,2]$ et de $[11,6 \pm 0,1]$ respectivement pour printemps 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes du T°C sol (Fobs = 2315,579 ; ddl=2 et $p < 0,00$) (Tab. 4.7 et Fig. 4.6). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes T°Csol décroissante print2014 (a) > print2015 (b) > print2016(c) (Tab 4.8 et Fig. 4.7). Le printemps 2014 a été le plus chaud (Tab 4.8, Fig 4.7).

Tableau 4.7: Anova pour la variable T°Csol pour les 3 campagnes d'étude au printemps.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	623,177	311,589	2315,579	< 0,0001
Placettes	4	10,892	2,723	20,236	< 0,0001
Campagnes*Placettes	8	8,882	1,110	8,250	< 0,0001

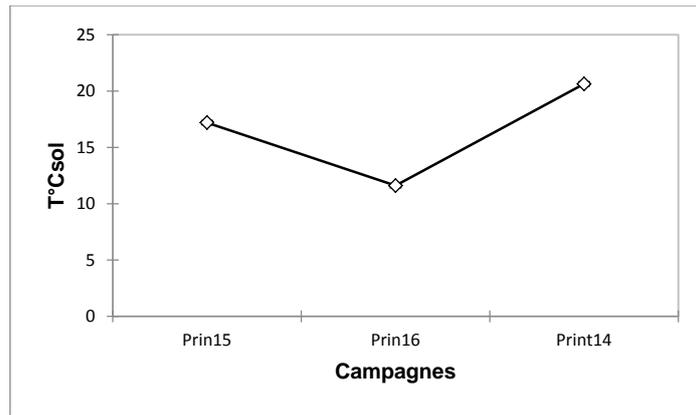


Figure 4.6 : Variations des moyennes de la T°Csol dans les campagnes d'étude au printemps.

Tableau 4.8 : Classification des campagnes de printemps selon la T°Csol (Test de Tukey).

T°Csol		
Prin14	20,637 a	
Prin15	17,198 b	
Prin16	11,607 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

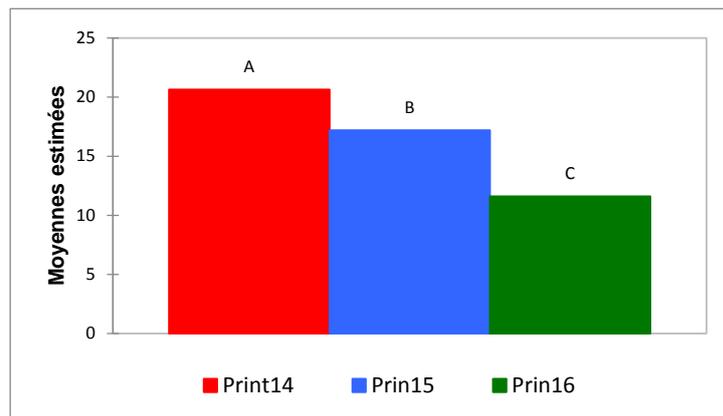


Figure 4.7 : Classification des campagnes de printemps selon de la T°Csol (Test de Tukey).

b) Selon les placettes étudiées au printemps : Les moyennes de T°Csol dans les placettes sont de [17,4] ; [16,2] ; [15,9] ; [16,4] et [16,3] °C respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes T°Csol des placettes au printemps est très significative (Fobs = 20,236; ddl=4 et p<0,00) (Tab. 4.7 et Fig. 4.8). Cela signifie qu'au printemps les placettes ont des T°C sol différentes. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 4 modalités de T°Csol décroissantes au printemps : T (a)> BRFFV (b) >BRFFV et BRF (bc)> BRFF (c) (Tab. 4.9 et Fig. 4.9).

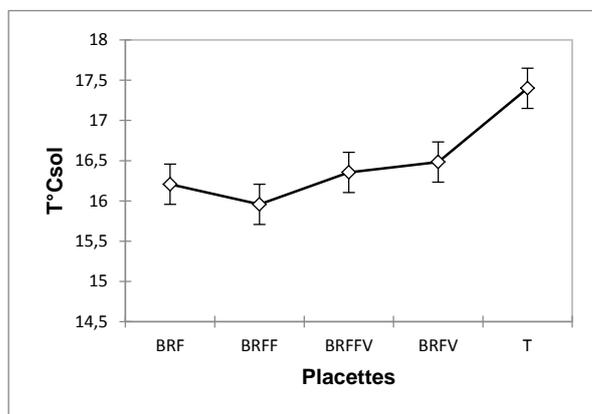


Figure 4.8 : Variations des moyennes de la T°Csol dans les placettes étudiées au printemps.

Tableau 4.9 : Classification des placettes selon la T°Csol au printemps.

T°Csol		
T	17,400 a	
BRFFV	16,484 b	
BRFFV	16,354 bc	
BRF	16,207 bc	
BRFF	15,957 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

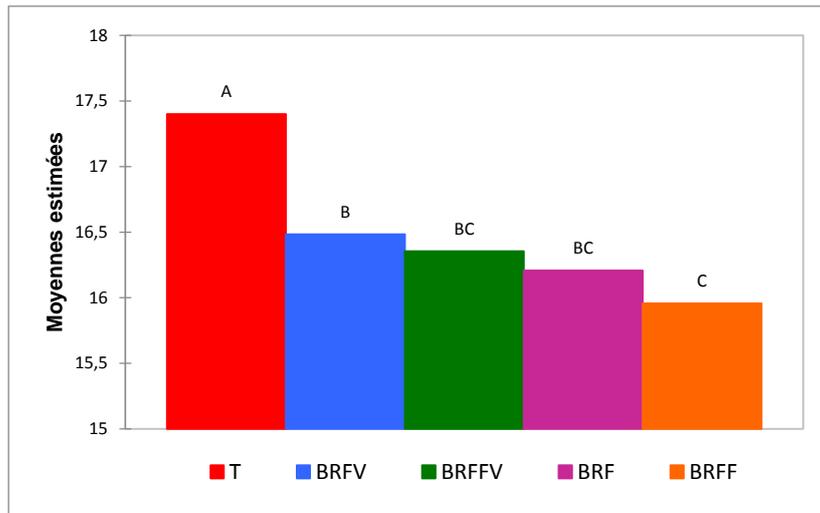


Figure 4.9 : Classification des placettes selon la T°Csol pour les campagnes de printemps étudiées.

Il est à remarquer (Tab. 4.7) qu'il y a un effet combiné entre les moyennes Campagnes*Placettes très significatif ($F_{obs} = 8,250$; $ddl=8$ et $p < 0,00$). Il est à observer en effet (Fig. 4.10) que les placettes et les campagnes dont la température du sol est la plus élevée se situent dans les placettes du printemps 2014.

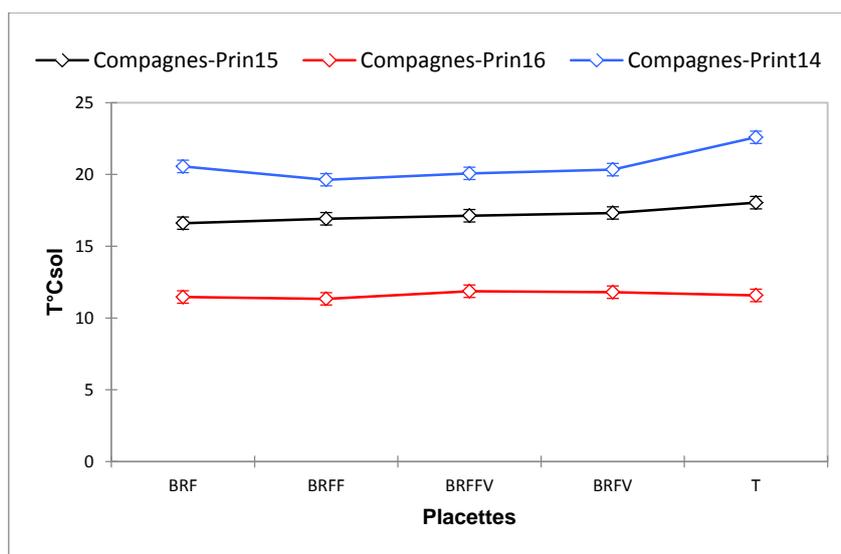


Figure 4.10: Variations des moyennes de T°Csol en fonction des placettes*campagnes étudiées.

3. Pour l'été 2014, 2015 et 2016 :

a) **Selon les campagnes :** La moyenne du T°Csol est de [27,3±0,4]; [29,7±0,3] et 26,1±0,3] °C respectivement pour l'été 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes du T°Csol (Fobs = 218,216; ddl=2 et p<0,00) (Tab. 4.10 et Fig. 4.11). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes de la T°Csol décroissante soit Été15 (a) > Été14 (b) > Été16 (c) (Tab. 4.11 et Fig. 4.12). L'été 2015 a été le plus chaud (Tab 4.11, Fig. 4.12).

Tableau 4.10 : Anova pour la variable T°Csol pour les 3 campagnes d'étude en été.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagne	2	103,201	51,601	218,216	< 0,0001
Placettes	4	16,895	4,224	17,862	< 0,0001
Campagne*Placettes	8	2,563	0,320	1,355	0,256

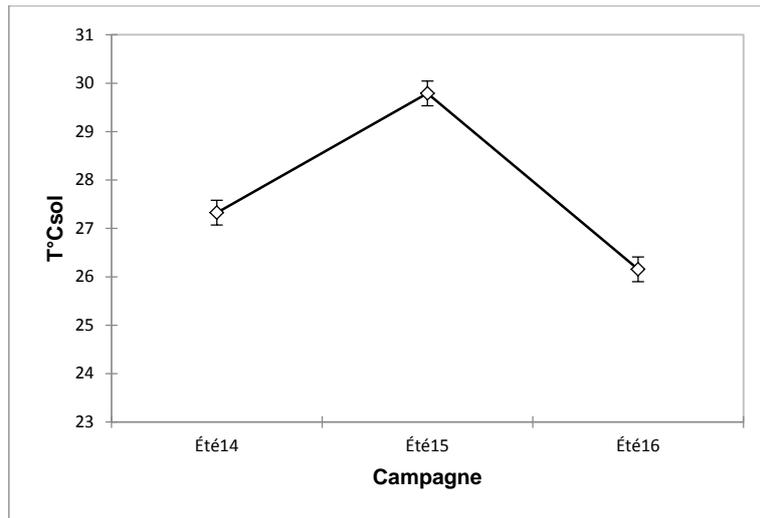


Figure 4.11 : Variations des moyennes de la T°Csol dans les campagnes d'étude en été.

Tableau 4.11 : Classification des campagnes d'été selon la T°Csol (Test de Tukey).

T°Csol	
Été15	29,790 a
Été14	27,326 b
Été16	26,156 c
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

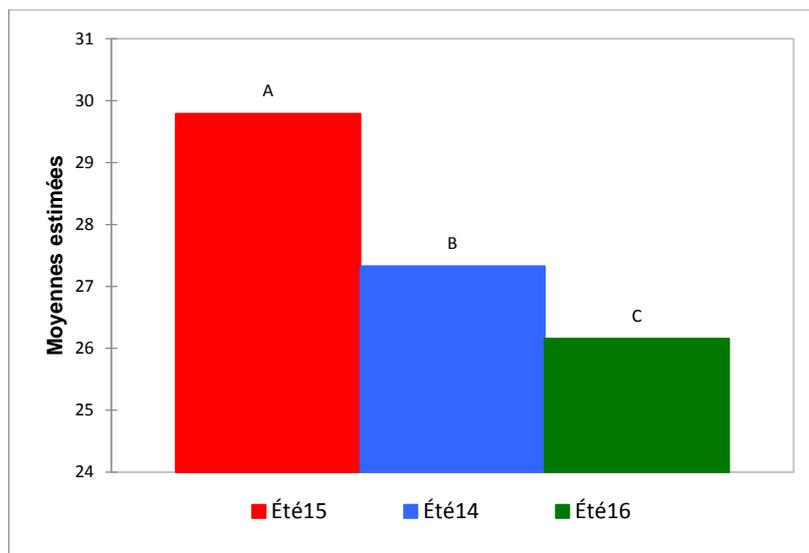


Figure 4.12 : Classification des campagnes d'été selon la T°Csol (Test de Tukey).

b) Selon les placettes étudiées en été : Les moyennes de T°Csol dans les placettes sont de [28,94] ; [27,39] ; [27,24] ; [27,49] et [27,70] °C respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes T°Csol des placettes en été est très significative ($F_{obs} = 17,862$; $ddl=4$ et $p < 0,000$) (Tab. 4.10 et Fig. 4.13). Cela signifie qu'en été les placettes ont des T°Csol différentes. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 2 classes de T°Csol décroissantes en été : T (a) > BRFFV, BRFFV, BRFF et BRFF (b) (Tab. 4.12 et Fig. 4.14)

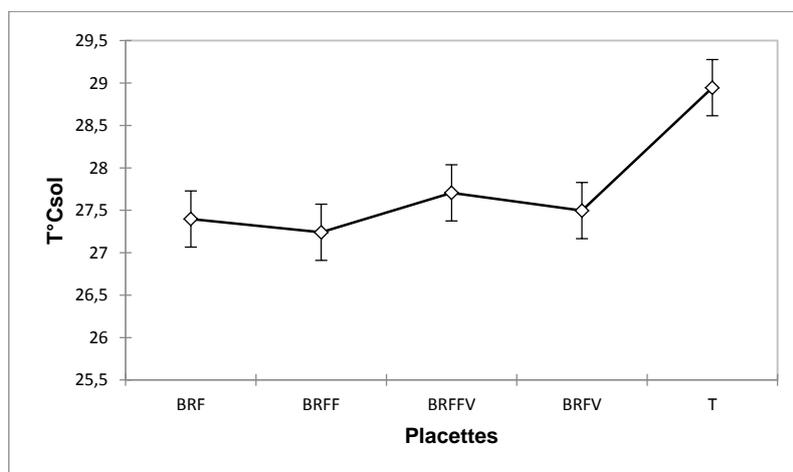


Figure 4.13 : Variations des moyennes de la T°Csol dans les placettes étudiées en été.

Tableau 4.12 : Classification des placettes selon la T°Csol en été (Test de Tukey).

T°Csol		
T	28,945 a	
BRFFV	27,706 b	
BRFV	27,497 b	
BRF	27,397 b	
BRFF	27,241 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

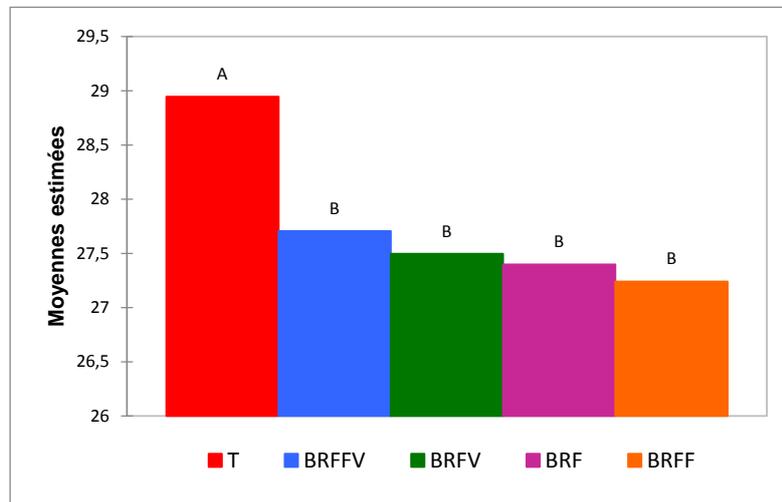


Figure 4.14 : Classification des placettes selon la T°Csol pour les campagnes d'été étudiées.

B. Fluctuation saisonnières pendant les 3 campagnes étudiées. :

Les moyennes de la température du sol sont de [19,7±0,0]; [16,4±0,1] et de [27,7±0,0] °C respectivement T°Csol aut; T°Csol printemps et T°C solété (Tab. 4.13). La différence entre les moyennes des T°Csol des saisons étudiées est très significative (Fobs = 237,847; ddl=2 et p<0,00) (Tab. 4.14 et Fig. 4.16). La Valeur critique du d de Tukey : 3,352 montre 3 classes de T°Csol Été (a) > Automne (b)> Printemps. Ainsi la moyenne des T°Csol des printemps est la plus fraîche (Tab 4.15 et Fig 4.17).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.13 : Intervalles de confiance à 95% pour la moyenne entre les saisons de la variable T°Csol, et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses.

T°C automne	T°Csolprintemps	T°Csolété
[19,7±0,0]	[16,4±0,1]	[27,7±0,0]
(17,6-22)	(11,1-23,2)	(24,8-31,7)

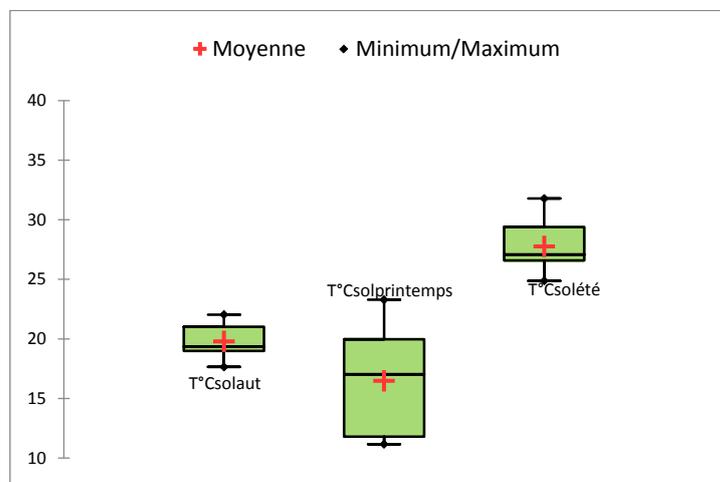


Figure 4.15 : Box plot pour la variable T°C sol saisonnièrement.

Tableau 4.14 : Anova pour la variable T° Csol pour les 3 saisons de l'expérimentation d'étude.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Saisons	2	3024,402	1512,201	237,847	< 0,0001

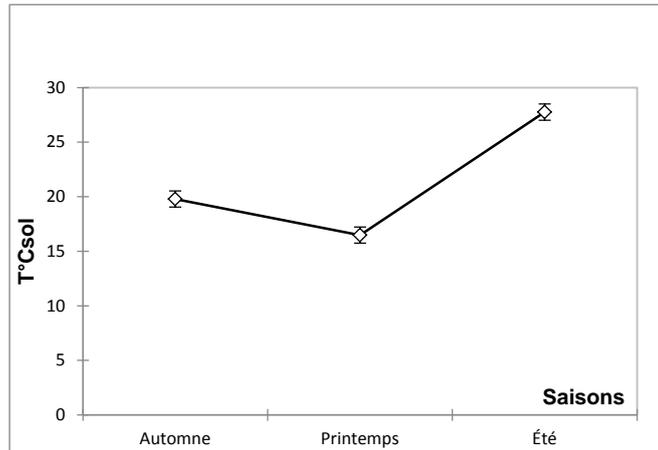


Figure 4.16 : Variation des moyennes du T° Csol dans 3 saisons d'étude.

Tableau 4.15 : Classification des saisons selon le T° Csol (Test de Tukey).

T°Csol		
Été	27,757 a	
Automne	19,787 b	
Printemps	16,480 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

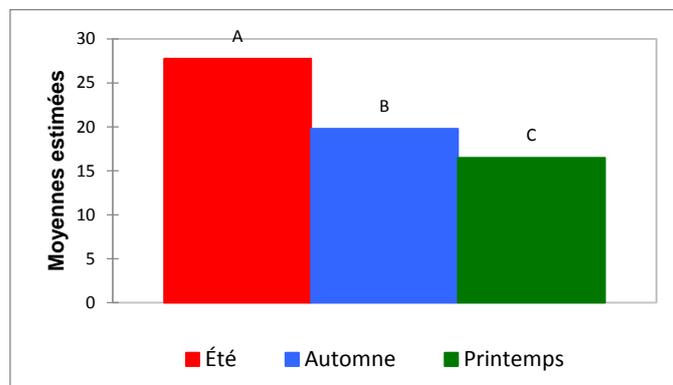


Figure 4.17 : Classification des campagnes d'étude selon la T°Csol (Test de Tukey).

C. Fluctuations annuelles :

Pour les années 2014, 2015 et 2016 la moyenne est de $[23,0 \pm 0,9]$; $[22,0 \pm 1,6]$ et $[18,9 \pm 1,7]$ °C pour l'année 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.2). La différence entre les moyennes est très significative ($F_{obs} = 8,092$; $ddl=2$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.16 et Fig. 4.18). La Valeur critique du d de Tukey : 3,352 montre 2 classes de $T^{\circ}C_{sol}$ Camp2014 et Camp2015 (a) > Camp2016 (b). Ainsi l'année 2016 est plus fraîche que l'année 2014 et 2015 (Tab 4.17 et Fig. 4.19).

Tableau 4.16 : Anova pour la variable $T^{\circ}C_{sol}$ pour les 3 campagnes d'étude.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	421,976	210,988	8,092	0,000

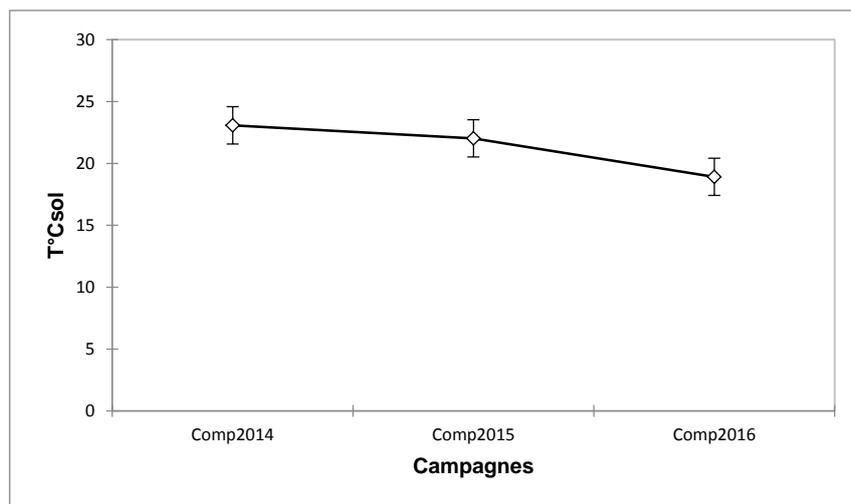


Figure 4.18 : Variations des moyennes du $T^{\circ}C_{sol}$ dans 3 campagnes d'étude en été.

Tableau 4.17: Classification des campagnes d'étude selon le T° Csol (Test de Tukey).

T°Csol	
Camp2014	23,081 a
Camp2015	22,027 a
Camp2016	18,916 b
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

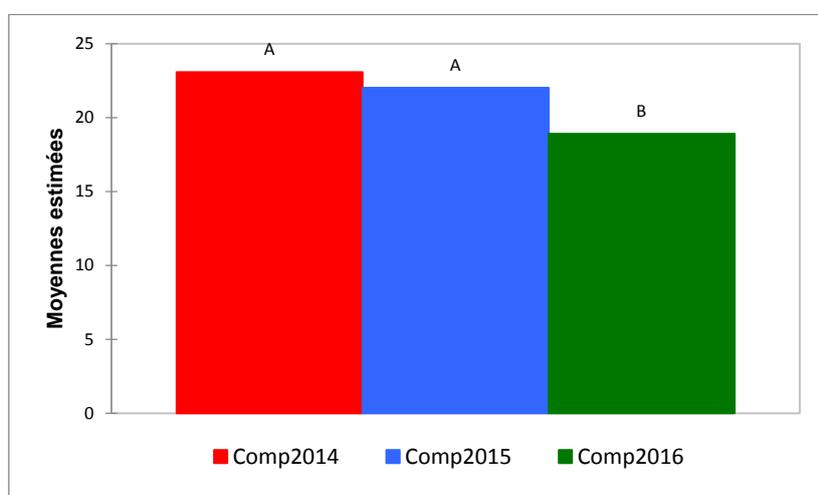


Figure 4.19 : Classification des campagnes d'étude selon la T°Csol (Test de Tukey).

Ainsi, la moyenne globale pour les 3 années d'expérimentation est de $[21,34 \pm 0,90]$ °C le minimum est de 11°C et le maximum relevé est de 34°C (Tab. 4.3).

Ainsi, pour les moyennes relevées pour la T°Csol nous avons noté un effet saison (Tab. 4.14 et Fig. 4.16) et un effet campagne (Tab. 4.16 et Fig. 4.18). Nous avons remarqué que la température du sol en été est plus élevée que T°Csol en automne (Tab.4.15 et Fig. 4.17), et ce dernier est plus élevée que T°Csol au printemps (Tab. 4.15). Cela est due à l'influence de la température de l'air sur celle du sol, lorsque la température de l'air augmente, la température du sol augmente et inversement. En effet, selon Rome *et al.*, (2008), la variation de la température du sol s'accorde généralement avec la variation de la température de l'air (plus particulièrement à la surface du sol). Gold (1967 in Rome *et al.*, 2008) a indiqué que cette

influence de la T°C diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la surface du sol, elle varie généralement très peu au-delà de 5 à 6 mètres de profondeur du sol cours de l'année par contre la température de la surface du sol reste en phase avec celle de l'air (Rome *et al.*, 2008).

Dans notre étude, il a été noté que quel que soit la saison (en automne (Tab. 4.6 et Fig. 4.5) et au printemps (Tab. 4.9 et Fig. 4.9) et en été (Tab. 4.12 et Fig. 4.14), la température du T (témoin) est toujours supérieure à celle de placettes recouvertes par le BRF ou le BRFFF. En effet, la différence entre les moyennes T°Csol des placettes est très significative. Ainsi Il a été noté un effet saison et amendement au printemps (Tab. 4.7).

Nos résultats sont conformes à ceux obtenus par plusieurs auteurs. Ainsi, Salau *et al.*, (1992), ont constaté que la température est toujours inférieure dans les placettes sous paillis ou mulch que dans le témoin qui a reçu aucun traitement. Quant à Hadrian *et al.*, (2006) ont utilisé des déchets organiques, le paillis de blé (*Tritium aestivum L.*) et le paillis de soja (*Glycine max L. Merrill*) à différentes épaisseurs dans des conditions de serre et de champ dans le sud de l'Angleterre. Ils ont remarqué une diminution de la température du sol par rapport au témoin ils ont même remarqué que lorsque l'épaisseur de paille de blé augmente, la température diminue (Hadrian *et al.*, 2006). Par ailleurs, Sharma et Meshram, (2015), ont utilisé le paillis de paille et ont trouvé que la température du sol témoin est de 3°C plus élevée que celles des parcelles amendées. Eruola *et al.*, (2012), a étudié l'effet du paillage sur la température du sol en utilisant 3 types de placettes (paillis d'herbe, paillis de polythène et parcelles non paillées). Il a trouvé que le paillis d'herbe abaisse significativement la température maximale du sol de 1 à 2 °C à 15 cm de profondeur.

Nos résultats montrent que le BRF a un effet bénéfique. En effet, l'apport de BRF ou BRFF protègent le sol des rayonnements solaires. Cette couverture a joué le rôle d'un parasol, ce qui a pour conséquence une diminution de l'évaporation et donc un sol plus humide et on passe d'un sol inculte à un sol viable.

4.1.3. % H sol :

A. Fluctuations saisonnière de % H sol pendant les 3 saisons (Automne, Printemps Eté) des 3 campagnes (2014, 2015, 2016) effectuées :

1. Pour l'automne:

- a) **Selon les campagnes :** Pour la variable %H les moyennes sont de [72,4±3,1], [81,0±1,5] et de [76,9±1,0] H respectivement pour l'automne 2014, 2015 et 2016

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

(Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes des %H ((Fobs = 52,644; ddl=2 et p<0,00) (Tab. 4.18 et Fig. 4.20). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes % Hsol décroissante aut2015 (a)> aut2016>aut2014 (Tab. 4.19 et Fig. 4.21). L'automne 2014 a été le plus sec (Tab 4.19, Fig. 4.21).

Tableau 4.18 : Anova pour la variable %H pour les 3 campagnes d'étude et en automne.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	548,499	274,250	52,644	< 0,0001
Placettes	4	19,971	4,993	0,958	0,445
Campagnes*Placettes	8	100,473	12,559	2,411	0,038

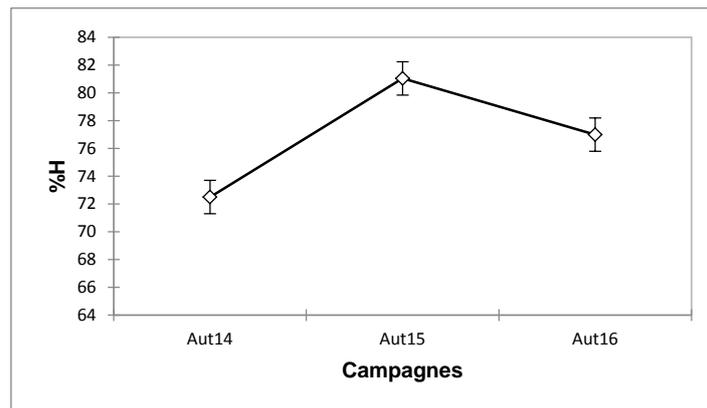


Figure 4.20 : Variations des moyennes de l'humidité %H sol dans les campagnes d'étude en automne.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.19 : Classification des campagnes d'automne selon l'humidité %H sol (Test de Tukey).

%H	
Aut15	81,047 a
Aut16	76,993 b
Aut14	72,499 c
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

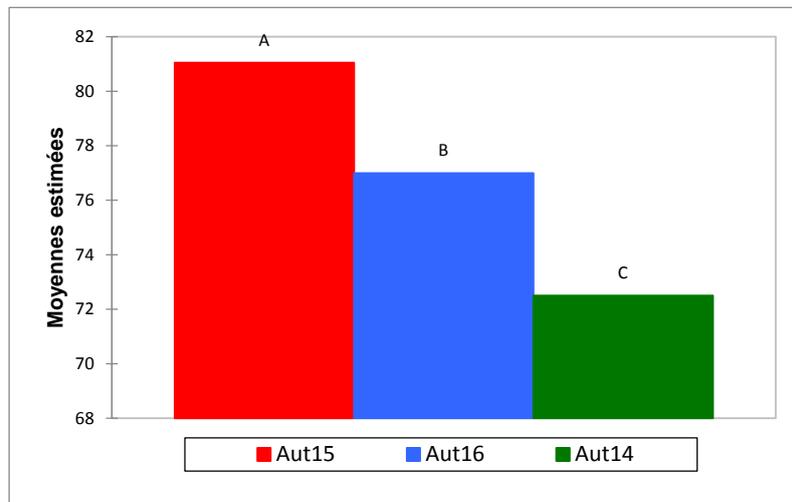


Figure 4.21 : Classification des campagnes d'automne selon l'humidité %H sol (Test de Tukey).

b) Selon les placettes : Les moyennes de %Hsol sont de [75,6] ; [77,0] ; [77,1] ; [76,6] et [77,6] % Hsol respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes %Hsol des placettes en automne n'est pas significative (Tab. 4.18 et Fig. 4.22). Cela signifie qu'en automne les placettes ont tendance à s'humidifier de la même quantité d'eau (Fig. 4.22).

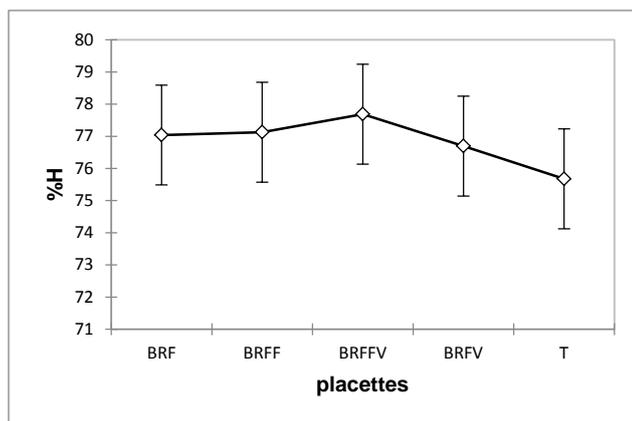


Figure 4.22 : Variations des moyennes de l'humidité %H sol dans les placettes étudiées en automne.

Par ailleurs, le tableau 4.18 montre un effet combiné entre les moyennes de %Hsol dans les campagnes et les placettes ce qui signifie que l'humidité des sols est différente d'une campagne à une autre et d'une placette à une autre dans chaque campagne d'étude (Fig. 4.23). La figure 4.23 montre que l'automne 2015 a été le plus humide. Ainsi la valeur critique du d de Tukey :5,211 indique 8 classes d'%Hsol soit décroissantes soit Aut15*BRF (a)>Aut15*BRFF (ab)>Aut15*BRFFV et Aut15*BRFV (abc)>Aut16*T, Aut15*et Aut16*BRFFV (abcd)>Aut16*BRFF, Aut16*BRF et Aut16*BRFV (bcde)>Aut14*BRFFV , Aut14*BRFV (cde)> Aut14*BRFF (de)>Aut14*BRF et Aut14*T (e). Nous notons que la campagne que les placettes étudiées en 2015 sont les plus humides (Tab. 4.20), en revanche la campagne 2014 est la plus sèche.

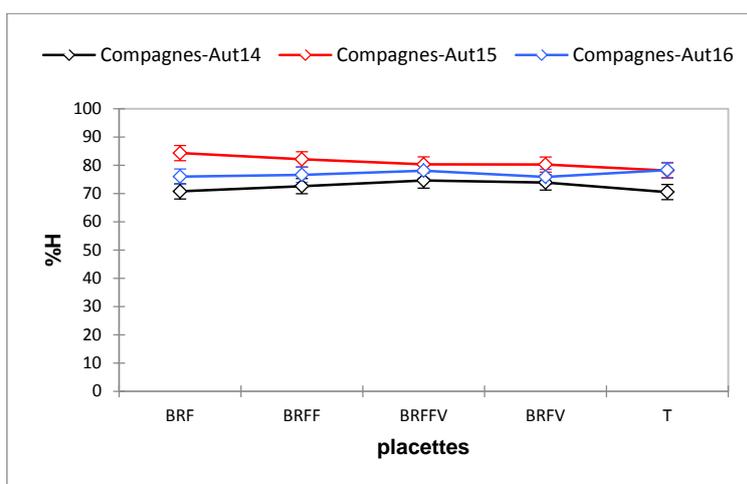


Figure 4.23 : Variations des moyennes %Hsol en fonction des campagnes*placettes d'étude.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.20 : Variations des moyennes %Hsol en fonction des campagnes*placettes d'étude.

%H	
Aut15*BRF	84,333 a
Aut15*BRFF	82,133 ab
Aut15*BRFFV	80,333 abc
Aut15*BRFV	80,267 abc
Aut16*T	78,333 abcd
Aut15*T	78,167 abcd
Aut16*BRFFV	78,100 abcd
Aut16*BRFF	76,633 bcde
Aut16*BRF	76,000 bcde
Aut16*BRFV	75,900 bcde
Aut14*BRFFV	74,637 cde
Aut14*BRFV	73,923 cde
Aut14*BRFF	72,617 de
Aut14*BRF	70,787 e
Aut14*T	70,530 e
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

2. Pour le Printemps 2014, 2015 et 2016 :

a) Selon les campagnes :

La moyenne du %Hsol est de $[77,1 \pm 3,7]$; $[77,0 \pm 0,9]$ et $[93,0 \pm 0,9]$ %Hsol respectivement pour printemps 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes du %Hsol ($F_{obs} = 178,361$; $ddl=2$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.21 et Fig. 4.24) La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes %Hsol décroissante prin2016 (a) > prin2014 et prin2016 (b) (Tab 4.22 et Fig. 4.25). Le printemps 2016 a été le plus pluvieux (Tab. 4.22, Fig. 4.25).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.21 : Anova pour la variable %Hsol pour les 3 campagnes d'étude au printemps.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	2564,402	1282,201	178,361	< 0,0001
Placettes	4	138,503	34,626	4,817	0,004
Campagnes*Placettes	8	532,748	66,594	9,264	< 0,0001

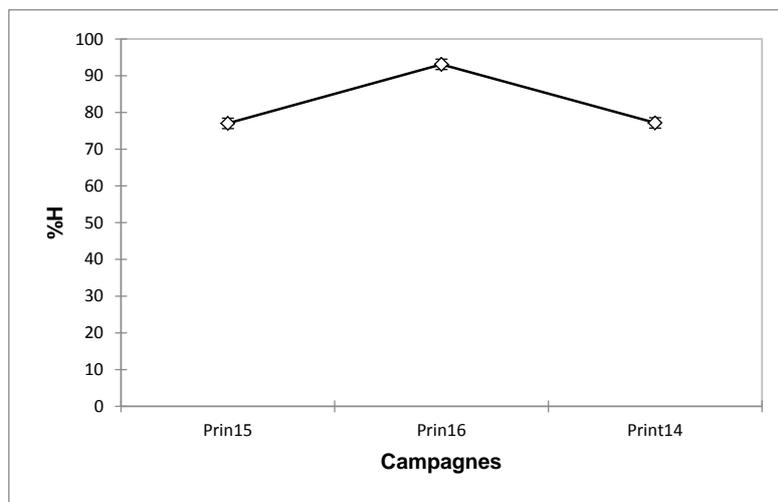


Figure 4.24 : Variations des moyennes de la %Hsol dans les campagnes d'étude au printemps.

Tableau 4.22 : Classification des campagnes de printemps selon la %Hsol (Test de Tukey).

	%H	
Prin16	93,120 a	
Prin14	77,173 b	
Prin15	77,040 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

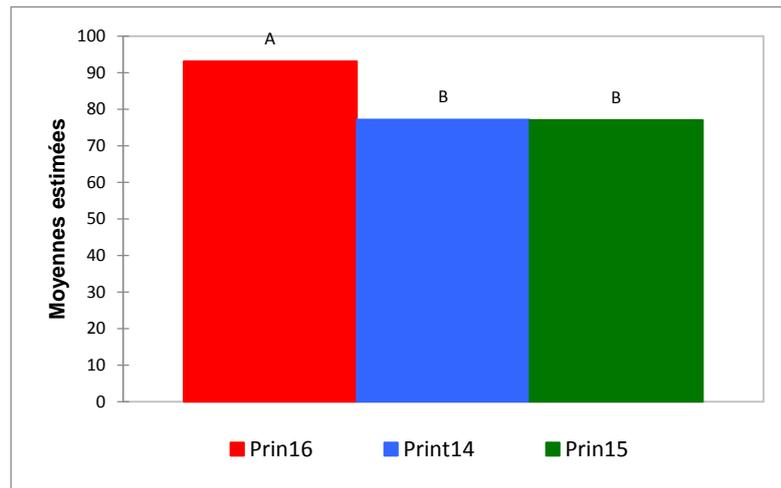


Figure 4.25 : Classification des campagnes de printemps selon de la %Hsol (Test de Tukey).

b) Selon les placettes :

Selon les placettes étudiés au printemps : les moyennes de %Hsol dans les placettes sont de [79,9]; [80,7]; [83,8] ; [84,0] et [83,6] respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes %Hsol des placettes au printemps est significative ($F_{obs} = 4,817$; $ddl=4$ et $p < 0,004$) (Tab. 4.21 et Fig. 4.26). Cela signifie qu'au printemps les placettes ont des %Hsol différentes. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 3 modalités de %Hsol décroissantes au printemps BRFFV, BRFF et BRFFV (a) > BRF (ab) > T (b) (Tab. 4.23 et Fig. 4.27). Il est à noter que T est le moins humide et que les placettes recouvertes gardent mieux l'humidité du sol.

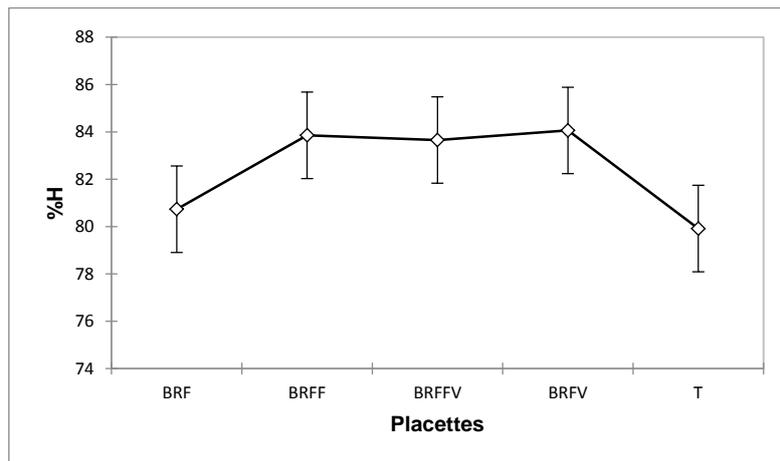


Figure 4.26 : Variations des moyennes de la %Hsol dans les placettes étudiées au printemps.

Tableau 4.23 : Classification des placettes selon la %Hsol au printemps.

	%H	
BRFV	84,061 a	
BRFF	83,856 a	
BRFFV	83,656 a	
BRF	80,733 ab	
T	79,917 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

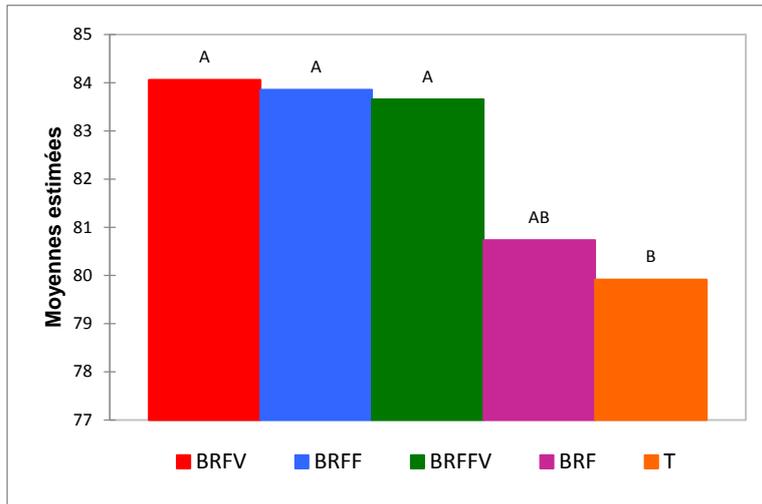


Figure 4.27 : Classification des placettes selon la %Hsol pour les campagnes de printemps étudiées.

Il est à remarquer (Tab. 4.21) qu'il y a aussi un effet combiné entre les moyennes Campagnes*Placettes très significatif (Fobs = 9,264; ddl=8 et p<0,000) (Tab. 4.21 et Fig. 4.28). En effet (Fig.) les placettes les plus humides se situent au printemps le plus pluvieux.

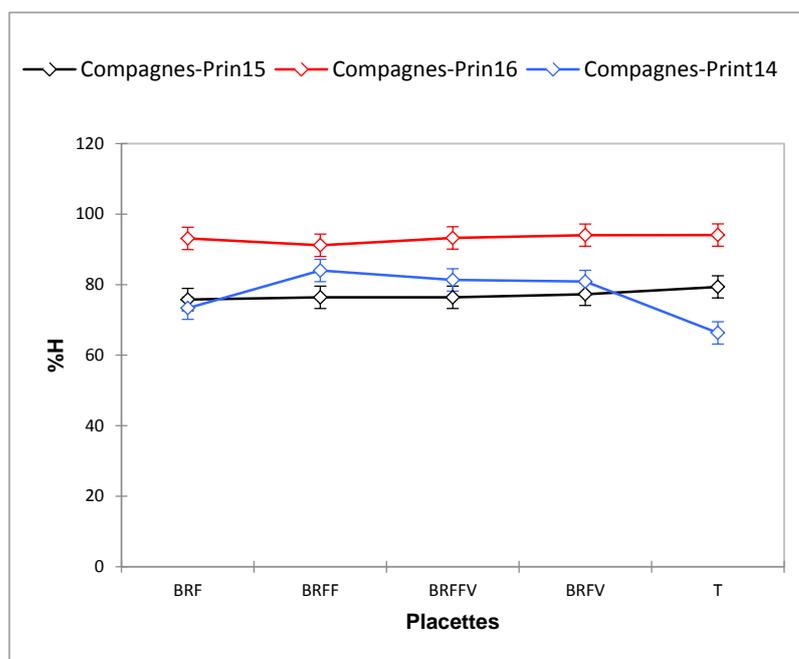


Figure 4.28 : Variations des moyennes de %Hsol en fonction des placettes* campagne au printemps.

3. Été 2014, 2015 et 2016 :

a) Selon les campagnes :

Concernant la variable %Hsol Selon les campagnes en été, La moyenne du %Hsol est de $[73,7 \pm 1,8]$ $[71,2 \pm 1,7]$ et $[74,9 \pm 1,6]$ % Hsol respectivement pour l'été 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes du $T^{\circ}\text{C}_{\text{sol}}$ ($F_{\text{obs}} = 21,498$; $\text{ddl}=2$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.24 et Fig.4.29) La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 2 classes de la %Hsol décroissante Été16 et Été14 (a) > Été15 (b) (Tab. 4.25 et Fig. 4.30). Ainsi l'été 2014 et 2016 ont été les moins chauds.

Tableau 4.24 : Anova pour la variable %Hsol pour les 3 campagnes d'étude en été.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagne	2	103,201	51,601	21,498	< 0,0001
Placettes	4	428,251	107,063	44,605	< 0,0001
Campagne*Placettes	8	2,563	0,320	0,133	0,997

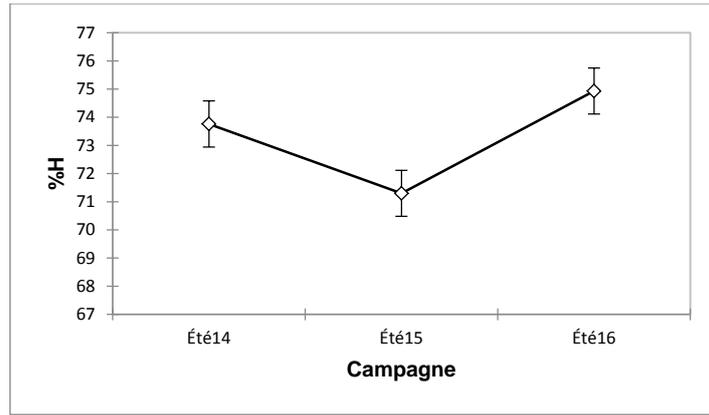


Figure 4.29 : Variations des moyennes du %Hsol dans les campagnes d'étude en été.

Tableau 4.25 : Classification des campagnes d'été selon le %Hsol (Test de Tukey).

%H		
Été16	74,931 a	
Été14	73,761 a	
Été15	71,297 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

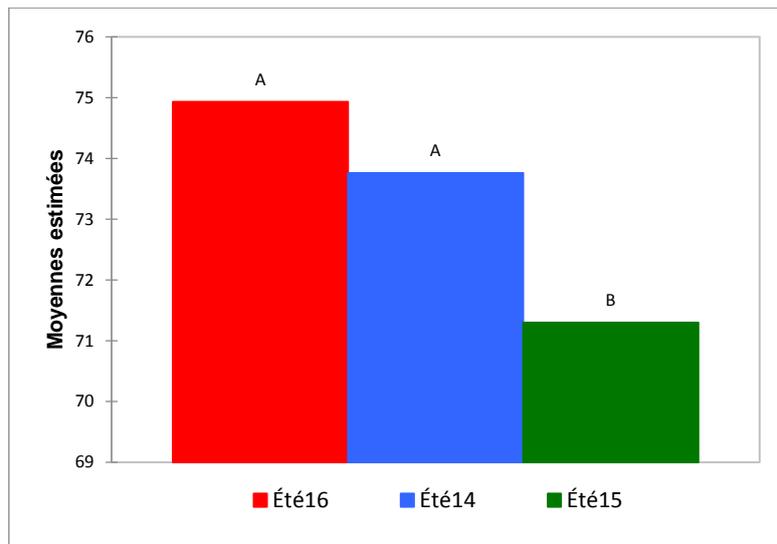


Figure 4.30 : Classification des campagnes d'été selon %Hsol (Test de Tukey).

b) Selon les placettes :

Selon les placettes étudiés en été : les moyennes de % Hsol dans les placettes sont de [67,33]; [76,23]; [74,37]; [74,41] et [74,29] %Hsol respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes T°Csol des placettes en été est très significative (Fobs = 44,605; ddl=4 et p<0,000) (Tab. 4.24 et Fig. 4.31). Cela signifie qu'en été les placettes ont des %Hsol différentes. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 2 classes de %Hsol décroissantes en été : BRF, BRFFV, BRFF et BRFFV (a) et T (b) (Tab. 4.26 et Fig. 4.32).

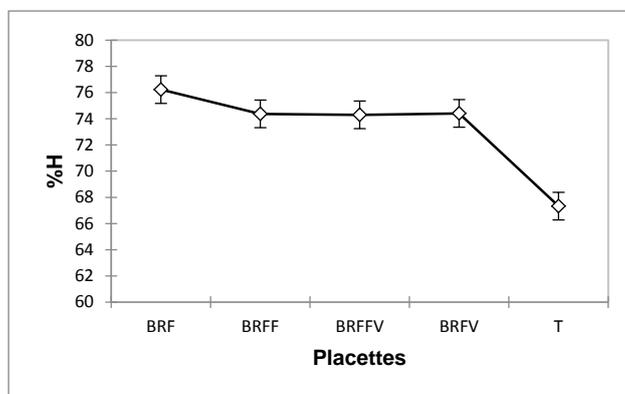


Figure 4.31 : Variations des moyennes de la %Hsol dans les placettes étudiées en été.

Tableau 4.26 : Classification des placettes selon la %Hsol en été (Test de Tukey).

		%H
BRF	76,231 a	
BRFFV	74,411 a	
BRFF	74,376 a	
BRFFV	74,298 a	
T	67,332 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

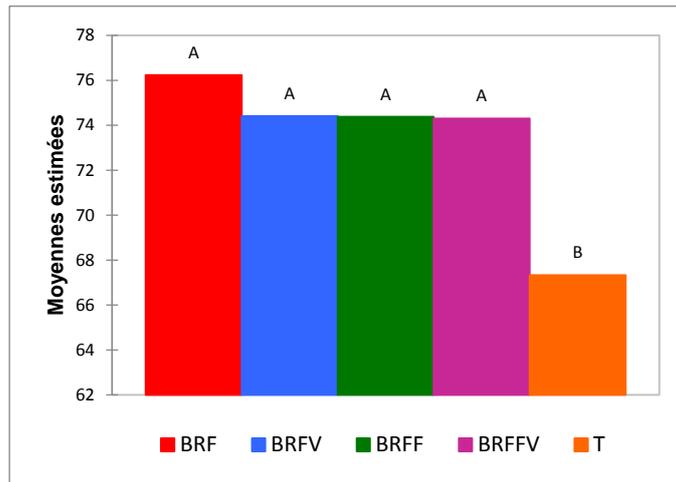


Figure 4.32 : Classification des placettes selon l’%Hsol pour les campagnes d’été étudiées.

B.%Hsol entre les saisons d’étude:

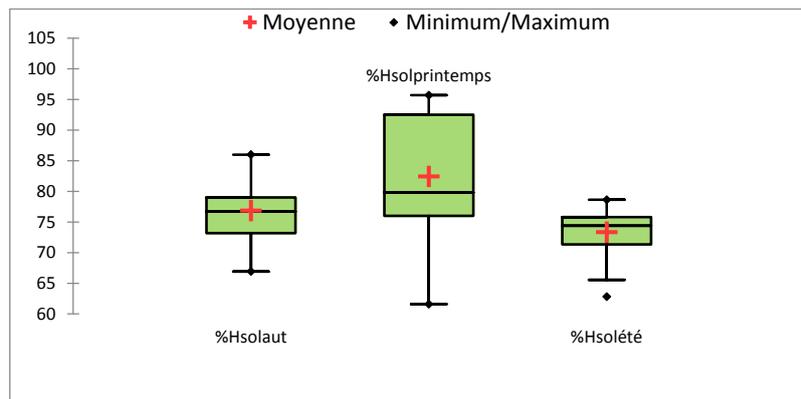


Figure 4.33 : Box plot pour la variable % H sol saisonnièrement.

La moyenne des %Hsol dans les saisons est de [76,8±0,1] [82,4±0,3] [73,3±0,1]% H respectivement %Hsolautomne, %Hsolprintemps %H sol été.

La différence entre les moyennes des %Hsol des saisons étudiées est très significative (Fobs = 25,708; ddl=2 et p<0,00) (Tab. 4.27 et Fig. 4.34). La Valeur critique du d de Tukey : 3,352 montre 3 classes de %Hsol Été (a) > Automne (b)> Printemps. Ainsi la moyenne %H sol des printemps est la plus humide (Tab 4.28 et Fig 4.35).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.27 : Anova pour la variable %Hsol pour les 3 saisons de l'expérimentation d'étude.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Saisons	2	1901,819	950,909	25,708	< 0,0001

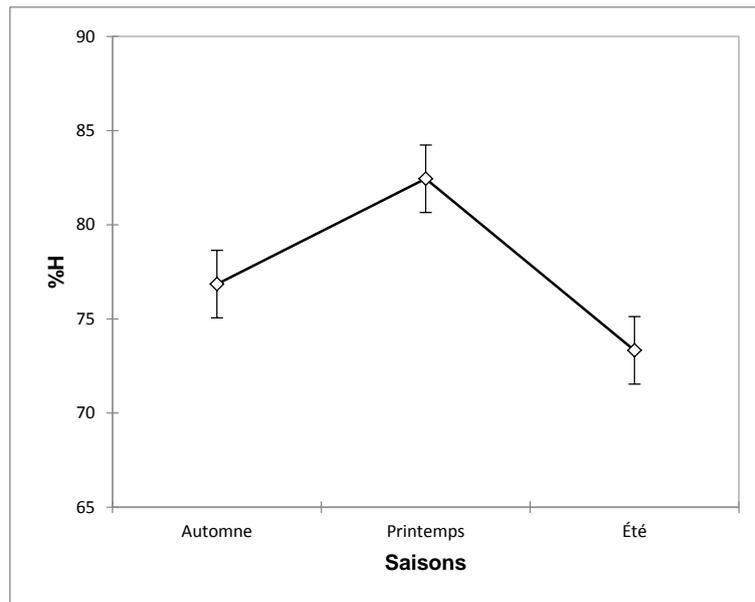


Figure 4.34 : Variations des moyennes du %Hsol dans 3 saisons d'étude.

Tableau 4.28 : Classification les saisons selon le %Hsol (Test de Tukey).

%Hsol		
Printemps	82,444 a	
Automne	76,846 b	
Été	73,330 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

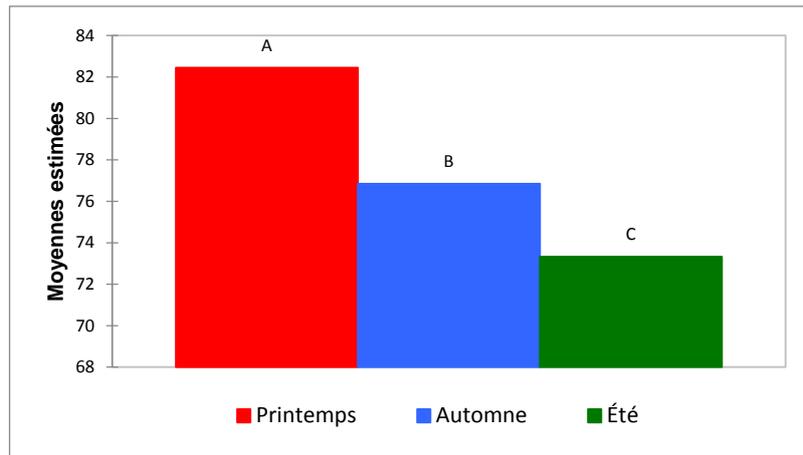


Figure 4.35 : Classification des campagnes d'étude selon la %Hsol (Test de Tukey).

C. Fluctuations annuelles :

%Hsol année 2014, 2015 et 2016, pour la T°Csol la moyenne est de [74,4±1,5] ; [76,4±1,4] et [81,6±2,5] %Hsol pour l'année 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.2). La différence entre les moyennes est très significative (Fobs = 14,850; ddl=2 et p<0,00) (Tab. 4.29 et Fig. 4.36). La Valeur critique du d de Tukey :3,352 montre 2 classes de %Hsol Camp2016 (a)>Camp2015 et Camp2014 (b). Ainsi, l'année 2016 est plus humide que l'année 2014 et 2015 (Tab. 4.30 et Fig. 4.37).

Tableau 4.29 : Anova pour la variable %Hsol pour les 3 campagnes d'étude.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	1246,143	623,072	14,850	< 0,0001

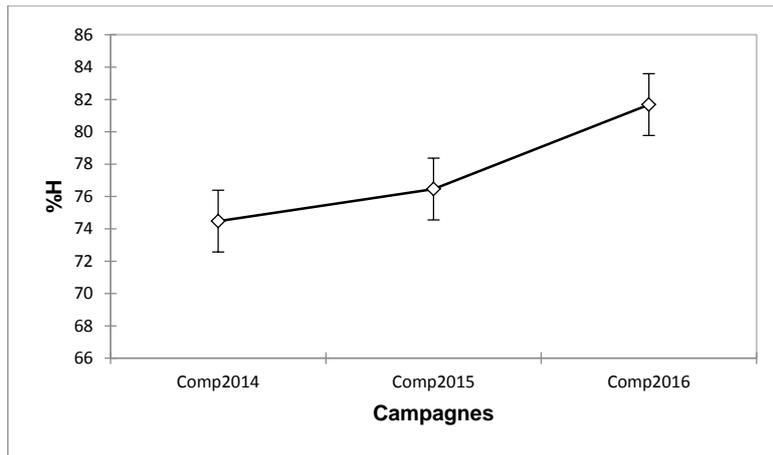


Figure 4.36 : Variations des moyennes du %Hsol dans les 3 campagnes d'étude.

Tableau 4.30 : Classification des campagnes d'étude selon le %Hsol (Test de Tukey).

%H		
Camp2016	81,681 a	
Camp2015	76,461 b	
Camp2014	74,478 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

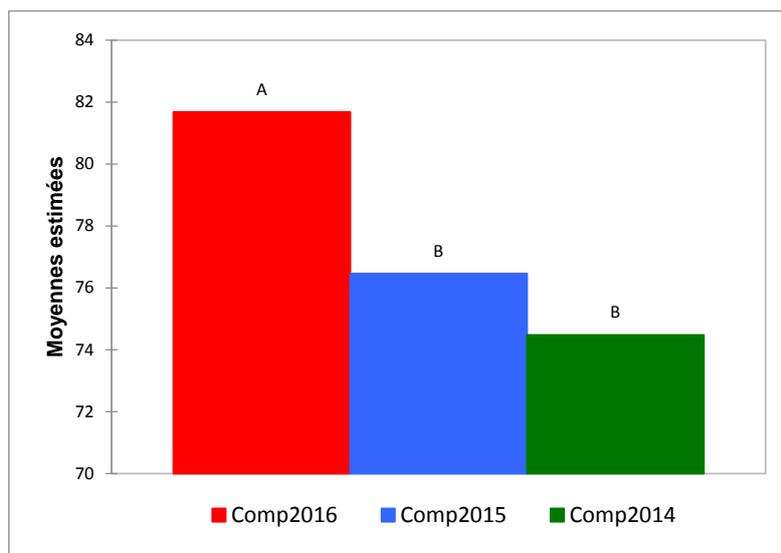


Figure 4.37 : Classification des 3 campagnes d'étude selon la moyenne des %Hsol (Test de Tukey).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Ainsi la moyenne globale %Hsol pour les 3 années d'expérimentation est de $[77,54 \pm 1,2]\%$ le minimum est de 61% et le maximum relevé est de 96% (Tab. 4.3).

Pour l'humidité H%, nous avons enregistré un effet saison (Tab. 4.27 et Fig. 4.34) et un effet année (Tab. 4.29 et Fig. 4.36). Nous avons remarqué que l'humidité du sol en printemps est plus élevée que l'automne et l'été (Tab. 4.28 et Fig. 4.35).

Dans notre étude, il a été noté que quelle que soit la saison, l'humidité du sol des placettes témoins est toujours inférieure à celle de placettes amendées par le BRF ou le BRFFF. En automne (Tab. 4.20), au printemps (Tab. 4.23 et Fig. 4.27) et en été (Tab. 4.26 et Fig. 4.32). La différence entre les moyennes H% des placettes est très significative. Ainsi il a été noté un effet saison et amendement en automne (Tab. 4.18 et Fig. 4.23) et au printemps (Tab. 4.21 et Fig. 4.28). Ainsi, Beauchemin *et al.*, (1990), ont remarqué une augmentation de l'humidité du sol après apport de BRF. Salau *et al.*, (1992) a noté que l'infiltration est significativement plus élevée avec copeaux qu'avec paille ou sans mulch. Soumare *et al.*, (2002) notent l'augmentation significative de la capacité de rétention en eau de 21 à 24 % avec l'apport de BRF par rapport aux témoins Lalande *et al.*, (1998) a noté une augmentation significative de l'humidité dans l'horizon 0-15 cm après apport de BRF. Tremblay et Beauchamp (1998) notent aussi une humidité dans l'horizon 0-20 cm significativement plus élevée que sans apport organique. Par ailleurs, Davy, (2011) a indiqué que l'utilisation de la technique de BRF pendant 4 années, a permis de garder entre 29 et 26 % d'eau. Javernaud, (2012) observe pour sa part des effets bénéfiques de BRF (surtout en mulch) sur l'humidité du sol, jusqu'à une profondeur de 20 cm. Sharma et Meshram, 2015, ont évalué l'effet des paillis sur l'humidité du sol en utilisant le paillis de plastique noir (BPM), le paillis de paille (PSM) et sans paillis (WM). Ils ont trouvé que le BPM a permis d'économiser significativement plus d'humidité du sol (49 %) par rapport au paillis à une profondeur de sol de 15 cm, de même le BPM a permis d'économiser 44% de plus l'humidité du sol par rapport au paillis de paille à une profondeur de sol de 30 cm (Sharma et Meshram, 2015). Komariah *et al.*, (2008), ont remarqué que le paillis de manioc maintient la plus haute teneur en humidité du sol par rapport au contrôle, Olasantan, (1999), en utilisant le paillis sec d'Eupatorium odoratum L. (Syn. *chromolena odorata* L.), a remarqué que l'humidité du sol sous paillis est plus élevée par rapport au témoin quel que soit le temps du paillage. Eruola *et al.*, 2012 quant à lui a étudié l'effet du paillage sur l'humidité du sol avec 3 types d'apports (paillis d'herbe, paillis

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

de polythène et parcelles non paillées), a noté une amélioration de l'humidité par rapport au témoin.

Les deux principaux facteurs qui influencent la teneur en humidité du sol sont les précipitations et évaporation/évapotranspiration. En absence du couvert végétal, l'évaporation et le ruissellement sont accrus. Ainsi, le BRF dispersés dans la couche superficielle du sol, empêchent l'évaporation de l'eau et aide à mieux retenir l'humidité du sol. La couverture avec le BRF et BRFF joue favorablement comme parapluie (protège le sol) et d'éponge (absorbe le maximum d'eau) ce qui garde une meilleure humidité du sol (Louis et Fouarge, 1953 et Otrysko et Pagé, 2001) ce qui redonne la vie au sol.

4.1.4. Le pH sol :

A. Fluctuations selon les campagnes d'étude:

1. Pour l'automne 2014, 2015 et 2016 :

- a) **Selon les campagnes :** La moyenne du pH est de $[7,6\pm 0,0]$; $[7,3\pm 0,0]$ et $[7,9\pm 0,0]$ pour l'automne 2014, 2015 et 2016 respectivement (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes des pH ((Fobs = 178,646; ddl=2 et $p < 0,00$) (Tab. 4.31 et Fig. 4.38). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes pHsol décroissante aut2016 (a) > aut2014 (b) > aut2015 (c) (Tab. 4.32 et Fig. 4.39).

Tableau 4.31 : Anova pour la variable pH pour les 3 campagnes d'étude et en automne.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	2,226	1,113	178,646	< 0,0001
Placettes	4	0,173	0,043	6,955	0,000
Campagnes*Placettes	8	0,251	0,031	5,033	0,001

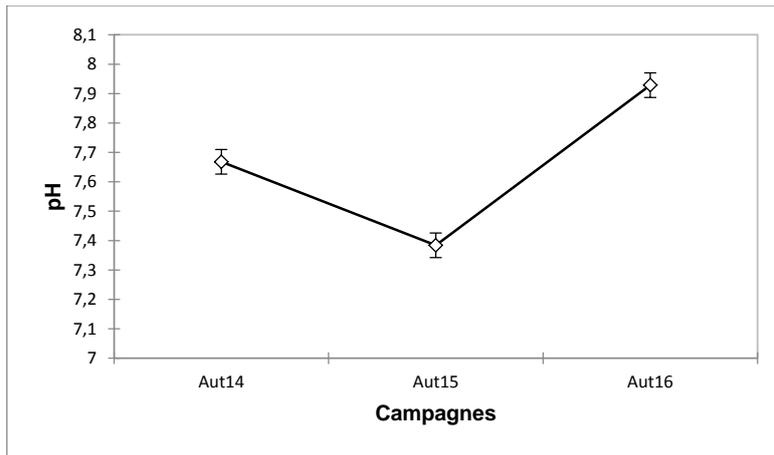


Figure 4.38 : Variations des moyennes du pH dans les campagnes d'étude.

Tableau 4.32 : Classification du pH selon les campagnes d'études (Tast de Tukey).

pH		
Aut16	7,929 a	
Aut14	7,668 b	
Aut15	7,384 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

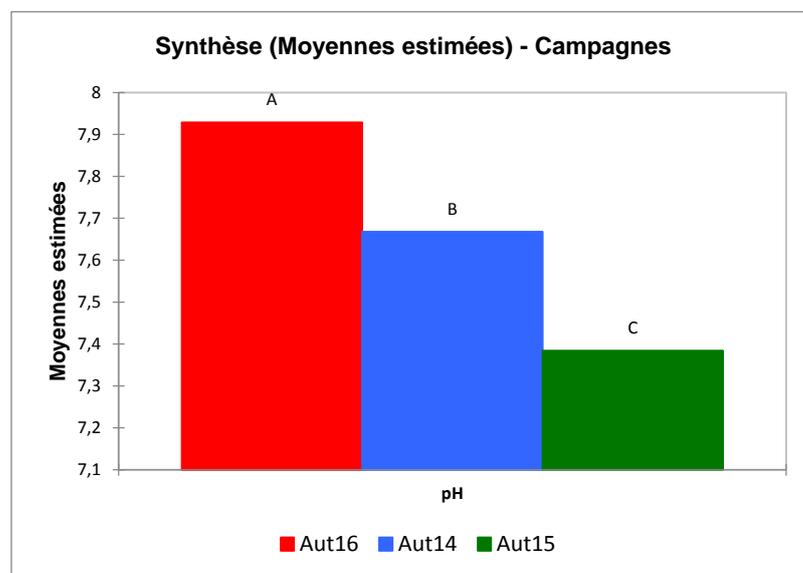


Figure 4.39 : Classification des campagnes d'automne selon pH sol (Test de Tukey).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

b) Selon les placettes : Les moyennes de pH dans les placettes sont de [7,76] ; [7,6] ; [7,6] ; [7,5] et [7,6] respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes du pH des placettes en automne est très significative ($F_{obs} = 6,955$; $ddl=4$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.31 et Fig. 4.40). Cela signifie qu'en automne les placettes ont des pH différents. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 3 classes de pH décroissant en automne T (a)>BRFF (ab)>BRF, BRFFV et BRFFV (b) (Tab. 4.33 et Fig. 4.41).

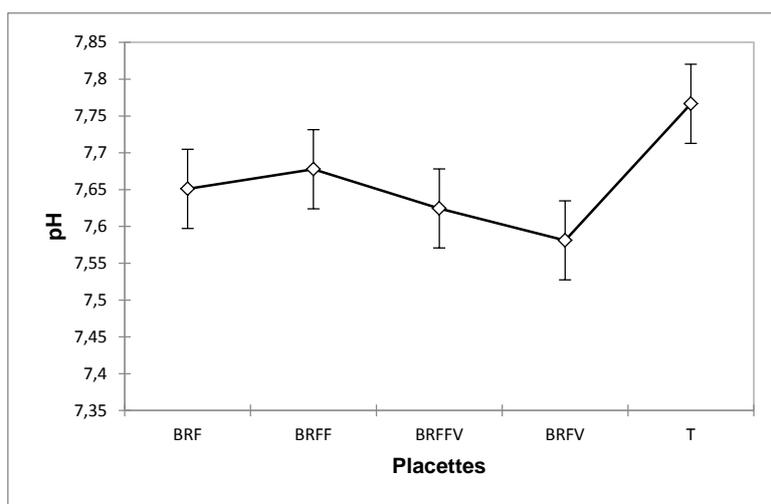


Figure 4.40 : Variations des moyennes du pH dans les placettes étudiées en automne.

Tableau 4.33 : Classification des placettes selon le pH en automne (Test de Tukey).

		pH
T	7,767 a	
BRFF	7,678 ab	
BRF	7,651 b	
BRFFV	7,624 b	
BRFFV	7,581 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

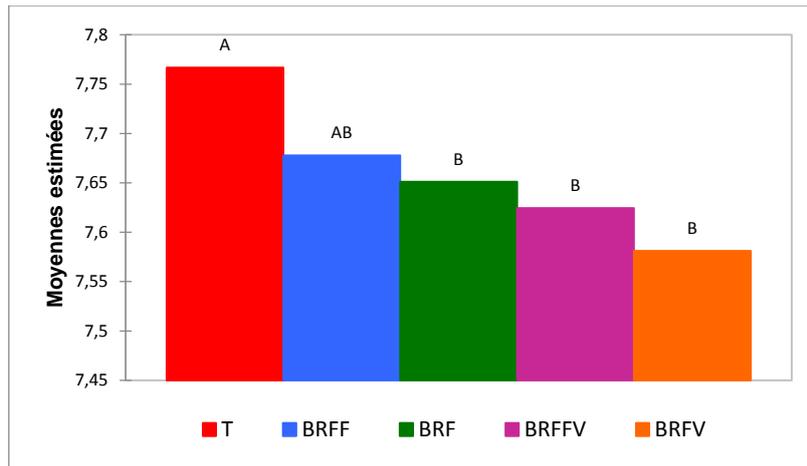


Figure 4.41 : Classification des placettes selon les pH pendant l'automne.

Par ailleurs, le tableau 4.31 montre un effet combiné entre les moyennes du pH dans les campagnes et les placettes, ce qui signifie que le pH des sols est différent d'une campagne à une autre et d'une placette à une autre (Fig. 4.42) pendant les différentes campagnes de l'automne 2014, 2015 et 2016. Ainsi la valeur critique du d de Tukey :5,211 indique 9 classes de pH différents en automne soit Aut16*BRF (a)>Aut16*BRFFV; Aut16*T; Aut16*BRFV; Aut14*T (ab);>Aut16*BRFF (abc);>Aut14*BRFF (bcd); Aut14*BRF (cde)>Aut14*BRFFV; Aut14*BRFV (def)>Aut15*T; Aut15*BRFF (efg)> Aut15*BRFFV; Aut15*BRFV (fg)> Aut15*BRF (g). La figure 4.42 montre qu'en automne 2016 le pH est le plus élevé dans les placettes d'étude.

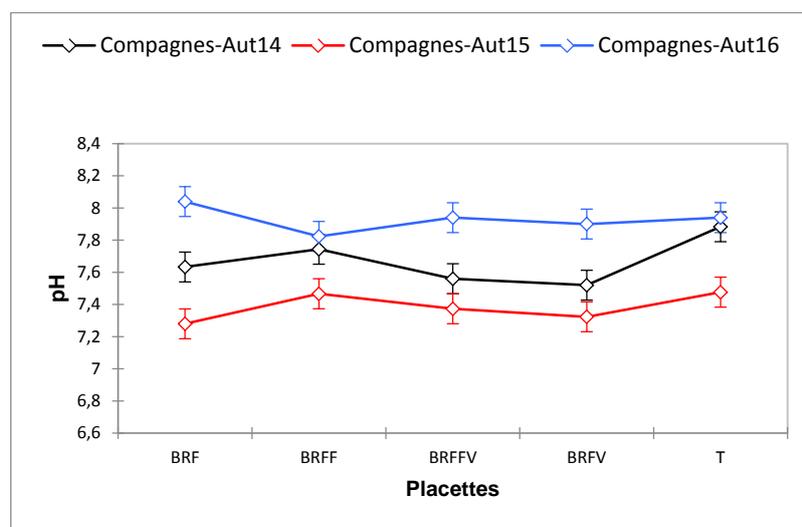


Figure 4.42 : Variations des moyennes %pHsol en fonction des campagnes*placettes d'étude.

2. Pour le printemps 2014, 2015 et 2016 :

a) Selon les campagnes : Selon les campagnes de printemps, La moyenne du pHsol est $[7,8 \pm 0,1]$; $[7,0 \pm 0,0]$ et $[8,0 \pm 0,0]$ pH respectivement pour printemps 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes du pH ($F_{obs} = 1534,129$; $ddl=2$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.34 et Fig.4.43) La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes pHsol décroissantes prin2016 (a) > prin2014 et prin2015 (b) (Tab. 4.35 et Fig. 4.44).

Tableau 4.34 : Anova pour la variable pHsol pour les 3 campagnes d'étude au printemps.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	8,918	4,459	1534,129	< 0,0001
Placettes	4	0,580	0,145	49,848	< 0,0001
Campagnes*Placettes	8	0,640	0,080	27,506	< 0,0001

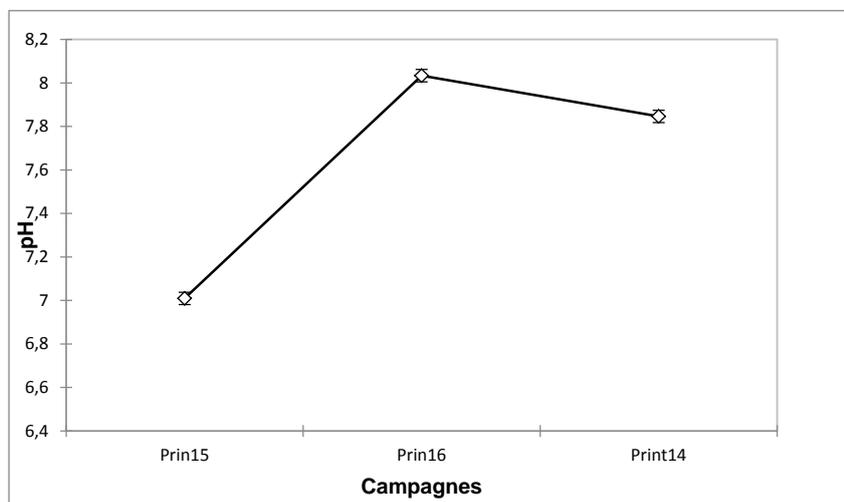


Figure 4.43 : Variations des moyennes du pH dans les campagnes d'étude au printemps.

Tableau 4.35 : Classification des campagnes de printemps selon le pH (Test de Tukey).

pH		
Prin16	8,033 a	
Prin14	7,846 b	
Prin15	7,009 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

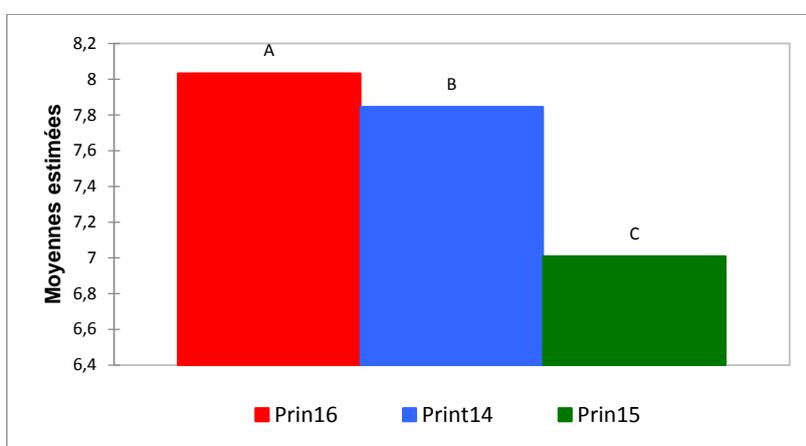


Figure 4.44 : Classification des campagnes de printemps selon le pH (Test de Tukey).

b) Selon les placettes : Selon les placettes étudiés au printemps : les moyennes de pH dans les placettes sont de [7,77]; [7,43] ; [7,61] ; [7,69] et [7,62] respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes pH des placettes au printemps est significative (Fobs 49,848; ddl=4 et p<0,000) (Tab. 4.34 et Fig. 4.45). Cela signifie qu'au printemps les placettes ont des pH différents. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 5 classes de pH décroissantes au printemps T (a) > BRFFV (b)>BRFFV (bc)> BRFF (c)> BRF (d) (Tab. 4.36 et Fig. 4.46).

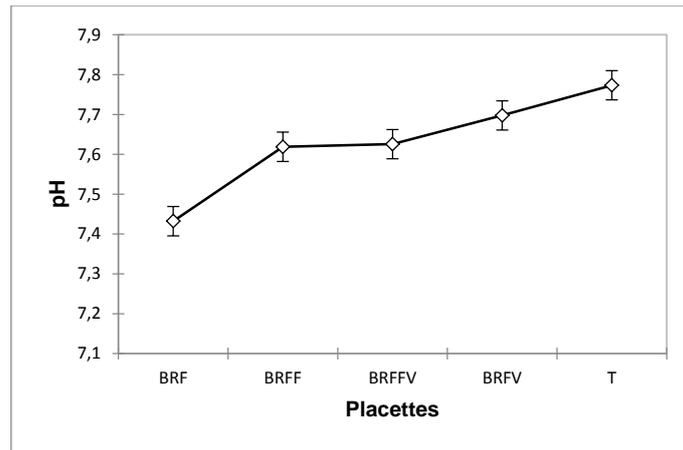


Figure 4.45 : Variations des moyennes du pHsol dans les placettes étudiées au printemps.

Tableau 4.36 : Classification des placettes selon le pH au printemps.

pH		
T	7,773 a	
BRFV	7,698 b	
BRFFV	7,626 bc	
BRFF	7,619 c	
BRF	7,432 d	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

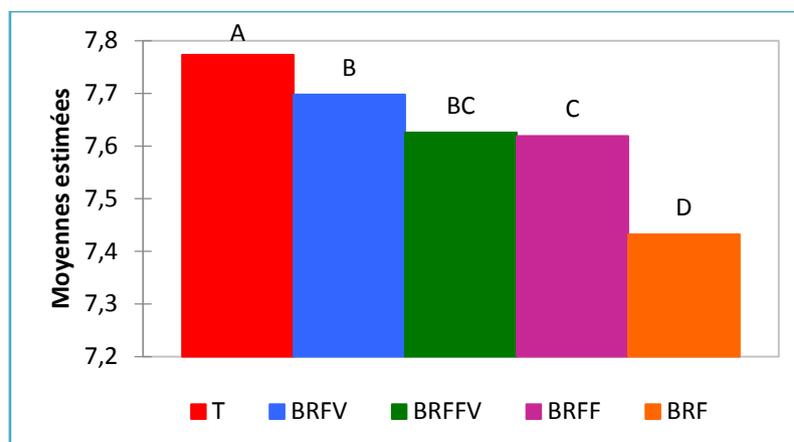


Figure 4.46 : Classification des placettes selon le pH pour les campagnes de printemps étudiées.

Il est à remarquer (Tab. 4.34) qu'il y a aussi un effet combiné entre les moyennes du pH pour Campagnes*Placettes très significatif ($F_{obs} = 27,506$; $ddl=8$ et $p < 0,000$) (Tab. 4.34 et Fig. 4.47). En effet (Fig. 4.47) Ainsi le Printemps 2015 a le pH le moins élevé pour les différentes placettes étudiés.

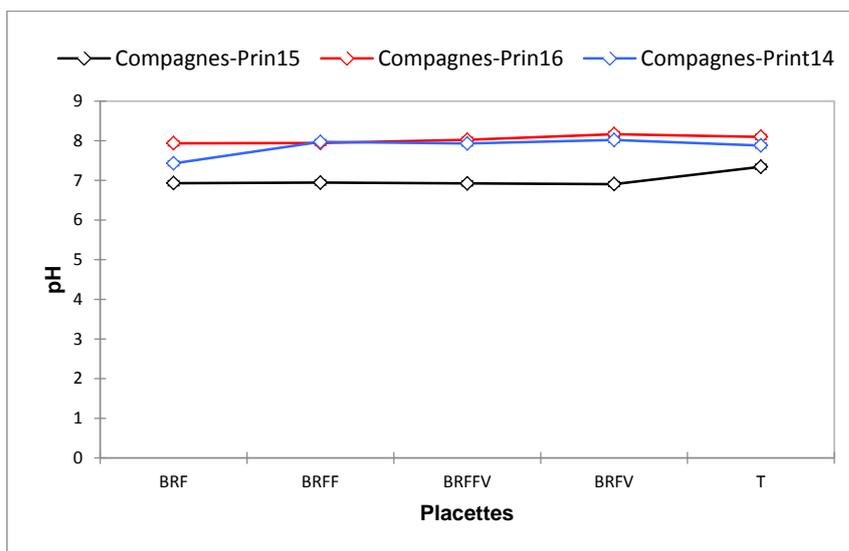


Figure 4.47 : Variations des moyennes du pH dans les placettes et les campagnes du printemps.

3. Pour l'été 2014, 2015 et 2016 :

a) Selon les campagnes :

Concernant la variable pH Selon les campagnes en été, La moyenne du pHsol est de $[7,8 \pm 0,0]$; $[7,3 \pm 0,0]$ et $[7,9 \pm 0,0]$ respectivement pour l'été 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes du pH ($F_{obs} = 438,506$; $ddl=2$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.37 et Fig. 4.48) La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes du pH décroissante Été16 > Été14 (b) > Été15 (c) (Tab. 4.38 et Fig. 4.49).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.37 : Anova pour la variable pH pour les 3 campagnes d'étude en été.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagne	2	3,222	1,611	438,506	< 0,0001
Placettes	4	0,346	0,087	23,557	< 0,0001
Campagne*Placettes	8	0,095	0,012	3,230	0,009

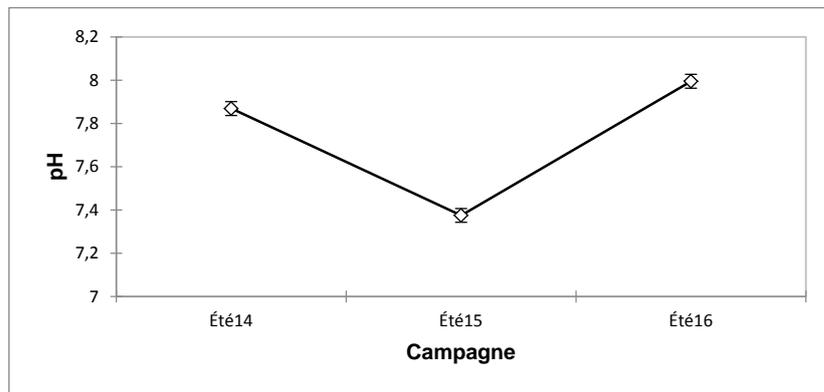


Figure 4.48 : Variations des moyennes du pH dans les campagnes d'étude en été.

Tableau 4.38 : Classification des campagnes d'été selon le pH (Test de Tukey).

pH		
Été16	7,995 a	
Été14	7,869 b	
Été15	7,375 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

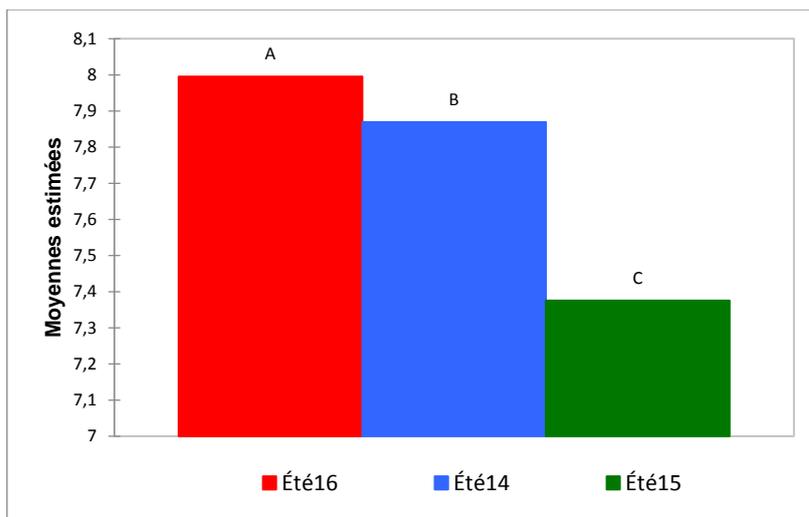


Figure 4.49 : Classification des campagnes d'été selon pH (Test de Tukey).

b) Selon les placettes : Les moyennes de pH dans les placettes sont de [7,85]; [7,67] ; [7,61]; [7,80] et [7,78] pH respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes pH des placettes en été est très significative ($F_{obs} = 23,557$; $ddl=4$ et $p < 0,000$) (Tab. 4.37 et Fig. 4.50). Cela signifie qu'en été les placettes ont des pH différents. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 2 classes de pH décroissantes en été : T, BRFFV, BRFFV (a) > BRF et BRFF (b) (Tab. 4.39 et Fig. 4.51).

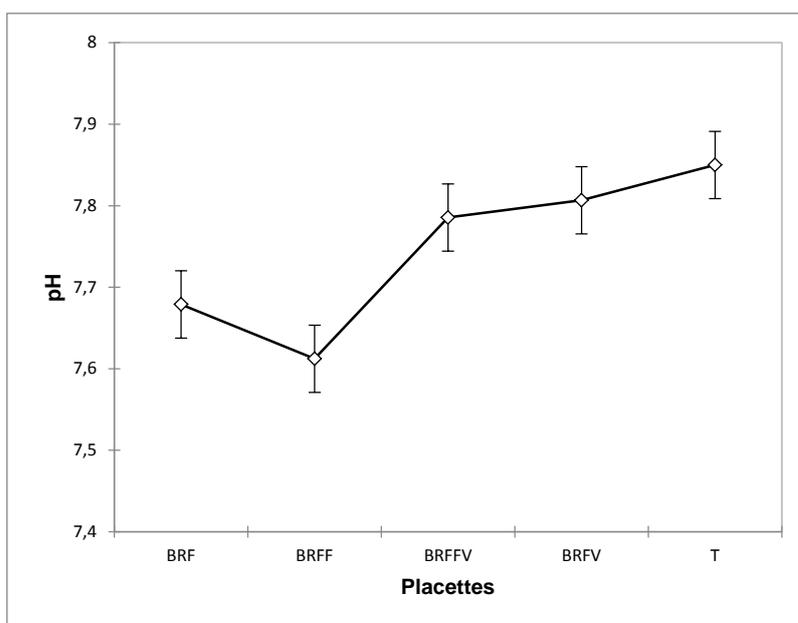


Figure 4.50 : Variations des moyennes de pH dans les placettes étudiées en été.

Tableau 4.39 : Classification des placettes selon le pH en été (Test de Tukey).

pH		
T	7,850 a	
BRFV	7,807 a	
BRFFV	7,786 a	
BRF	7,679 b	
BRFF	7,612 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

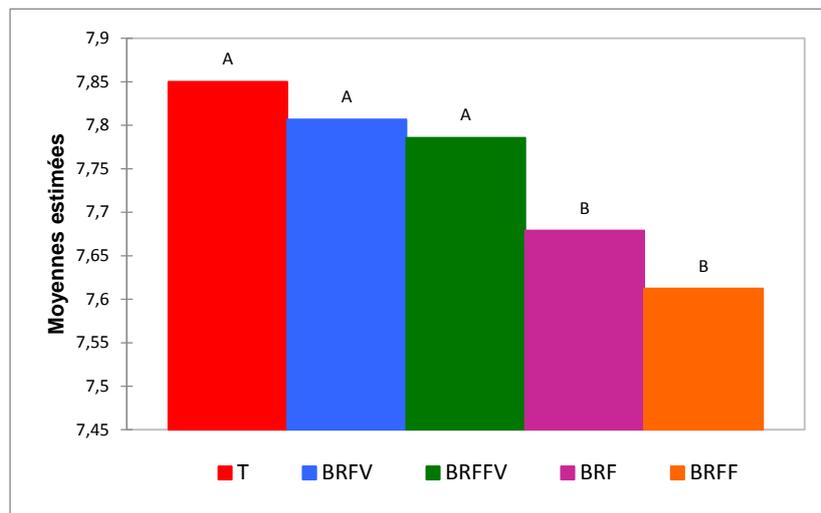


Figure 4.51 : Classification des placettes selon le pH pour les campagnes d'été étudiées.

Par ailleurs, il existe un effet combiné des moyennes du pH des Campagnes*Placettes (Fobs = 3,230; ddl=8 et p<0,009) (Tab. 4.37 et Fig. 4.52). Cela signifie que le pH fluctue différemment dans les campagnes d'été et les placettes étudiées. La figure 4.52 montre que le pH le plus bas est relevé en été 2015.

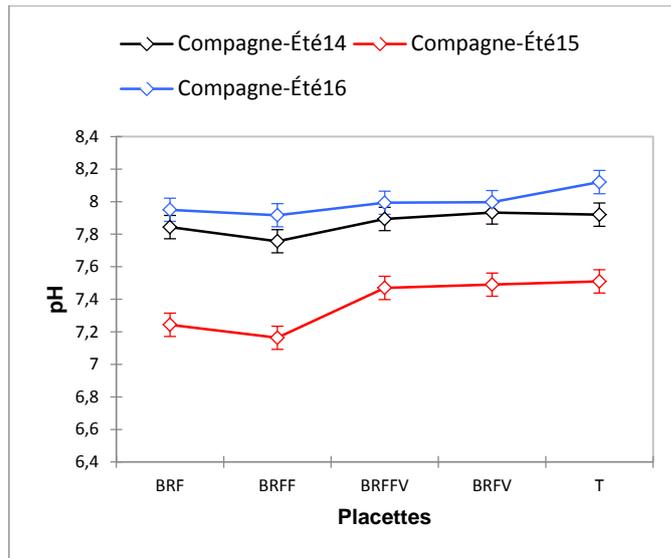


Figure 4.52 : Variations des moyennes du pH dans Campagne*Placettes en été.

B. Fluctuations saisonnières du pH:

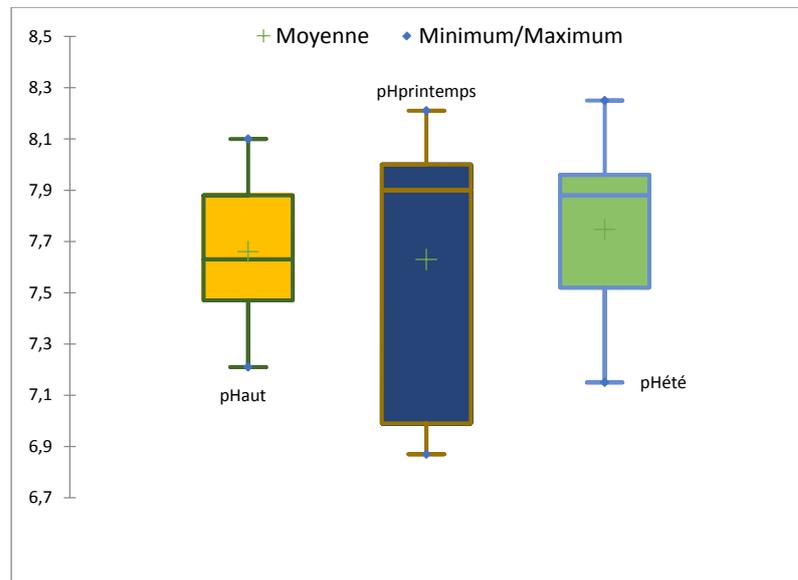


Figure 4.53 : Box plot pour la variable pH saisonnièrement.

La moyenne du pH dans les saisons étudiées est de $[7,6\pm 0,1]$ $[7,6\pm 0,3]$ $[7,7\pm 0,1]$ pH respectivement pHsol automne, pHsol printemps et pHsol été. La différence entre les moyennes des pH sol n'est pas significative (Fig. 4.54).

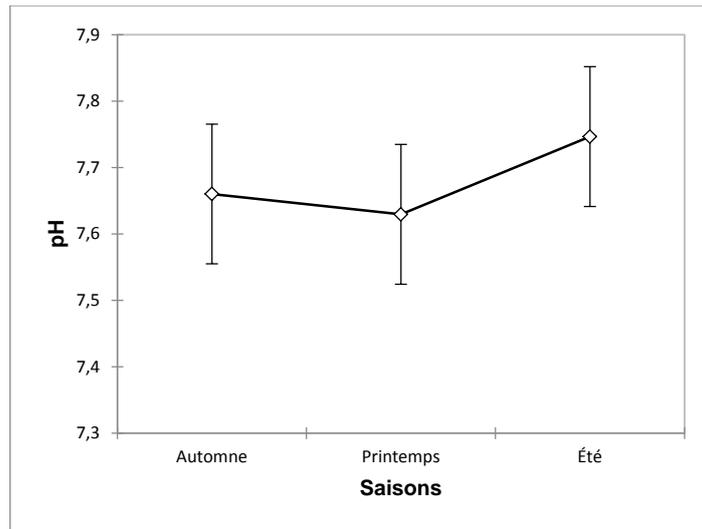


Figure 4.54 : Variations des moyennes du pH saisonnièrement.

C. Fluctuations Annuelles :

Pour le pH la moyenne est de $[7,7\pm 0,0]$; $[7,2\pm 0,0]$ et $[7,9\pm 0,0]$ pour l'année 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.2) la différence entre les moyennes est très significative ($F_{obs} = 198,178$; $ddl=2$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.40 et Fig. 4.55). La Valeur critique du d de Tukey : 3,352 montre 3 modalités de pH Camp2016 (a) > Camp2014 (b) > Camp2015 (c). Ainsi, l'année 2016 a le pH le plus élevé (Tab. 4.41 et Fig. 4.56)

Tableau 4.40 : Anova pour la variable pH pour les 3 campagnes d'étude.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	12,878	6,439	198,178	< 0,0001

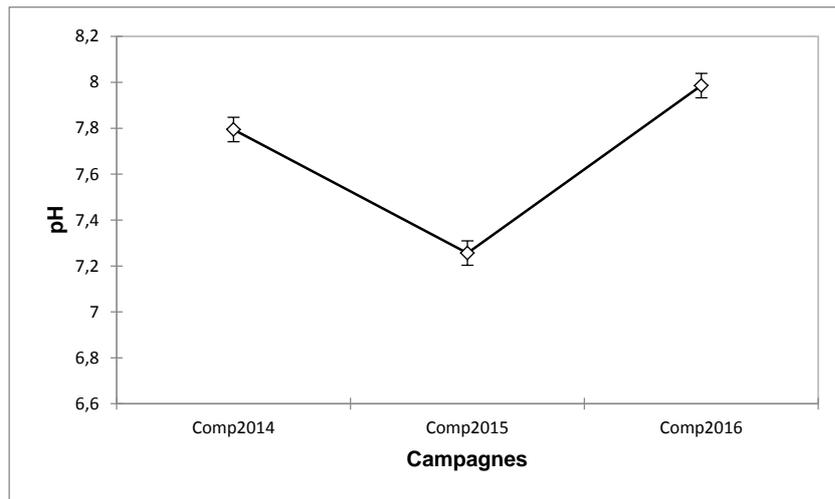


Figure 4.55 : Variations des moyennes du pH dans les 3 campagnes d'étude.

Tableau 4.41 : Classification des campagnes d'étude selon le pH (Test de Tukey).

		pH
Comp2016	7,986 a	
Comp2014	7,794 b	
Comp2015	7,256 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

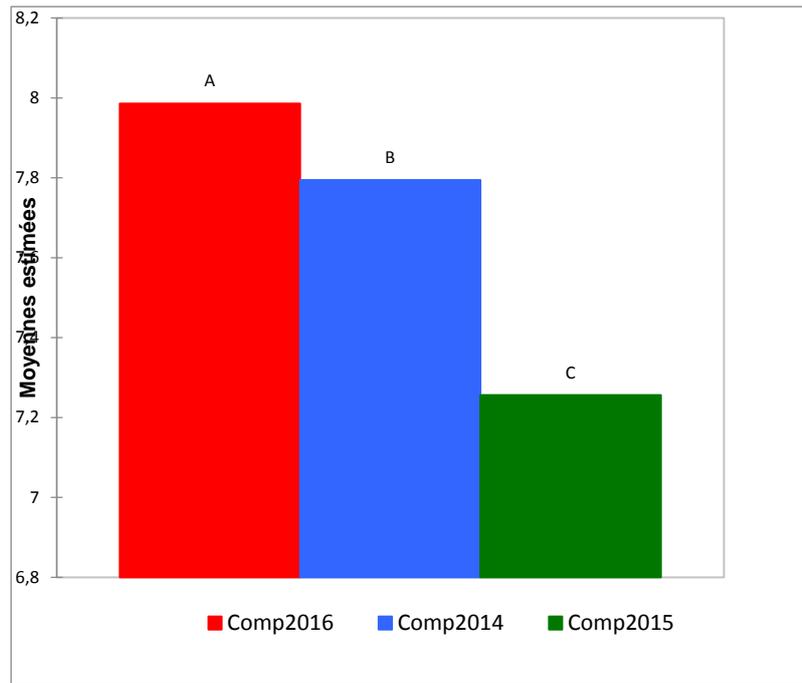


Figure 4.56 : Classification des campagnes d'étude selon le pH (Test de Tukey).

Le pH est un élément indispensable de la dynamique du sol, car son degré d'acidité ou de basicité joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments nutritifs par la plante.

Tableau 4.42: Echelle de valeur du pH sol et statut acido-basique.

	VALEUR DU pH	STATUT ACIDO-BASIQUE
	$\text{pH} \leq 5,5$	Sol très acide
	$5,5 < \text{pH} \leq 6,0$	Sol acide
	$6,0 < \text{pH} \leq 6,5$	Sol peu acide
	$6,5 < \text{pH} \leq 7,0$	Sol neutre
	$7,0 < \text{pH} \leq 7,5$	Sol peu alcalin (peu basique)
	$\text{pH} > 7,5$	Sol alcalin (basique)

Ainsi, au début l'expérimentation, le pH est en moyenne alcalin [$7,63 \pm 0,06$] (Tab. 4.42) ceci est dû à la roche mère qui est de nature calcaire, puis en fin d'expérimentation il devient en moyenne peu alcalin [$7,43 \pm 0,03$].

Par ailleurs, nous avons noté un effet saisons pendant les 3 campagnes (automne (Tab. 4.31 et Fig. 4.38), printemps (Tab. 4.34 et Fig.4.43) et été (Tab. 4.37 et Fig. 4.48)). Il a été également noté un effet apport de BRF et fumier (en automne (Tab. 4.31 et Fig. 4.40), au printemps (Tab. 4.34 et Fig. 4.45) et en été (Tab. 4.37 et Fig. 4.50)). En outre, il a été observé que quelle que soit la saison, le pH du sol des placettes témoins est toujours supérieur à celui

de placettes amendées par le BRF ou le BRFF (automne (Tab. 4.33 et Fig. 4.41), au printemps (Tab. 4.36 et Fig. 4.46) et en été (Tab. 4.39 et Fig. 4.51)). Ces variations du pH peuvent-être dues à l'état hydrique du sol et à la température (Dinon *et al.*, 2008 ; Baize *et al.*, 2000) ou à la décomposition et à la minéralisation de la matière organique, ce qui augmente le niveau du CO₂ (Mohammad et Athamneh, 2004), et donc diminution du pH dans les placettes amendées.

Selon, Tremblay et Beauchamp (1998) l'apport de BRF ne modifie pas le pH du sol. Pour, Salau *et al.*, (1992) dans une étude sur les effets du paillage sur les propriétés d'un sol, ont montré que le paillage n'affecte pas aussi le pH. Les mêmes résultats ont été trouvés par (Yang *et al.*, 2007 ; Casado-Vela *et al.*, 2007 ; Ben Achiba *et al.*, 2009 ; Castro *et al.*, 2009 ; Fuentes *et al.*, 2010 ; Li *et al.*, 2013 ; Hidri *et al.*, 2014 ; Debiase *et al.*, 2016 ; Meena *et al.*, 2016 ; Nagar *et al.*, 2016 ; Scotti *et al.*, 2016). Toutefois Ba *et al.*, 2014, avec l'amendement du BRF de *Guiera senegalensis J. F. Gmel* et de *Piliostigma reticulatum*, sur des sols ferrugineux tropicaux du bassin arachidier au Sénégal, ont obtenu une neutralisation du pH (il passe de 6,4 à des valeurs entre 7,03 à 7,08) . D'autres chercheurs ont remarqué une augmentation du pH lorsqu'ils ont utilisé des déchets solides municipaux (Hernando *et al.*, 1989 ; Maynard, 1995 ; Mkhabela et Warman, 2005 ; Zhang *et al.*, 2006 ; Cuevas 2009 ; Nasini *et al.*, ; 2013 et Soremi *et al.*, 2017). L'état du pH dans les sols amendés est lié à la nature des fertilisants utilisés et au mode de décomposition de la matière organique.

4.1.5. Fluctuations saisonnière de la Conductivité électrique (CE) sol en automne, printemps et été :

A. Fluctuations selon les campagnes d'étude:

1. Pour l'automne 2014, 2015 et 2016 :

a) **Selon les campagnes :** Pour la variable CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) automne, les moyennes sont: $[61,8 \pm 10,0]$; $[36,6 \pm 2,1]$ et $[7,8 \pm 1,2]$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ pour l'automne respectivement pour l'année 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ((Fobs = 2232,866; ddl=4 et $p < 0,00$) (Tab. 4.43 et Fig. 4.57). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) décroissante Aut14 (a) > Aut15 (b) > Aut16 (Tab. 4.44 et Fig. 5.58). Ainsi, l'automne 2016 a la conductivité la plus faible (Tab. 4.44, Fig. 4.58).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.43 : Anova pour la variable CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) pour les 3 campagnes d'étude et automne.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	21928,102	10964,051	477,222	< 0,0001
Placette	4	1842,786	460,696	20,052	< 0,0001
Campagnes*Placettes	8	3286,291	410,786	17,880	< 0,0001

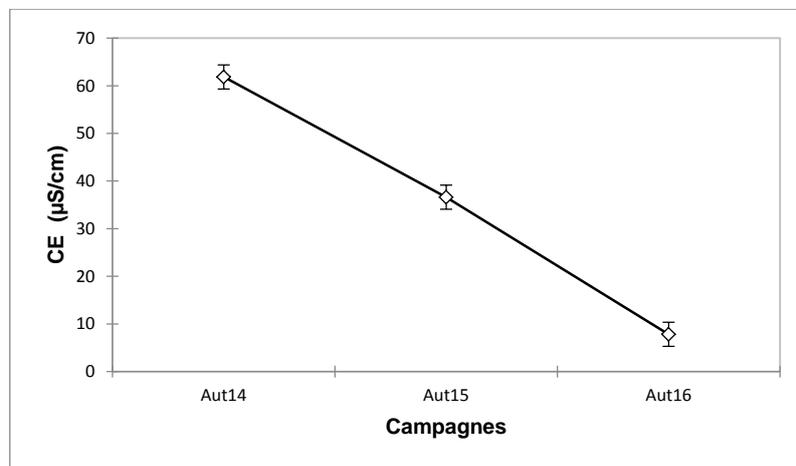


Figure 4.57 : Variations des moyennes CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les campagnes d'étude automne.

Tableau 4.44 : Classification les campagnes d'études selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$ automne (Test de Tukey).

	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
Aut14	61,853 a	
Aut15	36,600 b	
Aut16	7,820 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

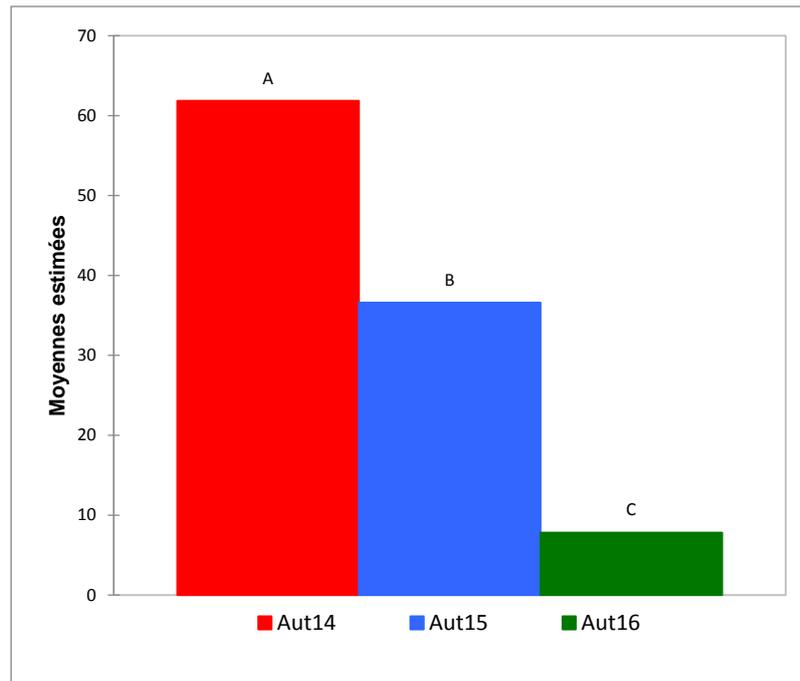


Figure 4.58 : Classification les campagnes d'études selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) automne (Test de Tukey).

b) Selon les placettes : En automne, les moyennes de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les placettes sont de [24,75] ; [31,88]; [37,47]; [41,24] et [41,24] ($\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV). La différence entre les moyennes de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des placettes est très significative ($F_{\text{obs}} = 20,052$; $\text{ddl}=4$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.43 et Fig. 4.59). Cela signifie qu'en automne les placettes ont de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) différentes. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 4 classes de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) décroissant en été BRFFV et BRFFV(a) > BRFF (ab) > BRF (b) > T (c) (Tab. 4.45 et Fig. 4.60).

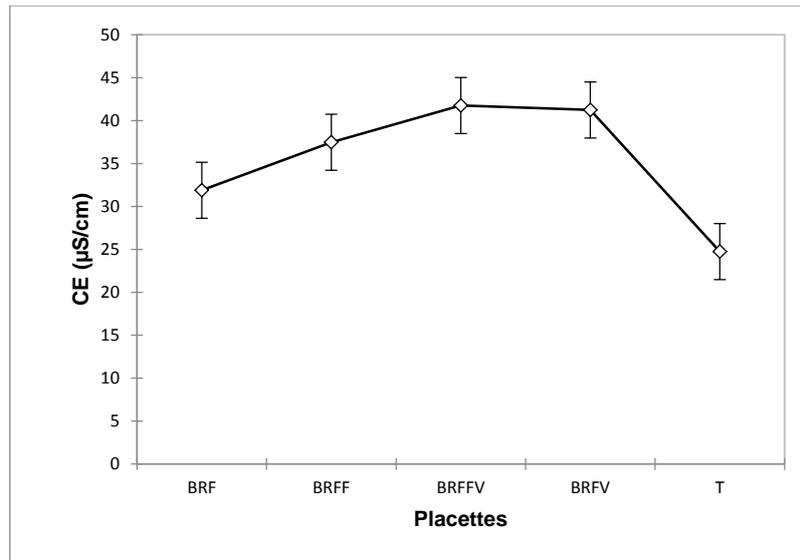


Figure 4.59 : Variations des moyennes CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les campagnes d'étude automne.

Tableau 4.45 : Classification des placettes d'études de l'automne selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Test de Tukey).

CE		
(µS/cm)		
BRFFV	41,767 a	
BRFV	41,242 a	
BRFF	37,478 ab	
BRF	31,886 b	
T	24,750 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

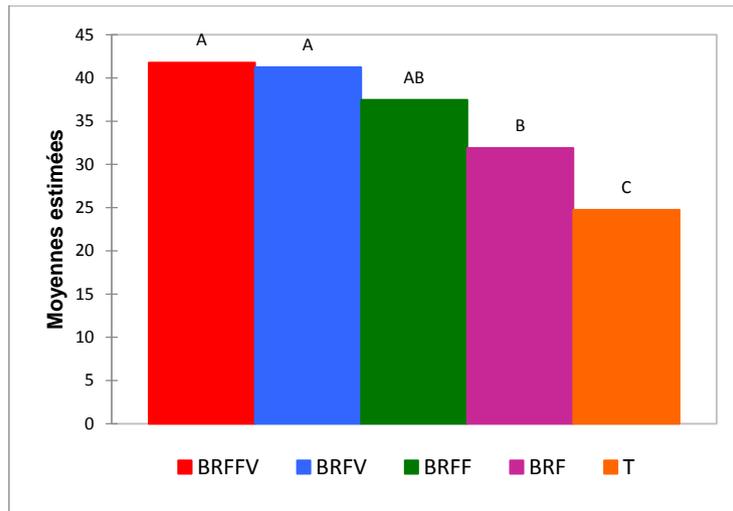


Figure 4.60 : Classification des placettes selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) automne.

Par ailleurs, le tableau 4.43 montre un effet combiné entre les moyennes du CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) entre les campagnes d'automne et les placettes très significatif ($F_{\text{obs}} = 17,880$; $\text{ddl}=8$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.43 et Fig. 4.61). Ce qui signifie que le CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des sols est différente d'une campagne à une autre en automne et d'une placette à une autre (Fig. 4.61) automne 2014, 2015 et 2016. Ainsi, l'automne 2016 à la salinité la plus faible dans les différentes placettes étudiées.

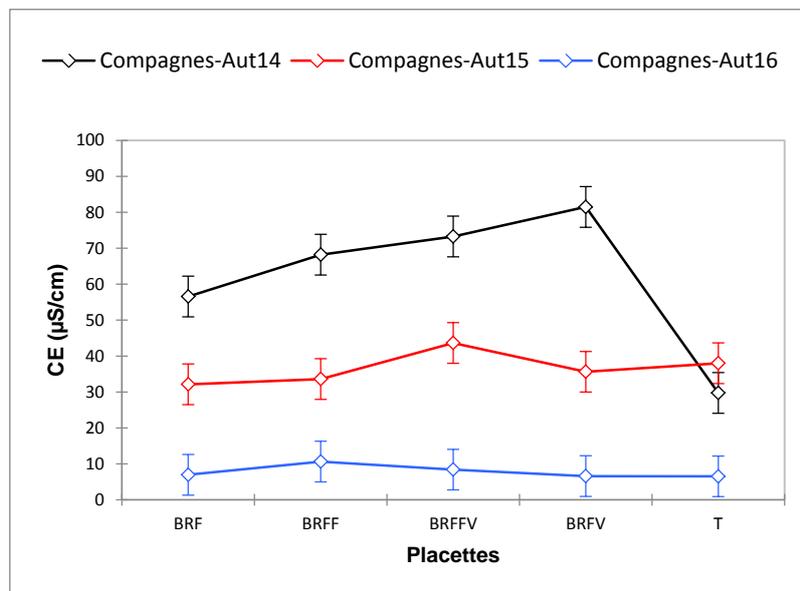


Figure 4.61 : Variations des moyennes CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en fonction des campagnes de automnes*placettes d'étude.

2. Pour le Printemps 2014, 2015 et 2016 :

a) Selon les campagnes :

Pour la variable CE ($\mu\text{S/cm}$) au Printemps, les moyennes sont: $[33,4 \pm 3,2]$; $[53,0 \pm 6,5]$ et de $[7,2 \pm 1,2]$ $\mu\text{S/cm}$ pour le Printemps respectivement pour l'année 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes des CE ($\mu\text{S/cm}$) ((Fobs = 2232,866; ddl=4 et $p < 0,00$) (Tab. 4.46 et Fig. 4.62) . La valeur critique du d de Tukey :3,486 indique 3 classes CE ($\mu\text{S/cm}$) décroissante printemps15 (a)>printemps2014 (b)> Printemps2016 (c) (Tab. 4.47 et Fig. 4.63) . Le printemps 2016 a la conductivité la plus faible (Tab. 4.47, Fig. 4.63).

Tableau 4.46: Anova pour la variable CE ($\mu\text{S/cm}$) pour les 3 campagnes d'étude et au printemps.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	15918,148	7959,074	2232,866	< 0,0001
Placettes	4	772,164	193,041	54,156	< 0,0001
Campagnes*Placettes	8	2108,709	263,589	73,948	< 0,0001

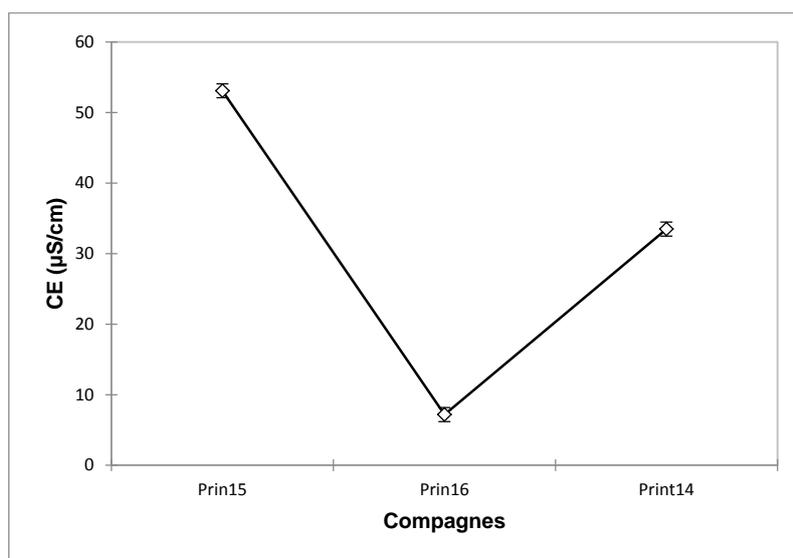


Figure 4.62 : Variations des moyennes CE ($\mu\text{S/cm}$) dans les campagnes d'étude au printemps.

Tableau 4.47 : Classification des campagnes d'études selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$ au printemps (Test de Tukey).

CE	
($\mu\text{S}/\text{cm}$)	
Prin15	53,093 a
Prin14	33,487 b
Prin16	7,186 c
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

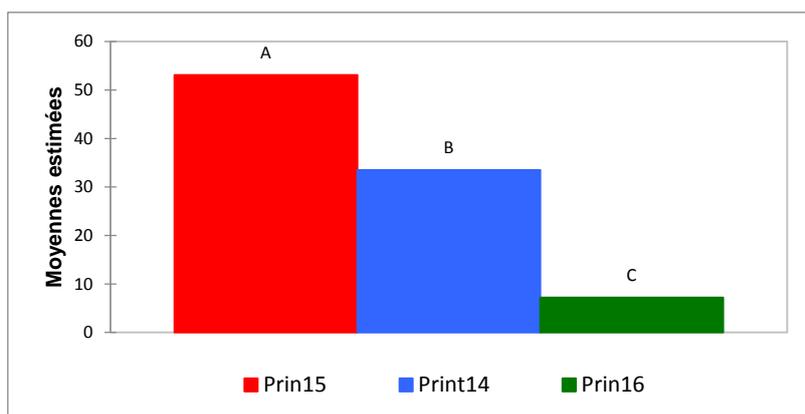


Figure 4.63 : Classification les campagnes d'études selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) au printemps (Test de Tukey).

b) Selon les placettes : Au printemps, les moyennes de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les placettes sont de [23,33]; [33,38]; [31,74]; [35,36] et [32,45] $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des placettes est très significative ($F_{\text{obs}} = 54,156$; $ddl=4$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.46 et Fig. 4.64). Cela signifie qu'au printemps les placettes ont des CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) différents. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 4 classes de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) décroissant en été BRFFV (a) > BRF (ab) > BRFFV et BRFF (b) > T (c) (Tab. 4.48 et Fig. 4.65).

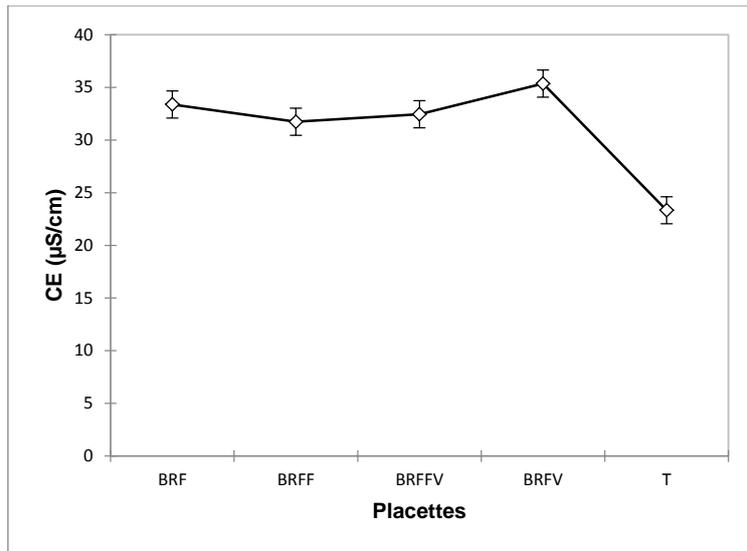


Figure 4.64 : Variations des moyennes CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les campagnes d'étude du printemps.

Tableau 4.48 : Classification des placettes d'études printemps selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Test de Tukey).

CE		
(µS/cm)		
BRFV	35,363 a	
BRF	33,382 ab	
BRFFV	32,454 b	
BRFF	31,741 b	
T	23,336 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

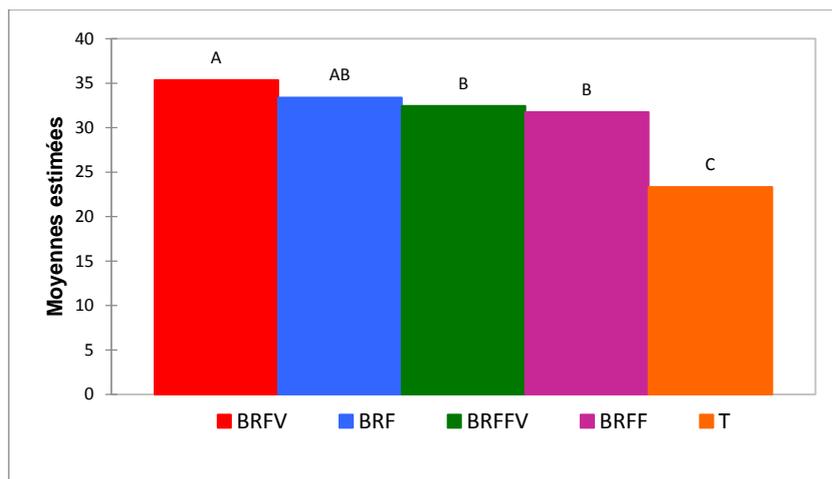


Figure 4.65 : Classification des placettes selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et printemps .

Par ailleurs, le tableau 4.46 montre un effet combiné entre les moyennes du CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) entre les campagnes de printemps et les placettes très significatif ($F_{\text{obs}} = 73,948$; $\text{ddl}=8$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.46 et Fig. 4.66). Ce qui signifie que le CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des sols est différente d'une campagne à une autre et d'une placette à une autre (Fig. 4.66) aux printemps 2014, 2015 et 2016. Ainsi, le printemps 2016 à la salinité la plus faible dans les différentes placettes étudiées.

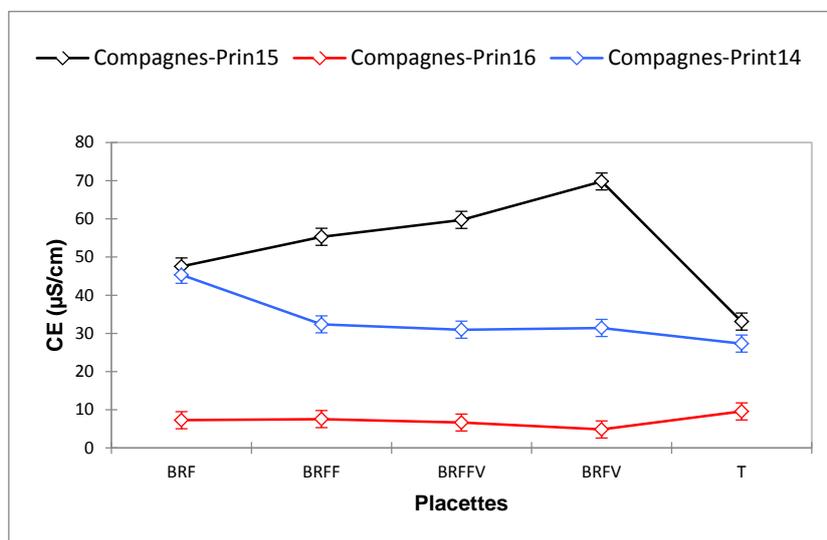


Figure 4.66 : Variations des moyennes CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en fonction des campagnes de printemps*placettes d'étude.

3. Pour l'été 2014, 2015 et 2016 :

a) **Selon les campagnes :** Pour la variable CE ($\mu\text{S/cm}$) en été, les moyennes sont: La moyenne du CE est de $[30,2 \pm 2,4]$ $[53,4 \pm 4,0]$ et $[10,2 \pm 1,4]$ $\mu\text{S/cm}$ pour l'été 2014, 2015 et 2016 respectivement. Il existe une différence très significative entre les moyennes de CE ($\mu\text{S/cm}$) ((Fobs = 178,646; ddl=2 et $p < 0,00$) (Tab. 4.49 et Fig. 4.67). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes CE ($\mu\text{S/cm}$) décroissante Été15 (a) > Été14 (b) > Été16 (c) (Tab. 4.50 et Fig. 4.68). L'été 2016 a la CE ($\mu\text{S/cm}$) la plus faible (Tab 4.50, Fig. 4.68).

Tableau 4.49 : Anova pour la variable CE ($\mu\text{S/cm}$) pour les 3 campagnes d'étude et en été.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagne	2	14005,378	7002,689	995,588	< 0,0001
Placettes	4	431,732	107,933	15,345	< 0,0001
Campagne*Placettes	8	714,492	89,311	12,698	< 0,0001

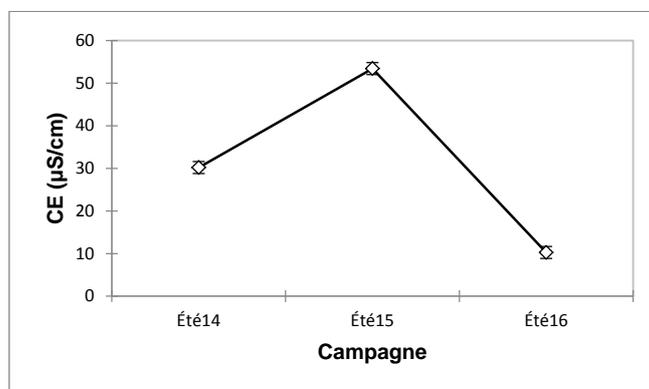


Figure 4.67 : Variation des moyennes CE ($\mu\text{S/cm}$) dans les campagnes d'étude.

Tableau 4.50 : Classification les campagnes d'études selon CE ($\mu\text{S/cm}$) (Tast de Tukey).

CE	
($\mu\text{S/cm}$)	
Été15	53,433 a
Été14	30,200 b
Été16	10,262 c
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

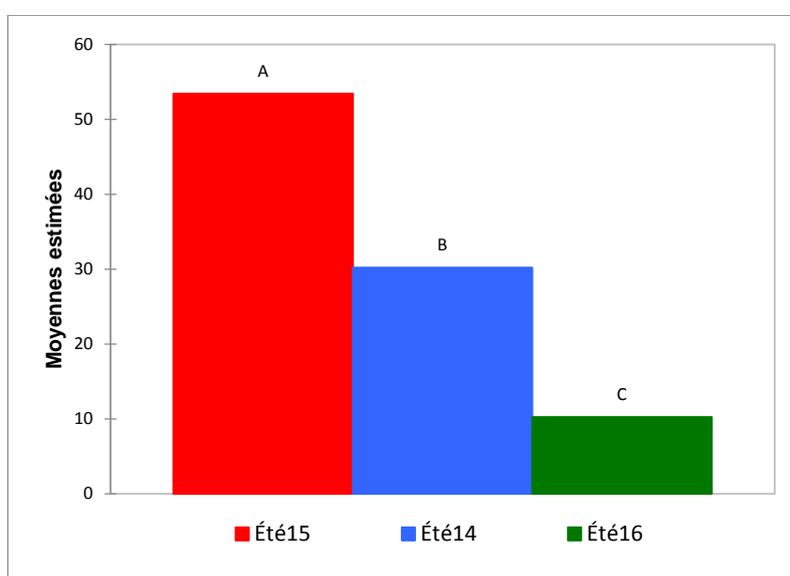


Figure 4.68 : Classification les campagnes d'études selon CE ($\mu\text{S/cm}$) en été (Tast de Tukey).

b) Selon les placettes : Les moyennes de CE ($\mu\text{S/cm}$) dans les placettes sont de [29,99] ; [31,25]; [37,25]; [28,78] et [29,19] $\mu\text{S/cm}$ respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes de la CE ($\mu\text{S/cm}$) des placettes en été est très significative ($F_{\text{obs}} = 15,345$; $\text{ddl}=4$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.49 et Fig. 4.69). Cela signifie qu'en été les placettes ont de CE ($\mu\text{S/cm}$) différents. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 2 classes de CE ($\mu\text{S/cm}$) décroissant en été BRFF (a)>BRF, T, BRFFV et BRFFV (b) (Tab. 4.51 et Fig. 4.70).

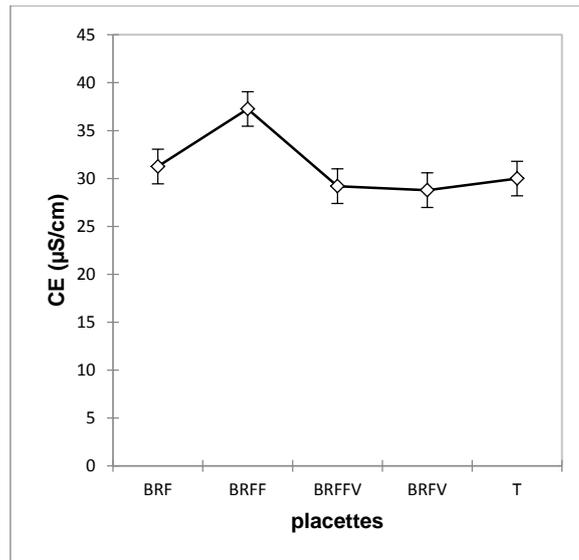


Figure 4.69 : Variation des moyennes CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les campagnes d'étude.

Tableau 4.51 : Classification des placettes d'études été selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Test de Tukey).

CE		
(µS/cm)		
BRFF	37,259 a	
BRF	31,258 b	
T	29,996 b	
BRFFV	29,198 b	
BRFV	28,782 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

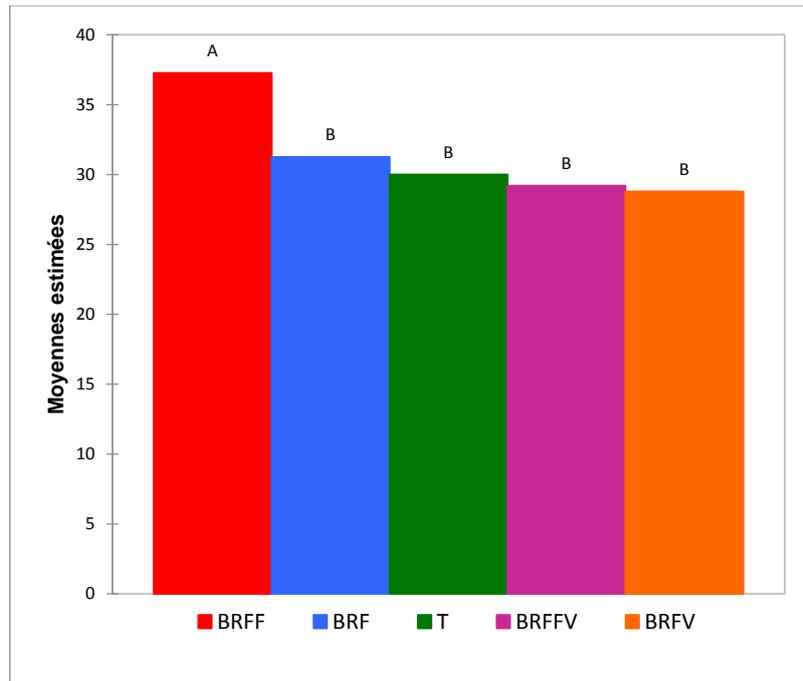


Figure 4.70 : Classification des placettes selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) été.

Par ailleurs, le tableau 4.49 montre un effet combiné entre les moyennes du CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) entre les campagnes et les placettes très significatif ($F_{\text{obs}} = 12,698$; $\text{ddl}=8$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.49 et Fig.4.71) ce qui signifie que la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des sols est différente d'une campagne à une autre et d'une placette à une autre (Fig. 4.71) pendant les différentes campagnes de l'été 2014, 2015 et 2016.

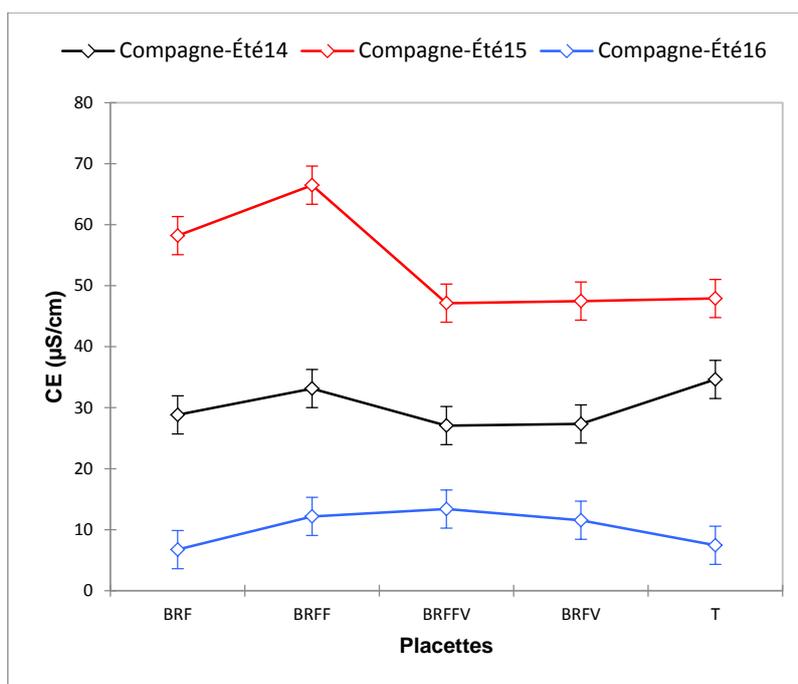


Figure 4.71: Variation des moyennes CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en fonction des campagnes*placettes d'étude.

B. Fluctuations saisonnières de la CE: La moyenne CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) pour les saisons d'étude est de $[35,4 \pm 1,1]$; $[31,2 \pm 1,0]$ et $[31,2 \pm 1,0]$ respectivement en automne, printemps et été (Fig. 4.72). La différence entre les moyennes n'est pas significative (Fig. 4.73).

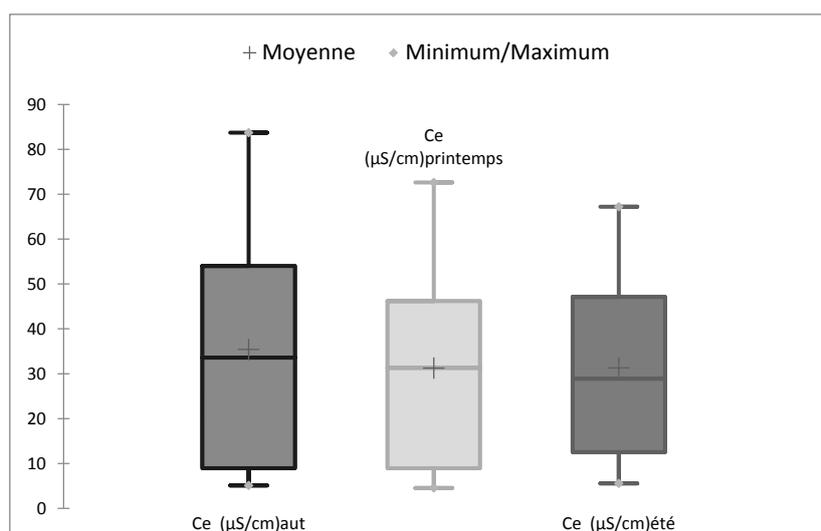


Figure 4.72 : Box plot pour la variable CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) saisonnièrement.

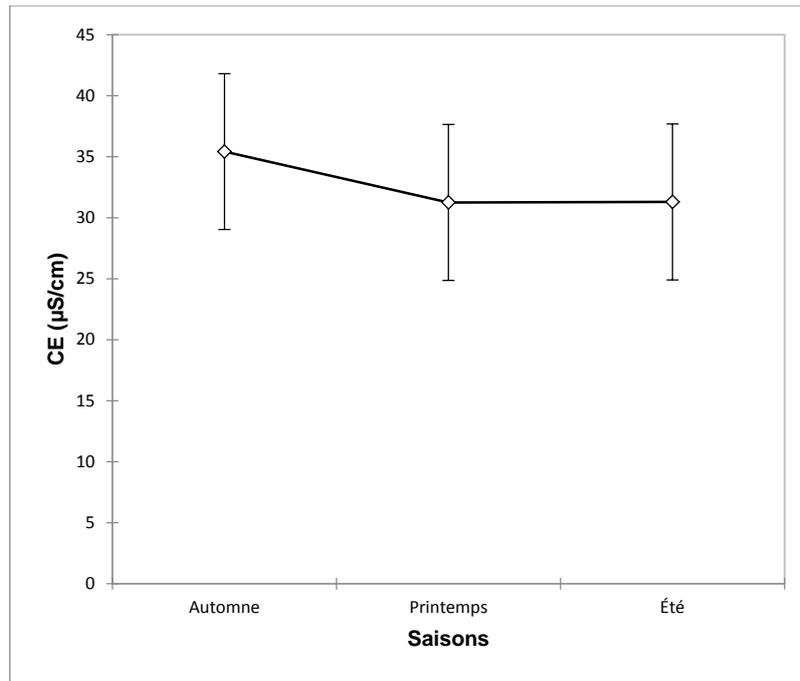


Figure 4.73 : Variations des moyennes CE ($\mu\text{S/cm}$) saisonnièrement.

C. Fluctuations Annuelles : Pour CE ($\mu\text{S/cm}$), moyenne est de $[41,8 \pm 5,4]$; $[47,7 \pm 3,4]$ et de $[8,4 \pm 0,0]$ pour l'année 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.2). La différence entre les moyennes des années d'études est très significative $F_{\text{obs}} = 120,685$; $\text{ddl}=2$ et $p < 0,00$ (Tab. 4.52 et Fig. 4.74). La Valeur critique du d de Tukey : 3,352 montre 2 classe de CE ($\mu\text{S/cm}$) Camp2015 et Camp2014 (a) > Camp2016 (b) (Tab. 4.53. Fig. 4.75).

Tableau 4.52 : Anova pour la variable CE ($\mu\text{S/cm}$) pour les 3 campagnes d'étude.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Compagnes	2	40424,050	20212,025	120,685	< 0,0001

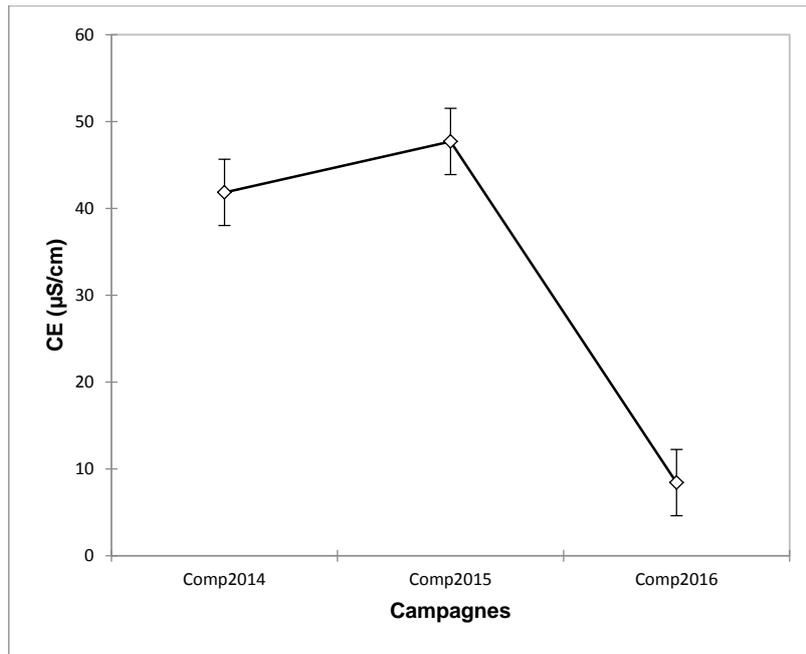


Figure 4.74 : Variation des moyennes de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) dans les 3 campagnes d'étude.

Tableau 4.53 : Classification des campagnes d'étude selon la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Test de Tukey).

CE		
(µS/cm)		
Camp2015	47,709 a	
Camp2014	41,847 a	
Camp2016	8,423 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

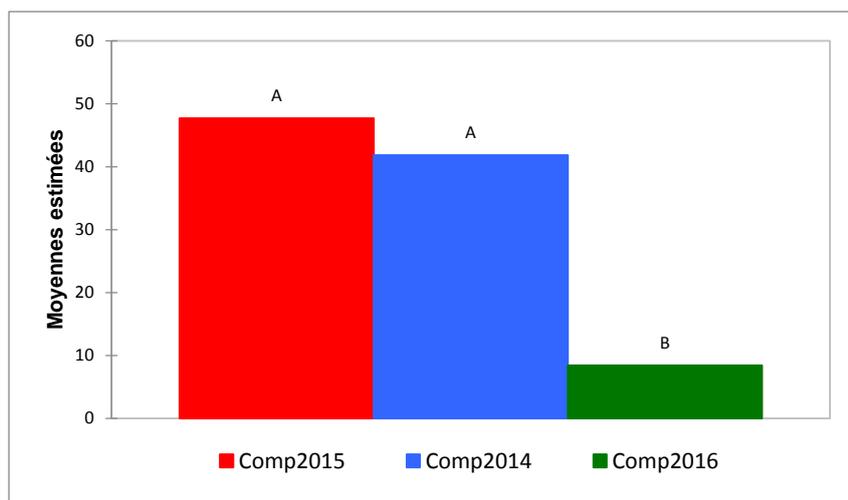


Figure 4.75 : Classification des 3 campagnes d'étude selon CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Test de Tukey).

La conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des sols détermine leur degré de salinité, elle est en relation avec la teneur en cations (Ca^{++} , Na^{+} ..).

D'après, le tableau 4.3, la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de notre sol est classé en Classe I non salé (Tab. 4.1.54). En effet, la moyenne globale de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) pour les 3 années d'expérimentation est de $[32,65 \pm 3,34]$ $\mu\text{S}/\text{cm}$ le minimum est 4,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et le maximum relevé est de 83,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tab.4.3).

Tableau 4.54 : Classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J.H. (1983).

Classe	CE en $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

Nos résultats montrent aussi, qu'il existe un effet saisons des 3 campagnes effectuées, l'automne (Tab. 4.43 et Fig. 4.57), printemps (Tab. 4.46 et Fig. 4.62) et été (Tab. 4.49 et Fig. 4.67), un effet combiné entre placettes-campagnes, en automne (Tab. 4.43 et Fig. 4.61), au printemps (Tab. 4.46 et Fig. 4.66) et en été (Tab. 4.49 et Fig. 4.71). En revanche nous n'avons pas remarqué un effet entre les saisons (Fig. 4.73) dans chaque campagne. Nous avons observé aussi un effet apport de BRF et fumier en automne (Tab. 4.43 et Fig. 4.59), au printemps (Tab. 4.46 et Fig. 4.64) et en été (Tab. 4.49 et Fig. 4.69) et quelle que soit la

saison, la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des placettes amendées par le BRF et BRFF sont légèrement supérieures aux témoins (en automne (Tab. 4.45 et Fig. 4.61), au printemps (Tab. 4.48 et Fig. 4.65) et en été (Tab. 4.51 et Fig. 4.70)).

Toutefois, l'apport du BRF et du fumier n'a pas affecté la classe de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) du sol, elle est restée en Classe I (Tab. 4.54) pendant toute l'expérimentation.

Ainsi Zaater *et al.*, (2018) ont remarqué une augmentation dans la CE du sol après l'apport de BRF d'un mélange de deux espèces d'arbres : *Lucaena leucocephala* et *Olea europaea*. Nagar *et al.*, 2016, ont remarqué que l'apport des déchets organiques n'affecte pas la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) des sols étudiés. Les mêmes résultats ont été observés par Castro *et al.*, (2009), qui ont utilisé des boues d'épuration et du compost de déchets solides municipaux. Meena *et al.*, (2016) ; Hidri *et al.*, (2014); . Fuentes *et al.*, (2010), ont noté qu'une année après application des amendements organiques, les teneurs de CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) sont plus élevées dans les sols qui ont reçus les amendements par rapport au sol témoin, mais cette différence n'est pas significative trois ans après applications de ces amendements.

Ainsi, l'apport du BRF de nectarine et de fumier de bovins n'a pas modifié la classe de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$), du sol étudié. En effet, il est en Classe I et le reste après leurs apports. Cette Classe I non salée (Tab. 4.54), nous indique un effet négligeable sur la fertilité des sols et le rendement des cultures.

4.1.6. Fluctuations du $\% \text{CaCO}_3$:

A. Fluctuations selon les campagnes d'étude:

1. Pour l'automne 2014, 2015 et 2016 :

a) Selon les campagnes : Pour le $\% \text{CaCO}_3$; selon les campagnes d'automne, La moyenne du $\% \text{CaCO}_3$ est de $[32,0 \pm 0,5]$; $[32,9 \pm 0,4]$ et de $[29,1 \pm 0,6]$ respectivement pour l'automne 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes du $\% \text{CaCO}_3$ ($F_{\text{obs}} = 84,731$; $\text{ddl}=2$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.55 et Fig. 4.76). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes $\% \text{CaCO}_3$ décroissante aut2015 (a) > aut2014 (b) > aut2016 (c) (Tab. 4.56 et Fig. 4.77).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.55 : Anova pour la variable %CaCO₃ pour les 3 campagnes d'étude en automne.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	116,898	58,449	84,731	< 0,0001
Placettes	4	17,150	4,287	6,215	0,001
Campagnes*Placettes	8	9,731	1,216	1,763	0,124

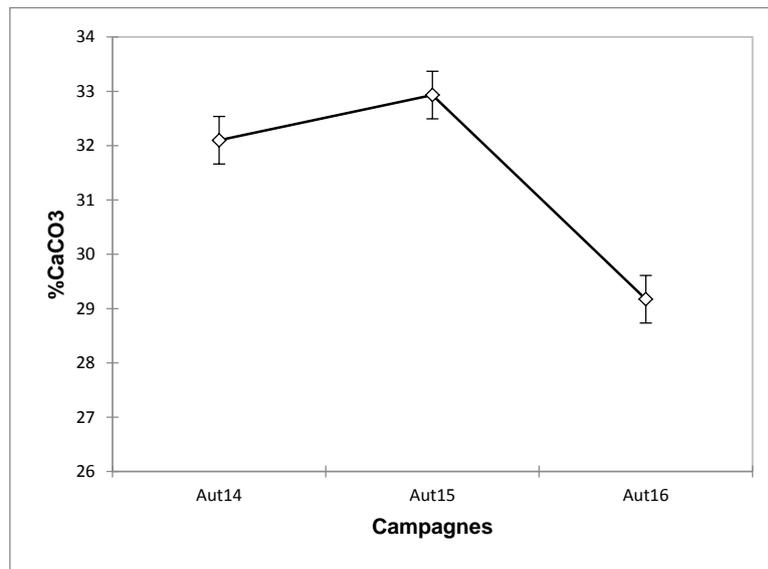


Figure 4.76 : Variation des moyennes du %CaCO₃ dans les campagnes d'étude en automne.

Tableau 4.56 : Classification des campagnes selon le %CaCO₃ (Test de Tukey).

	%CaCO ₃	
Aut15	32,931 a	
Aut14	32,098 b	
Aut16	29,173 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

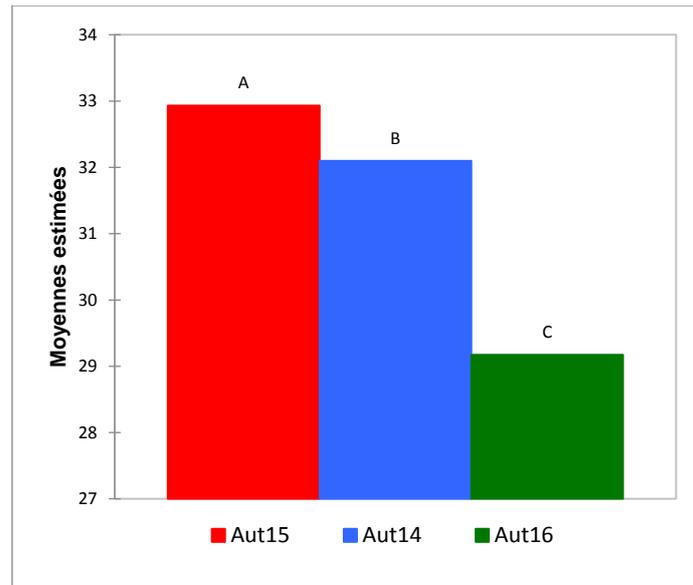


Figure 4.77 : Classification des campagnes selon le %CaCO₃ (Test de Tukey).

b). Selon les parcelles étudiés en automne : Les moyennes de %CaCO₃ dans les placettes sont de [32,0] ; [30,6] ; [30,7]; [31,5]; [32,0] %CaCO₃ respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes du %CaCO₃ des placettes en automne est très significative ($F_{obs} = 6,215$; $ddl=4$ et $p<0,00$) (Tab. 4.55 et Fig. 4.78). Cela signifie qu'en automne les placettes ont des %CaCO₃ différents. La valeur critique du d de Tukey : 4,102 indique 3 modalités de %CaCO₃ décroissant en automne BRFFV et T (a)>BRFFV (ab)>BRFF et BRF (b) (Tab. 4.57 et Fig. 4.79).

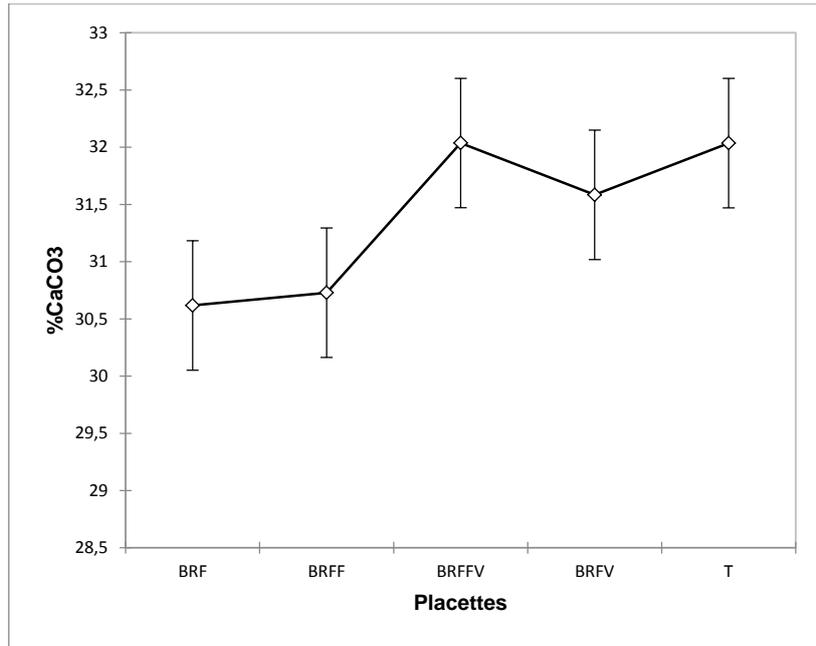


Figure 4.78 : Variation des moyennes du %CaCO₃ dans les placettes étudiées.

Tableau 4.57 : Classification des placettes selon les %CaCO₃ pendant l'automne.

		% CaCO ₃
BRFFV	32,037	a
T	32,036	a
BRFV	31,584	ab
BRFF	30,729	b
BRF	30,618	b
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

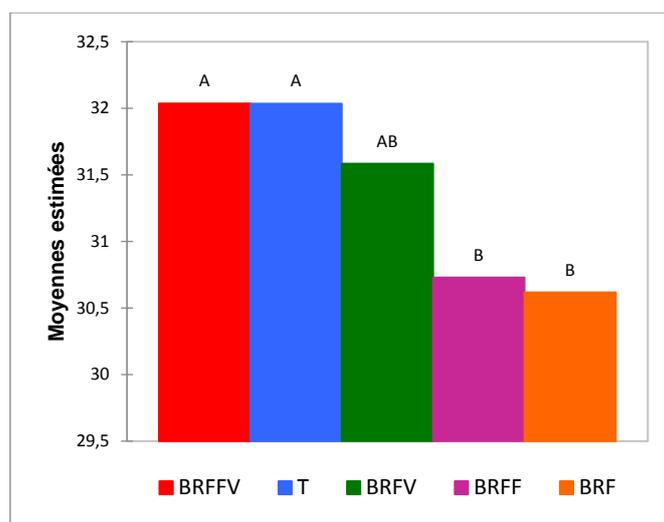


Figure 4.79 : Classification des placettes selon les %CaCO₃ pendant l'automne.

2. Pour le Printemps 2014, 2015 et 2016 :

a) **Selon les campagnes :** Concernant la variable %CaCO₃, selon les campagnes de printemps, La moyenne du %CaCO₃ est [35,1±0,5] [32,1±0,6] et [28,6±0,4] % respectivement pour printemps 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes du %CaCO₃ (Fobs = 272,078; ddl=2 et p<0,00) (Tab. 4.58 et Fig. 4.80) La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes %CaCO₃ décroissantes prin2014 (a) > prin2015 et prin2016 (b) (Fig. 4.81).

Tableau 4. 58 : Anova pour la variable %CaCO₃ pour les 3 campagnes d'étude au printemps.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	346,222	173,111	272,078	< 0,0001
Placettes	4	7,181	1,795	2,822	0,042
Campagnes*Placettes	8	22,212	2,776	4,364	0,001

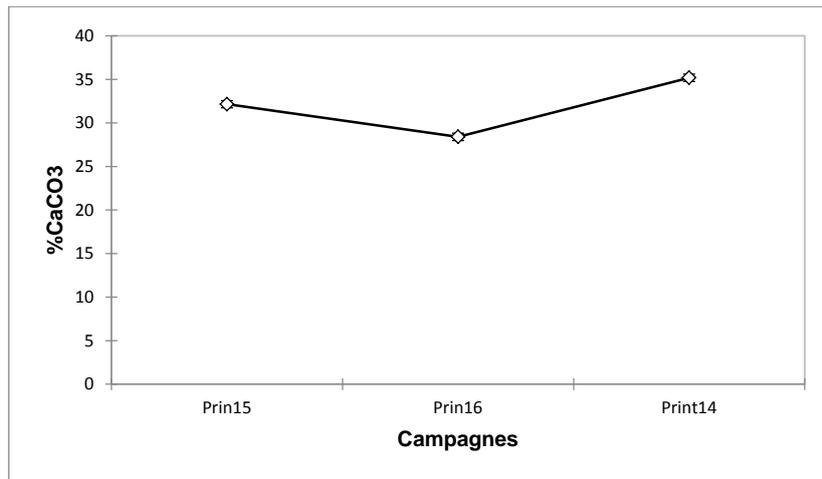


Figure 4.80 : Variation des moyennes du %CaCO₃ dans les campagnes d'étude au printemps.

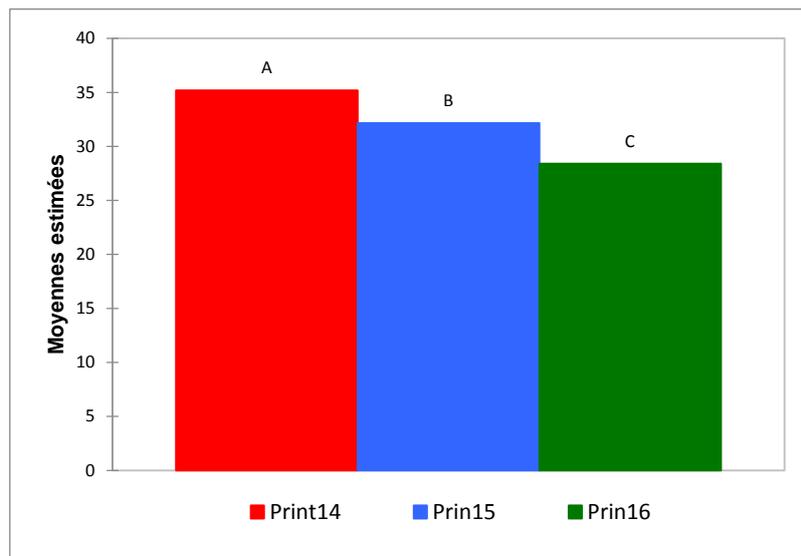


Figure 4.81: Classification des campagnes de printemps selon le %CaCO₃ (Test de Tukey).

b) Selon les placettes étudiées au printemps : Les moyennes de %CaCO₃ dans les placettes sont de [32,65] ; [31,85] ; [31,90] ; [31,65] et [31,50] % respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes %CaCO₃ des parcelles au printemps est significative ($F_{obs} = 2,822$; $ddl = 4$ et $p < 0,04$) (Tab. 4.56 et Fig. 4.82). La valeur critique du d

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

de Tukey : 4,102 indique 3 classes de %CaCO₃ décroissantes au printemps T (a)> BRFF, BRF et BRFFV (ab)> BRFFV (b) (Fig. 4.83).

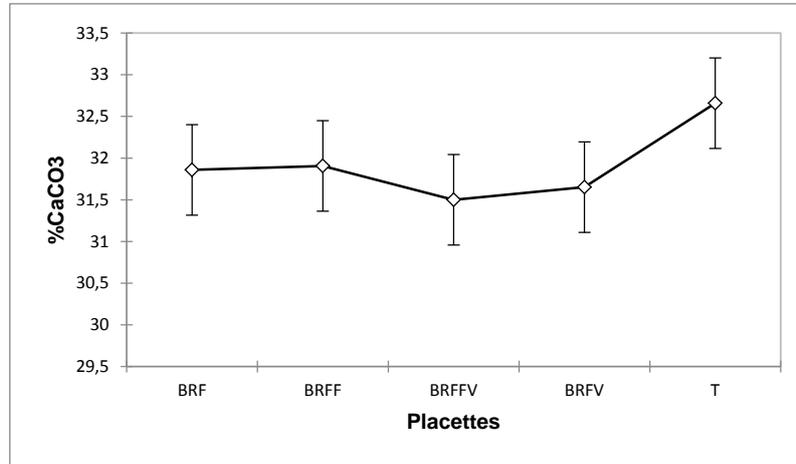


Figure 4.82 : Variation des moyennes de la %CaCO₃ dans les placettes étudiées au printemps.

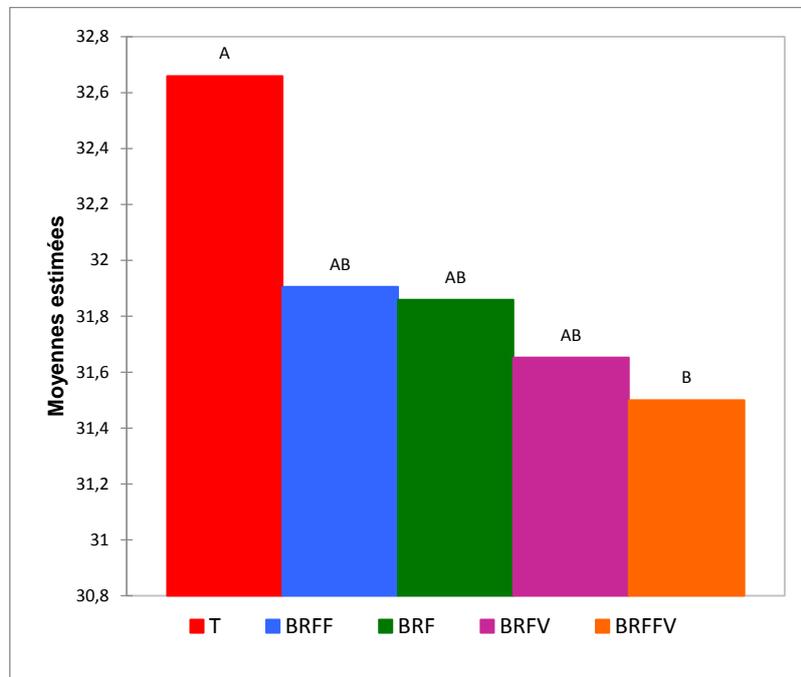


Figure 4.83: Classification des placettes selon le %CaCO₃ pour les campagnes de printemps étudiées.

Il est à remarquer (Tab. 4.56) qu'il y a aussi un effet combiné entre les moyennes du %CaCO₃ entre les Campagnes*Parcelles très significatif (Fobs = 4,364; ddl=8 et p<0,001) (Tab. 4.56 et Fig. 4.84). En effet (Fig. 4.84) Ainsi le Printemps 2014 a le %CaCO₃ le plus moins élevé et pour les différentes placettes étudiés.

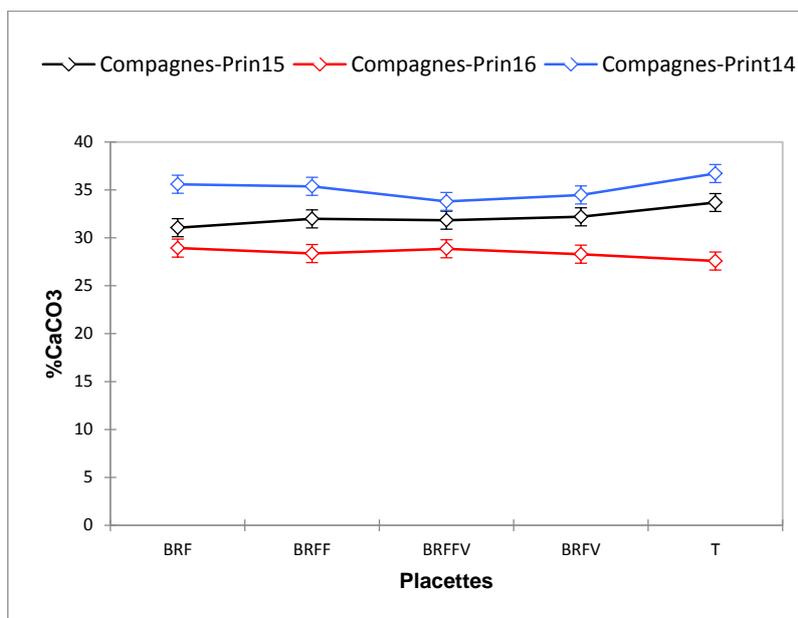


Figure 4.84 : Variation des moyennes du %CaCO₃ en fonction des campagnes*placettes étudiées au printemps.

3. Pour l'été 2014, 2015 et 2016 :

a) Selon les campagnes : Pour l'été 2014, 2015 et 2016 ; concernant la variable %CaCO₃ Selon les campagnes en été, La moyenne du %CaCO₃ est de [34,0±0,3]; [31,9±0,4] et [30,6±0,8] respectivement pour l'été 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). Il existe une différence très significative entre les moyennes du %CaCO₃ (Fobs = 44,174; ddl=2 et p<0,00) (Tab. 4.59 et Fig. 4.85) La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes du %CaCO₃ décroissante Été14 > Été15 (b) > Été16 (c) (Tab. 4.60 et Fig. 4.86).

Tableau 4.59 : Anova pour la variable %CaCO₃ pour les 3 campagnes d'étude en été.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagne	2	85,421	42,710	44,174	< 0,0001
Placettes	4	5,451	1,363	1,409	0,255
Campagne*Placettes	8	21,113	2,639	2,729	0,022

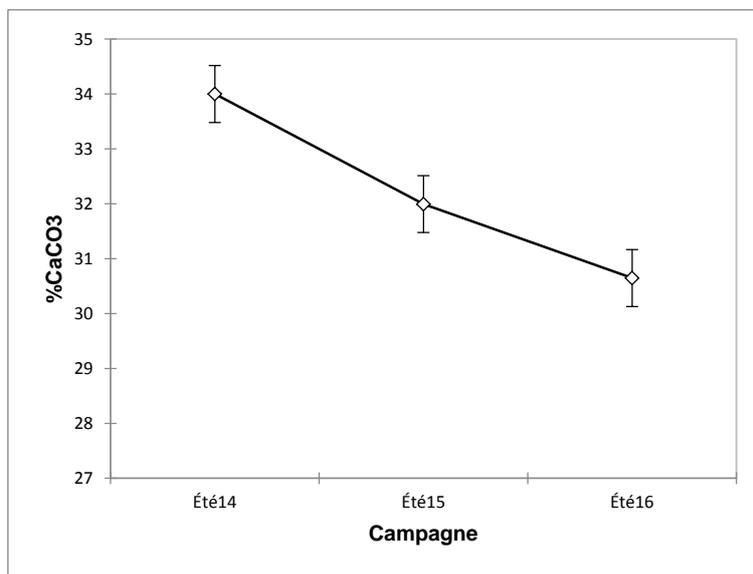


Figure 4.85 : Variation des moyennes du %CaCO₃ dans les campagnes d'étude en été.

Tableau 4.60 : Classification des campagnes d'été selon le %CaCO₃ (Test de Tukey).

% CaCO ₃		
Été14	34,000 a	
Été15	31,994 b	
Été16	30,647 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

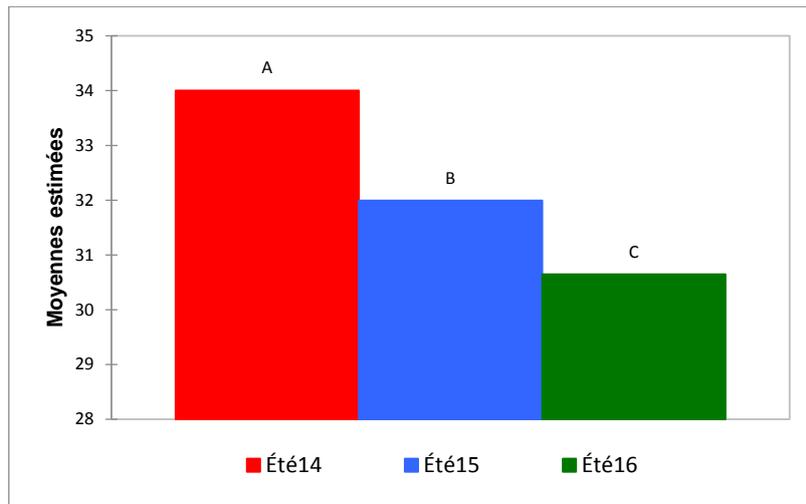


Figure 4.86 : Classification des campagnes d'été selon %CaCO₃ (Test de Tukey).

b). Selon les placettes étudiées en été : les moyennes de %CaCO₃ dans les placettes sont de [32,65] ; [32,22]; [31,89]; [31,75] et [32,53] % %CaCO₃ respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes %CaCO₃ des placettes en été n'est pas significative (Tab. 4.59 et Fig. 4.87). Cela signifie qu'en été les placettes ont %CaCO₃ qui ne varie pas beaucoup.

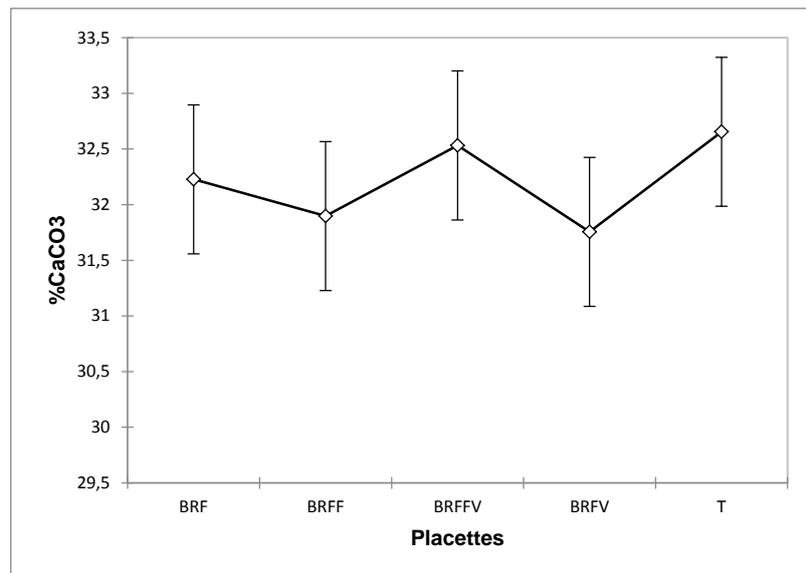


Figure 4.87 : Variation des moyennes %CaCO₃ dans les placettes étudiées en été.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Par ailleurs, il existe un effet combiné des moyennes du %CaCO₃ entre les Campagnes*Placettes (Fobs = 2,729ddl=8 et p<0,02) (Tab. 4.59 et Fig. 4.88). Cela signifie que le %CaCO₃ fluctue différemment dans les campagnes d'été et les placettes étudiées. La figure 4.86 montre que le %CaCO₃ le plus bas est relevé en été 2016.

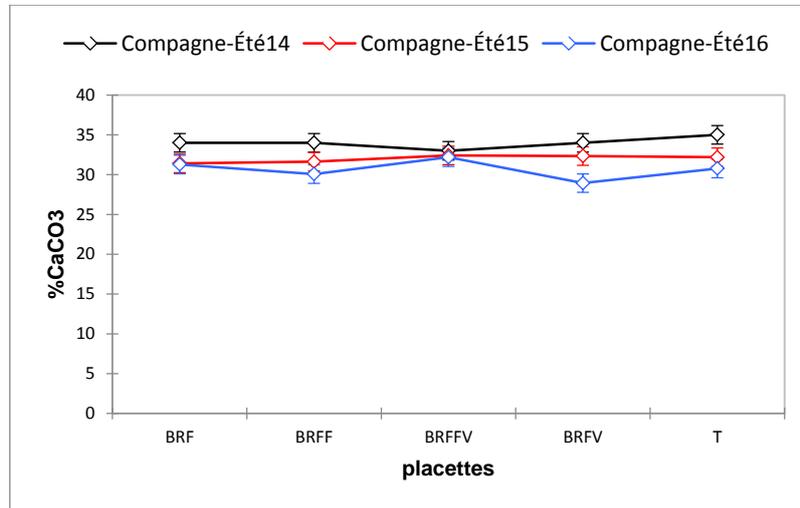


Figure 4.88 : Variations des moyennes du %CaCO₃ dans Campagne*Placettes en été.

B. Fluctuations saisonnières de % CaCO₃ :

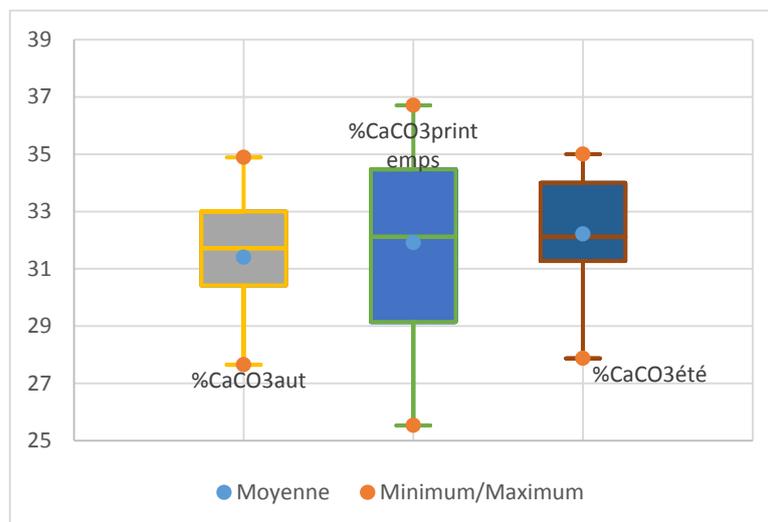


Figure 4.89 : Box plots pour la variable.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

La moyenne du % CaCO₃ dans les saisons étudiées est de [31,4±0,1] ; [31,9±0,1] et de [32,2±0,1] respectivement en automne, au printemps et en été (Fig. 4.89). La différence entre les moyennes des % CaCO₃ n'est pas significative (Fig. 4.90).

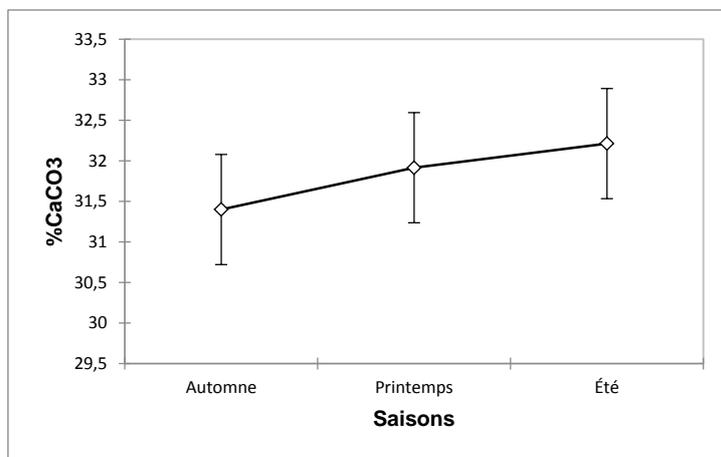


Figure 4.90 : Variations des moyenne % CaCO₃ saisonnièrement.

C. Fluctuations Annuelles : Pour l'année 2014, 2015 et 2016 la moyenne du %CaCO₃ est de [33,7±0,4] ; [32,3±0,3] et [29,4±0,4] % pour l'année 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.2). La différence entre les moyennes des années d'études est très significative ($F_{obs} = 108,243$; ddl=2 et $p < 0,00$) (Tab. 4.61 et Fig. 4.91). La Valeur critique du d de Tukey : 3,352 montre 3 modalités de %CaCO₃ Camp2016 (a) > Camp2014 (b) > Camp2015(c). Ainsi, l'année 2016 a le %CaCO₃ le plus élevé (Tab. 4.62 et Fig. 4.92).

Tableau 4.61 : Anova pour la variable %CaCO₃ pour les 3 campagnes d'étude.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	444,409	222,205	108,243	< 0,0001

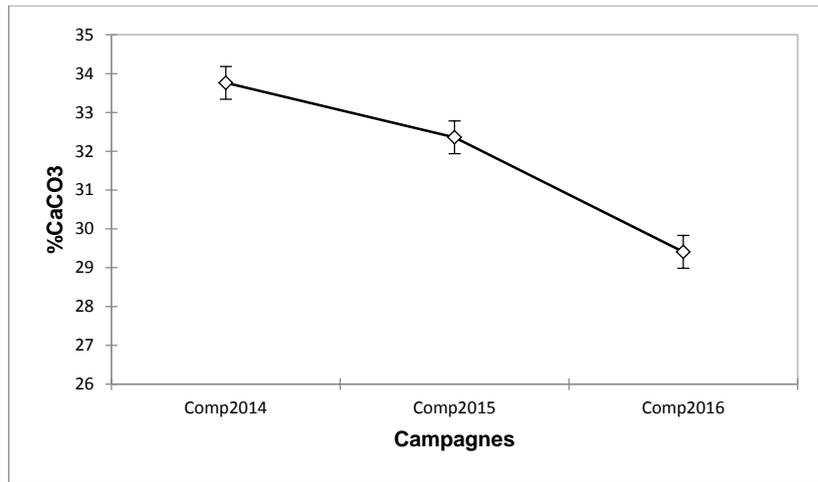


Figure 4.91 : Variation des moyennes du %CaCO₃ dans les 3 campagnes d'étude.

Tableau 4.62 : Classification des campagnes d'étude selon le %CaCO₃ (Test de Tukey).

	%CaCO ₃	
Camp2014	33,762 a	
Camp2015	32,359 b	
Camp2016	29,408 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

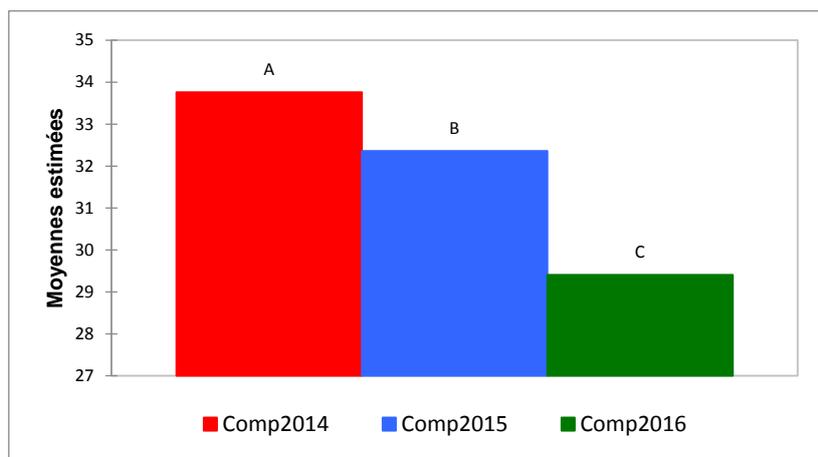


Figure 4.92 : Classification des campagnes d'étude selon %CaCO₃ (Test de Tukey).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

La moyenne global % CaCO₃ pour les 3 années d'expérimentation est de [31,84±0,38] %, le minimum est de 26,0 % et le maximum relevé est de 36,7% CaCO₃ (Tab. 4.3).

Tableau 4.63 : Echelle d'interprétation du % CaCO₃ total (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

Ainsi, pour le % CaCO₃, nous avons noté un effet saison pour 3 campagnes effectuées (l'automne (Tab. 4.53 et Fig. 4.76), printemps (Tab. 4.56 et Fig. 4.80) et été (Tab. 4.59 et Fig. 4.85)) et un effet année (Tab. 4.61 et Fig. 4.89). Par ailleurs, il existe un effet BRF et fumier en automne (Tab. 4.53 et Fig. 4.78) et au printemps (Tab. 4.56 et Fig. 4.82). Il a été remarqué aussi que quelle que soit la saison, le % CaCO₃ des placettes amendées par le BRF et BRFF est légèrement inférieur aux témoins en automne (Tab. 4.55 et Fig. 4.79) et au printemps (Tab. 4.58 et Fig. 4.83). Néanmoins, même si au cours de cette expérimentation, il a été observé des variations significatives du % CaCO₃, l'apport de BRF de nectarine et du fumier de bovins n'ont pas affecté le % CaCO₃ et le sol analysé reste dans la classe fortement calcaire (Tab. 4.63). Cela est expliqué, par la nature de la roche mère carbonatée, qui caractérise la région d'étude (Rached-Mosbah, 1977).

4.1.7. Fluctuations saisonnière du CaCO₃ actif en automne, printemps été :

A. Fluctuations selon les campagnes d'étude:

1. Pour l'automne 2014, 2015 et 2016 :

a) **Selon les campagnes** : Selon les campagnes d'automne la moyenne du % Calcaire actif est de [11,5±0,2] [14,5±0,4] et [20,9±3,1] % respectivement pour l'automne 2014,2015 et 2016 (Tab. 4.1). La différence est très significative entre les moyennes du %

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Calcaire actif (Fobs = 31,290; ddl=2 et $p < 0,00$) (Tab. 4.64 et Fig. 4.93). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 3 classes % Calcaire actif Aut16 (a) > Aut15 (b) > Aut14 (c) (Tab. 4.65 et Fig. 4.94).

Tableau 4.64 : Anova pour la variable % Calcaire actif pour les 3 campagnes d'étude en automne.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	694,633	347,317	31,290	< 0,0001
Placettes	4	84,167	21,042	1,896	0,137
Campagnes*Placettes	8	127,200	15,900	1,432	0,224

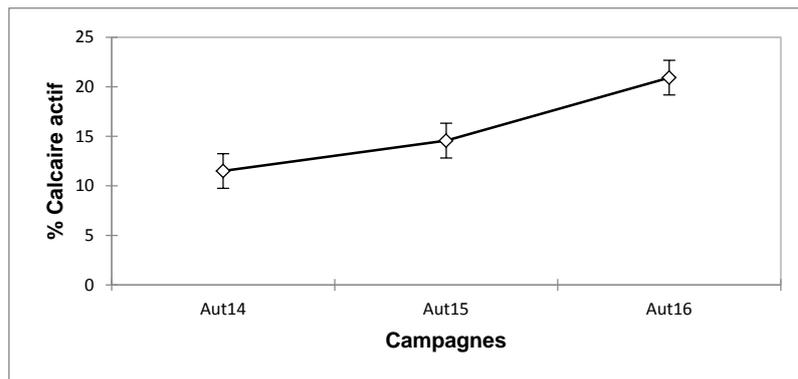


Figure 4.93: Variation des moyennes du % Calcaire actif dans les campagnes d'étude en automne.

Tableau 4.65 : Classification des campagnes d'automne selon le % Calcaire actif (Test de Tukey).

% Calcaire actif	
Aut16	20,933 a
Aut15	14,567 b
Aut14	11,500 c
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

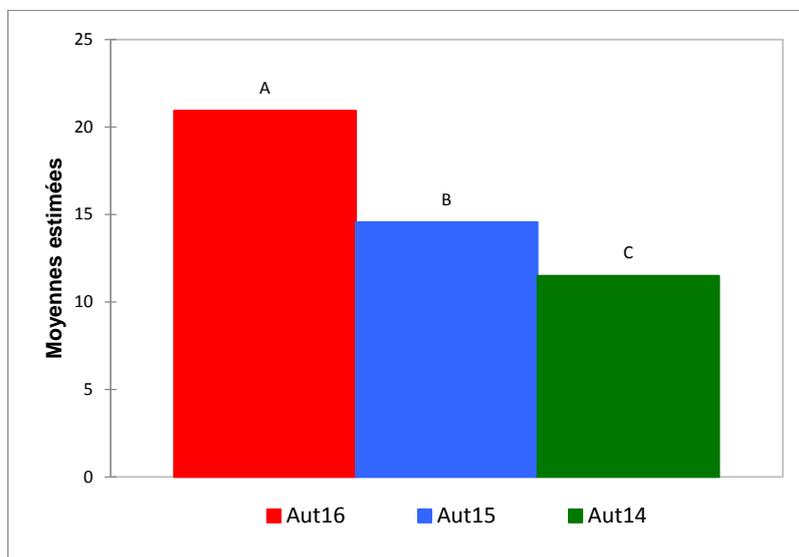


Figure 4.94 : Classification des campagnes d'automne selon le % Calcaire actif (Test de Tukey).

b). Selon les placettes étudiées en automne: Les moyennes de % Calcaire actif dans les placettes sont de [18,11]; [15,77]; [15,66]; [14,16] et [14,61] % respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes du % Calcaire actif des placettes n'en est pas significative (Fig. 4.95).

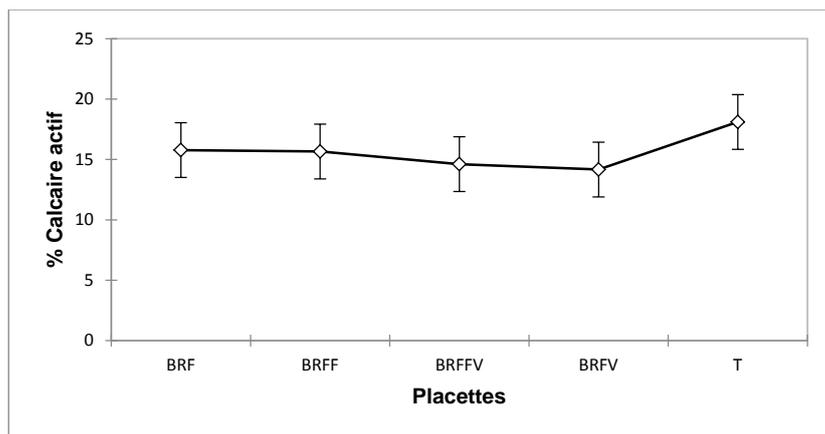


Figure 4.95 : Variations des moyennes du % Calcaire actif dans les placettes d'étude automne.

2. Pour le printemps 2014, 2015 et 2016 :

a). **Selon les campagnes :** le % de Calcaire actif est de $[14,5 \pm 0,2]$, $[14,2 \pm 0,4]$ et $[21,8 \pm 1,0]$ % respectivement pour le printemps 2014, 2015 et 2016 (Tab 4.1). La différence est très significative entre les moyennes du % Calcaire actif ($F_{obs} = 133,539$; $ddl=2$ et $p < 0,00$) (Tab. 4.66 et Fig. 4.96). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 2 classes % Calcaire actif printemps 2016 (a) > printemps 2014 et printemps 2015 (b) (Tab 4.67 et Fig. 4.97).

Tableau 4.66 : Anova pour la variable % Calcaire actif pour les 3 campagnes d'étude au printemps.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	560,803	280,402	133,539	< 0,0001
Placettes	4	2,047	0,512	0,244	0,911
Campagnes*Placettes	8	9,981	1,248	0,594	0,775

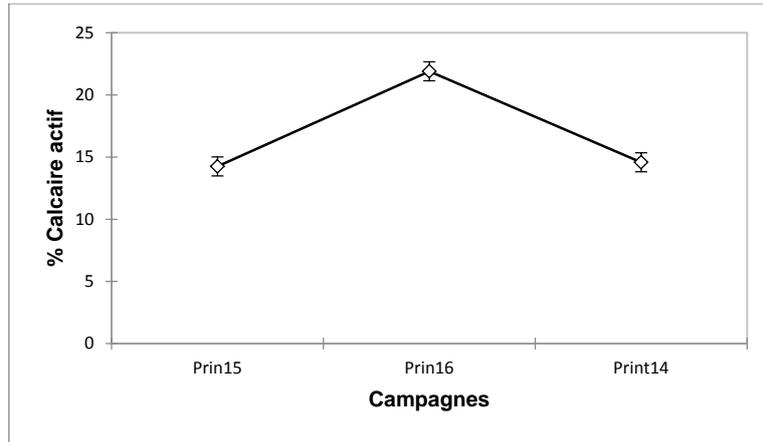


Figure 4.96 : Variation des moyennes du % Calcaire actif dans les campagnes d'étude au printemps.

Tableau 4.67 : Classification des campagnes du printemps selon le % Calcaire actif (Test de Tukey).

% Calcaire actif	
Prin16	21,900 a
Prin14	14,580 b
Prin15	14,253 b
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

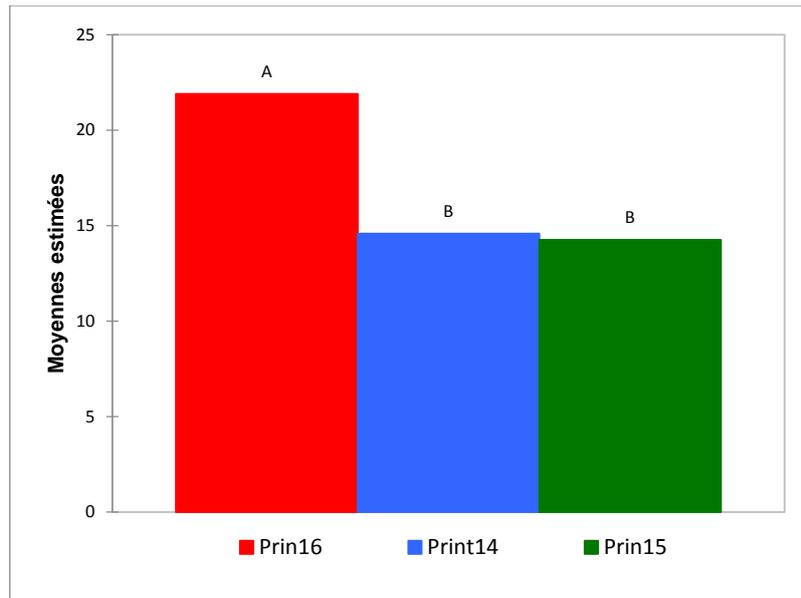


Figure 4.97 : Classification des campagnes printemps selon le % Calcaire actif (Test de Tukey).

b). Selon les placettes étudiées en printemps : Les moyennes de % Calcaire actif dans les placettes sont de [17,08]; [16,88]; [16,54]; [16,87] et [17,15] % respectivement pour T, BRFF, BRFV, BRF et T. La différence entre les moyennes du % Calcaire actif des placettes n'est pas significative (Tab. 4.66 et Fig. 4.98).

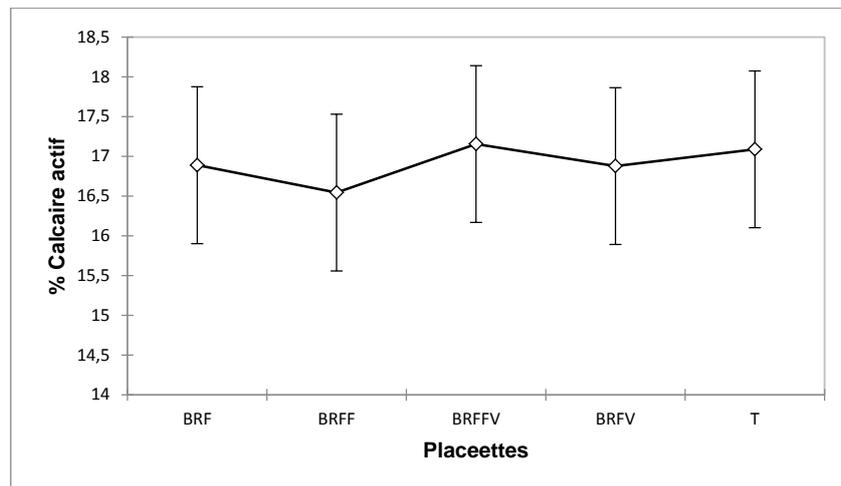


Figure 4.98 : Variation des moyennes du % Calcaire actif dans les placettes d'étude au printemps.

3. Pour l'été 2014, 2015 et 2016 :

a). Selon les campagnes : Le % Calcaire actif est de $[13,5 \pm 0,2]$ $[14,1 \pm 0,6]$ et $[21,6 \pm 1,5]$ % respectivement pour l'été 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). La différence est très significative entre les moyennes du % Calcaire actif (Fobs = 71,800; ddl=2 et $p < 0,00$) (Tab. 4.68 et Fig.4.99). La valeur critique du d de Tukey : 3,486 indique 2 classes % Calcaire actif Été16 (a) > Été15 et Été14 (b) (Tab. 4.69 et Fig. 4.100).

Tableau 4.68 : Anova pour la variable % Calcaire actif pour les 3 campagnes d'étude en été.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagne	2	611,100	305,550	71,800	< 0,0001
Placettes	4	9,800	2,450	0,576	0,682
Campagne*Placettes	8	12,733	1,592	0,374	0,926

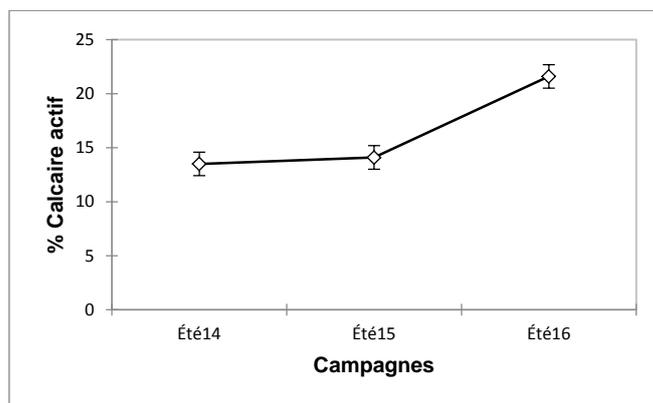


Figure 4.99 : Variation des moyennes du % Calcaire actif dans les campagnes d'étude en été.

Tableau 4.69: Classification des campagnes d'été selon le % Calcaire actif (Test de Tukey).

% Calcaire actif	
Été16	21,600 a
Été15	14,100 b
Été14	13,500 b
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

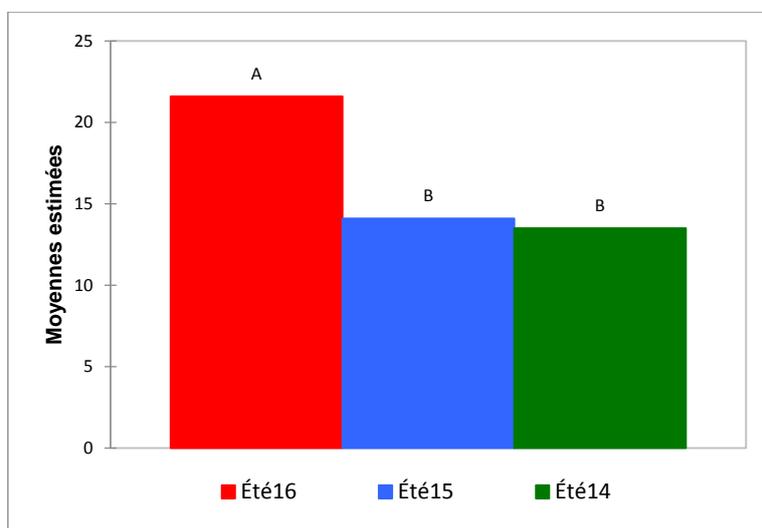


Figure 4.100 : Classification des campagnes d'été selon le % Calcaire actif (Test de Tukey).

b). Selon les placettes étudiées en été : Les moyennes de % Calcaire actif dans les placettes sont de [15,77]; [16,94]; [16,94]; [16,16] et [16,16] % respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFV et BRFFV. La différence entre les moyennes du % Calcaire actif des placettes n'en est pas significative (Tab. 4.68 et Fig. 4.101).

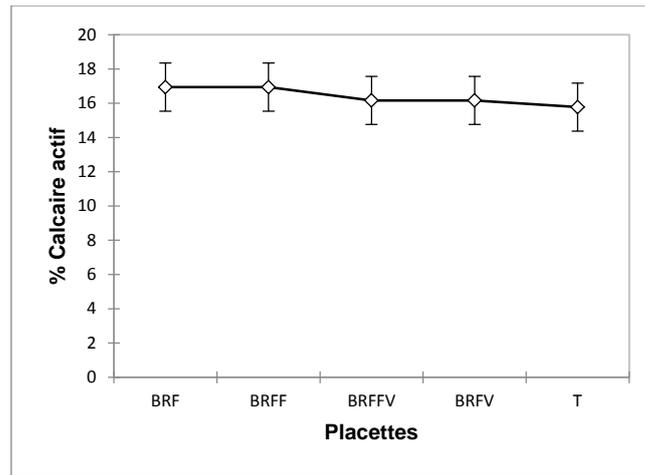


Figure 4.101 : Variation des moyennes du % Calcaire actif dans les placettes d'étude en été.

B. Fluctuations saisonnières de CaCO_3 actif : La moyenne % CaCO_3 actif pour les saisons d'étude est de $[15,6\pm 0,2]$ $[16,9\pm 0,1]$ et $[16,4\pm 0,2]$ respectivement en automne, printemps et été (Fig. 4.102). La différence entre les moyennes n'est pas significative (Fig. 4.103).

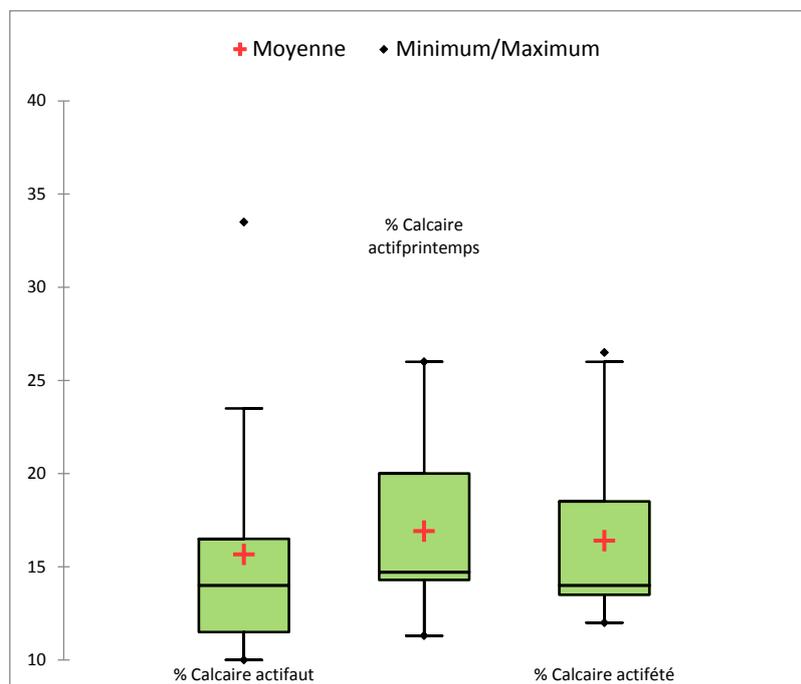


Figure 4.102 : Box plot pour la variable % CaCO_3 actif saisonnièrement.

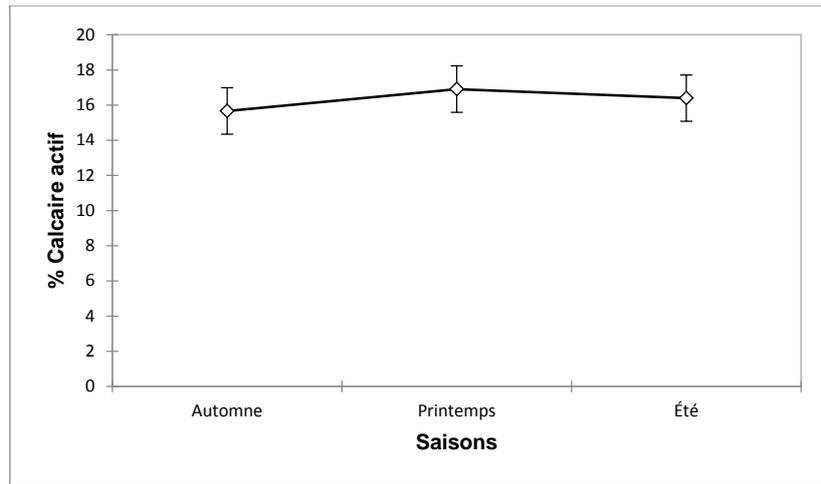


Figure 4.103 : Variation des moyenne % CaCO₃ actif saisonnièrement.

C. Fluctuations Annuelles : Pour la % CaCO₃actif, la moyenne est de [13,1±0,4] [14,3±0,3] et de [21,4±1,1]% pour l'année 2014, 2015 et 2016 (Tab. 4.1). La différence entre les moyennes des campagnes d'étude est très significative (Fobs = 140,961; ddl=2 et p<0,00) (Tab. 4.70 et Fig. 4.104). La Valeur critique du d de Tukey: 3,352 montre 2 classes de % CaCO₃actif Camp2016(a)>Camp2015 et Camp2014 (b). Ainsi l'année 2016 est la campagne ou le % CaCO₃actif est le plus élevée (Tab. 4.71 et Fig. 4.105).

Tableau 4.70 : Anova pour la variable % CaCO₃ actif pour les 3 campagnes d'étude.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Campagnes	2	1819,445	909,723	140,961	< 0,0001

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

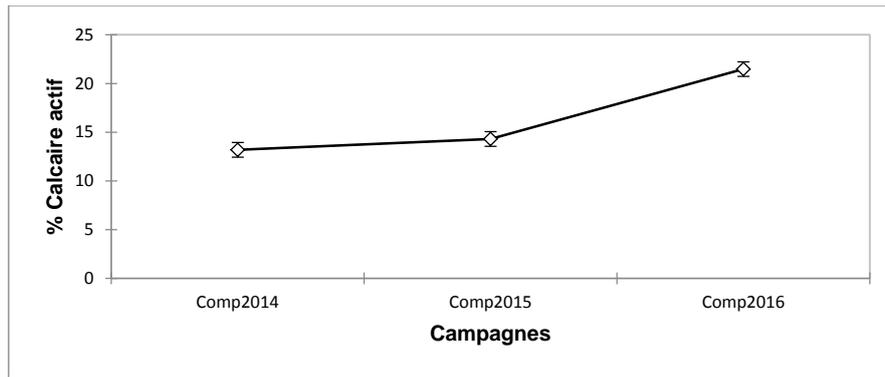


Figure 4.104 : Variation des moyennes du % CaCO₃actif dans 3 campagnes d'étude.

Tableau 4.71 : Classification des campagnes d'étude selon le % CaCO₃actif (Test de Tukey).

% Calcaire actif		
Camp2016	21,478 a	
Camp2015	14,307 b	
Camp2014	13,193 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

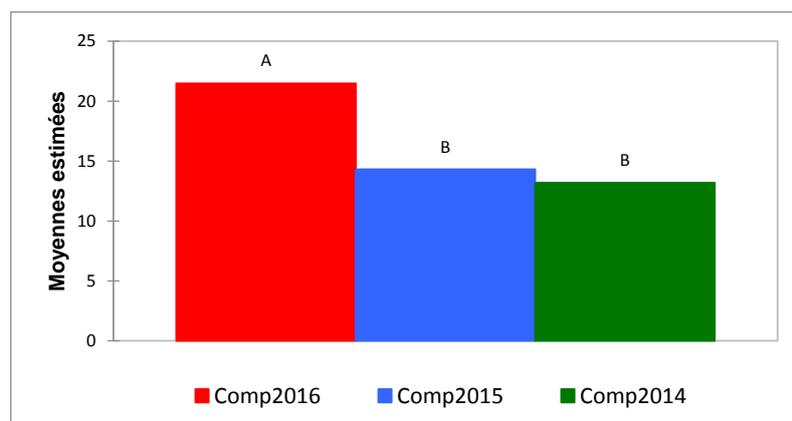


Figure 4.105 : Classification des campagnes d'étude selon la % CaCO₃actif (Test de Tukey).

Le calcaire actif peut exercer des influences défavorables, sa teneur est déterminée quand le sol contient plus de 5 % de calcaire total. Le calcaire actif bloque certains éléments indispensables aux plantes comme le fer et divers oligoéléments (notamment ; manganèse, zinc, cuivre), il provoque alors des carences qui se manifestent par des symptômes foliaires comme par exemple la chlorose (une décoloration plus ou moins prononcée des feuilles dans le cas de la carence en fer). A cet effet, le dosage du calcaire actif est effectué (Mathieu et Pieltain, 2009).

Dans notre étude, la moyenne globale du % CaCO_3 actif pour les 3 années d'expérimentation est de $[16,32 \pm 0,7]$ % CaCO_3 actif, le minimum est de 10,0 % CaCO_3 actif et le maximum est de 33,5 % CaCO_3 actif.

Il a été noté un effet saison des 3 campagnes (automne (Tab. 4.64 et Fig. 4.93), printemps (Tab. 4.66 et Fig. 4.94) et été (Tab. 4.68 et Fig.4.99)) et un effet année (Tab. 4.70 et Fig. 4.104). Toutefois, l'apport de BRF et du fumier, n'a pas affecté le % CaCO_3 actif du sol étudié. Ceci peut être expliqué par le fait que l'évaporation et l'évapotranspiration sont accrues dans les climats semi-arides et arides, ce qui contribue à l'accroissement du taux des cations du sol parmi lesquels du calcium Ca^{2+} (Ait M'hamed Ouahmed, 2016).

4.1.8. La porosité du sol (% P):

Le tableau 4.72, donne les statistiques élémentaires de la porosité (% P), de la matière organique (%MO), carbone organique (%C), azote total (%N) et le rapport de fertilité C/N. Pour ces variables les mesures ont été effectuées au début et à la fin de l'expérimentation.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.72 : Intervalles de confiance à 95% pour les moyennes des variables physicochimiques déterminées initialement et en fin de l'expérimentation (% P, %MO, %C, %N et C/N) dans les parcelles étudiées et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses.

Parcelles	%P		%Mo		%C		%N		C/N	
	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final	Initial	Final
T	[31±0] (31-31)	[28,6±8,4] (21-36)	[3,5±0,9] (2,5-4)	[3,0±1,9] (2,8-3,1)	[2,0±0,5] (1,4-2,3)	[1,7±0,1] (1,6-1,8)	[0,16±0,03] (0,13-0,19)	[0,17±0,0] (0,16-0,18)	[12,0±1,0] (11,2-13,0)	[10,1±0,8] (9,6-10,9)
BRF	[36±0] (36-36)	[31,3±18,9] (12_41)	[3,8±1,3] (2,4-4,6)	[3,1±0,3] (2,7-3,4)	[2,2±0,8] (1,4-2,7)	[1,8±0,2] (1,6-2,0)	[0,16±0,0] (0,12-0,19)	[0,19±0,0] (0,18-0,19)	[13,4±1,8] (11,6-14,9)	[9,4±0,8] (8,7-10,2)
BRFF	[39,0±0,0] (39-39)	[49,6±21,9] (37-72)	[3,0±0,3] (2,7-3,2)	[3,4±0,7] (2,8-4,0)	[1,7±0,1] (1,6-1,8)	[2,0±0,41] (1,6-2,3)	[0,15±0,00] (0,12-0,19)	[0,19±0,00] (0,18-0,21)	[11,7±2,2] (9,7-13,7)	[10,3±2,7] (9,5-13,0)
BRFV	[32±0] (32-32)	[55±3,3] (52-28)	[2,5±3,3] (2,2-2,8)	[3,7±0,20] (3,5-3,8)	[1,5±0,1] (1,3-1,6)	[2,1±0,1] (2,2-2,4)	[0,17±0,05] (0,12-0,20)	[0,18±0,03] (0,15-0,22)	[9,1±1,8] (7,9-11)	[11,8±2,7] (14,5-9,8)
BRFFV	[32±0,0] (32-32)	[50,6±21,8] (32-73)	[2,8±0,3] (2,6-3,1)	[3,5±0,1] (3,4-3,6)	[1,6±0,1] (1,5-1,8)	[2,0±0,0] (2,0-2,1)	[0,17±0,03] (0,14-0,19)	[0,19±0,01] (0,18-0,21)	[9,8±1,1] (8,9-10,9)	[10,6±1,1] (9,5-10,8)

Ainsi, la moyenne de la % porosité initiale est de [31±0] ; [36±0] ; [39,0±0,0] [32±0] et de [32±0] % et en fin de l'essai elle est de [28,6±8,4] ; [31,3±18,9] ; [49,6±21,9] ; [55±3,3] et [50,6±21,8] % respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFV et BRFFV (Tab. 4.72). La différence entre les moyennes des placettes au début et en fin de l'essai n'est pas significative (Tab. 4.73 et Fig. 4.106). En revanche, la différence est significative ($F_{obs} = 5,624$, ddl = 1 et $p < 0,05$) entre la moyenne de %P au début et à la fin de l'expérimentation, la moyenne de la porosité du sol en fin de processus (43,1 %) est supérieure à celle du début de l'expérience (34,0 % P) (Fig. 4.107).

Tableau 4.73 : Anova pour la variable % Porosité.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Placettes	4	993,133	248,283	2,265	0,098
Processus	1	616,533	616,533	5,624	0,028
Placettes*Processus	4	911,133	227,783	2,078	0,122

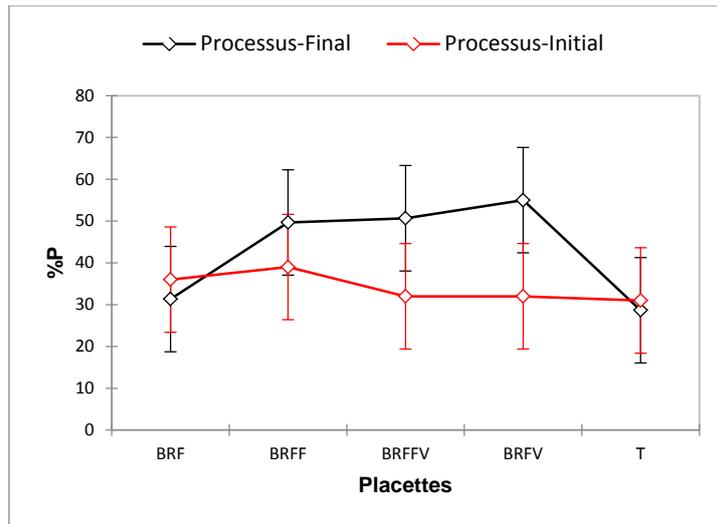


Figure 4.106 : Variation des moyennes de % P des placettes étudiées au début et fin de l'essai.

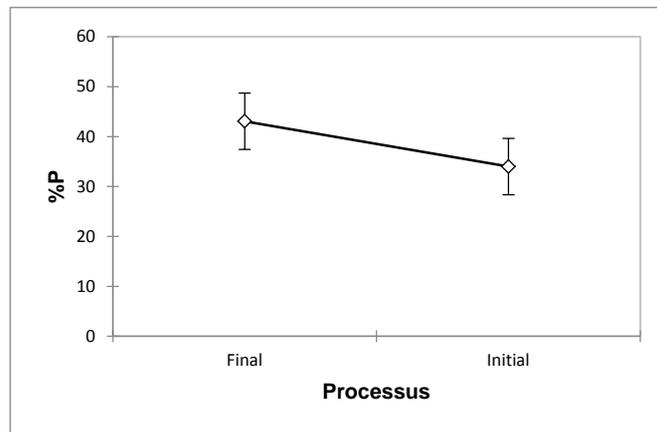


Figure 4.107 : Variation des moyennes de %P initiale et Finale au cours de l'expérimentation.

Tableau4.74 : Classement de la porosité (%P) des sols (Anonyme, 1974) :

Porosité	Classe
$P < 35\%$	Très mauvaise
$35\% < P < 40\%$	Mauvaise.
$40\% < P < 45\%$	Moyenne.
$45\% < P < 50\%$	Bonne
$P > 50\%$	Très Bonne

Il est à noter que la porosité (%) du sol étudié passe de la classe très mauvaise (34,0 %) à la classe moyenne (43,1 %) (Tab. 4.74). Ainsi, il y a eu une amélioration significative de la qualité de la porosité (%). L'apport de BRF, fumier et la présence de vers de terre anécique a eu un effet améliorateur de porosité du sol (Fig. 4.106).

Nos résultats sont en accord avec ceux d'Alabandan et Adeoye, (2009) qui ont noté que l'application d'amendements organiques augmente la porosité du sol. Par ailleurs, Bottinelli, (2010) a indiqué aussi une augmentation significative de la porosité après apport d'effluent d'élevage. Selon, Jemai, (2011), l'apport d'amendement au sol élève la porosité totale et ceci est dû aux réarrangements des particules et à l'augmentation de l'agrégation.

En fin de l'expérimentation, il est à observer aussi que la porosité dans les placettes est de $[28,6 \pm 8,4]$; $[31,3 \pm 18,9]$; $[49,6 \pm 21,9]$; $[55 \pm 3,3]$ et $[50,6 \pm 21,8]$ % respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV (Fig.). Ainsi, d'après le tableau 4.74, en fin de l'étude, le sol BRF (31%) reste dans la classe de mauvaise porosité, ce qui indique que l'apport du BRF tout seul ne semble pas améliorer la porosité du sol. Par contre pour le sol BRFF (49,6%) la porosité est devenue moyenne (Tab. 4.72), ce qui montre que l'apport de BRF avec du fumier améliore la porosité du sol. Nos résultats sont corroborés avec ceux de Mando, (1997) qui a noté que l'ajout de mulch seul n'a pas d'effet sur la porosité du sol, En revanche, N'Dayegamiye *et al.*, (2005) indiquent que l'apport de compost de résidus ménagers à un effet sur la porosité du sol. Par ailleurs, les placettes BRFFV (55,0%) et BRFFV (50,6%), la porosité est très bonne (Tab. 4.72), ce qui confirme que la présence des vers de terre contribue à l'amélioration de la porosité du sol. En effet, les vers de terre sont connus pour créer des macropores stables et continus (Wilkinson, 1975 et Al Addan, 1992). Selon Bachelier (1978), L'activité biologique des vers de terre accroît grandement la porosité des sols qui peut passer de 30-40 % à 60-70 %.

4.1.9 Carbone total (% C) et Matière Organique (%MO) :

A. Carbone total (% C) : pour la moyenne du taux de carbone totale initiale est de $[2,0 \pm 0,5]$; $[2,2 \pm 0,8]$; $[1,7 \pm 0,1]$; $[1,5 \pm 0,1]$ et de $[1,6 \pm 0,1]$ %C et en fin d'expérience est de $[1,7 \pm 0,1]$; $[1,8 \pm 0,2]$; $[2,0 \pm 0,4]$; $[2,1 \pm 0,1]$ et de $[2,0 \pm 0,0]$ %C respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV (Tab. 4.72). La différence entre les moyennes % C des placettes au début et en fin de l'essai est significative ($F_{obs} = 0,988$, ddl = 4 et $p < 0,05$) (Tab. 4.75 et Fig. 4.108). Ce qui signifie que le taux de carbone organique est différent d'une placette à l'autre. Il y eu un enrichissement de carbone organique après apport de biodéchets. Ainsi, il est à

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

noter (Fig. 4.109), que %C en fin d'expérience à augmenter significativement dans BRFV, BRFFV et BRFF par rapport au début de l'essai. En revanche, la différence n'est pas significative entre la moyenne de % C au début et à la fin de l'expérimentation. La moyenne de la % C du sol en fin de processus (1,96 %C) est légèrement plus élevée par rapport au début de l'expérience (1,84 % C) (Fig. 4.109).

Tableau 4.75 : Analyse de la variance pour la variable %C.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Placettes	4	0,097	0,024	0,233	0,916
Processus	1	0,102	0,102	0,988	0,332
Placette*Processus	4	1,241	0,310	2,996	0,043

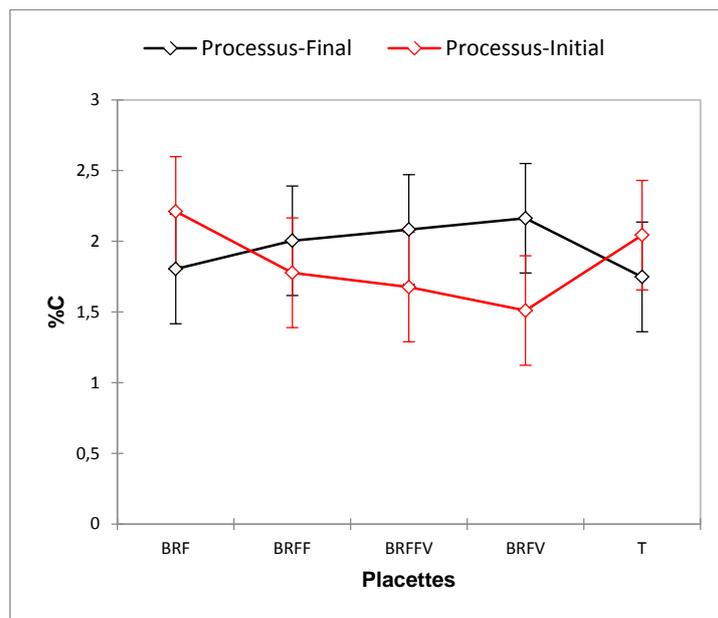


Figure 4.108 : Variation des moyennes de %C des placettes étudiées au début et fin de l'expérimentation.

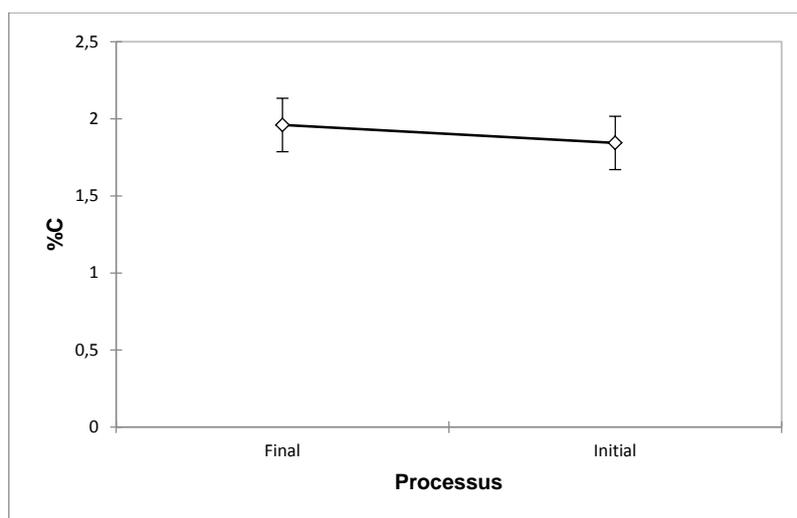


Figure 4.109 : Variation des moyennes de % C initial et Final au cours de l'expérimentation.

B. La matière organique (% MO):

Pour la moyenne de % MO initiale est de [3,5±0,9] ; [3,8±1,3] ; [3,0±0,3] ; [2,5±3,3] et de [2,8±0,3] % MO et en fin de l'expérimentation est de [3,0±1,9] ; [3,1±0,3] ; [3,4±0,7] ; [3,7±0,2] et [3,5±0,1] %MO dans respectivement T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV (Tab. 4.72). La différence entre les moyennes %MO des placettes au début et en fin de l'essai est significative (Fobs= 2,996, ddl =4 et p<0,05) (Tab. 4.76 et Fig. 4.110). Ce qui signifie que la matière organique est différente d'une placette à l'autre et au cours du processus. Ainsi, il est à observer Fig. 4.111 que le %MO en fin d'expérience à augmenter significativement dans BRFFV, BRFFV et BRFF par rapport au début de l'essai.

Tableau 4.76 : Analyse de la variance pour la variable %MO.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Placettes	4	0,286	0,071	0,233	0,916
Processus	1	0,303	0,303	0,988	0,332
Placettes*Processus	4	3,670	0,918	2,996	0,043

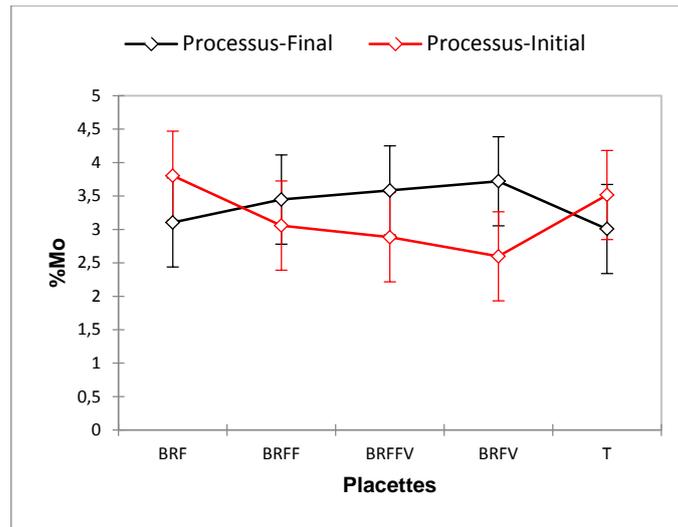


Figure 4.110 : Variation des moyennes de % MO des placettes étudiées en fonction du temps (début et fin l'expérimentation).

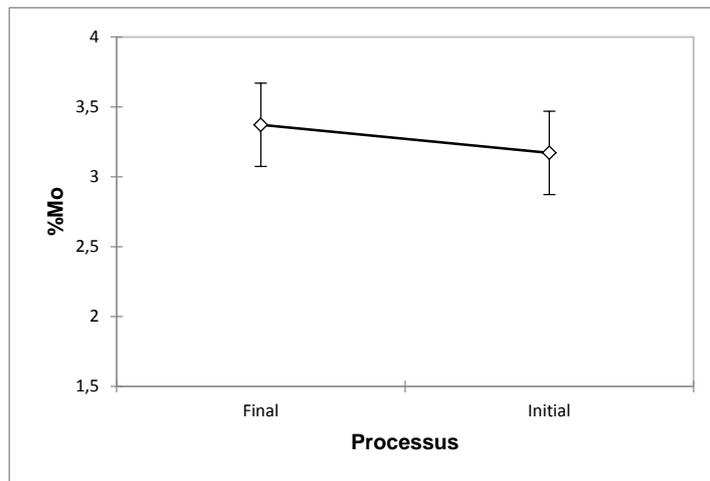


Figure 4.111 : Variation des moyennes de % MO initiale et Finale au cours l'expérimentation.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.77 : Echelle d'interprétation de M.O (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	Sol bien pourvu en M.O
M.O > 4	Teneur élevée en M.O

Au début de l'expérimentation le % C est de 1,84 % et en fin d'expérience est de 1,96 % (Tab. 4.109). Selon, Soltner, 1992, ces taux indiquent un sol bien pourvu en % M.O (Tab. 4.77). Par ailleurs, nous avons remarqué en fin de l'essai, que la présence de vers de terre dans le BRF et de fumier, induisent une faible élévation du % C dans BRFFV, BRFFV et BRFF (Fig. 4.108) et de la matière organique (Fig. 4.110). En effet, les vers de terre contribuent largement à la minéralisation de la matière organique (M.O) par leur action de fragmentation de la matière organique (Lee, 1985). Par ailleurs les activités des lombriciens (locomotion, rejet de fèces) accélèrent les processus de décomposition en facilitant le contact entre la matière organique et les microorganismes (Binet, 1993). Pour, Montaigne *et al.*, (2018), la présence des déchets organiques, influence l'activité biologiques (microflore et pédofaune). Elle stimule la minéralisation de la matière organique et contribue à l'accroissement des éléments nutritives (Montaigne *et al.*, 2018).

Nous avons noté aussi en fin d'expérience une faible augmentation du taux carbone total (Fig. 4.109) et de la matière organique (Fig. 4.111), toutefois % C ou %MO reste dans la classe bien pourvue de matière organique (Tab. 4.77). Nos résultats sont en accord avec ceux de N'Dayegamiye et Dubé (1986) qui ont indiqués que l'apport de BRF augmente légèrement le taux de C total. Selon, aussi Allison, (1973 in Tremblay et Beauchamp, 1998), les amendements organiques riches en cellulose et en lignine, tels que les bois raméaux fragmentés (BRF), constituent une source de carbone intéressante pour les sols agricoles. Gasser *et al.*, (1995), ont observé une augmentation de carbone suite à l'application des résidus ligneux. BA *et al.*, (2014), ont noté une augmentation du taux de carbone dans les

sols qui ont reçu le BRF de *Guiera senegalensis* J. F. Gmel et de *Piliostigma reticulatum* par rapport au témoin. Barthès *et al.*, (2014), ont observé que l'apport de BRF modifie de légers changements du taux de carbone total. Robert *et al.*, (2014), ont indiqué une augmentation du taux de carbone et de la matière organique suite à l'application de BRF. Montaigne *et al.*, (2018), ont indiqué que l'utilisation de BRF comme amendement contribue à l'augmentation de la fertilité du sol. Ainsi Zaater *et al.*, (2018), sur une étude de l'influence de BRF sur les paramètres physico-chimiques et le taux de germination de la pomme de terre où ils ont utilisé un mélange de deux espèces d'arbres : *Lucaena leucocephala* et *Olea europaea*, ils ont remarqué une augmentation dans le taux de carbone et de la matière organique.

4.1.10. L'azote total :

Les moyennes de % Nt est de 0,184 ; 0,179 ; 0,176 ; 0,175 et 0,170 % respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV (Fig. 4.112). Il n'existe pas d'effet placettes. La variation entre les moyennes n'est pas significative (Tab. 4.78).

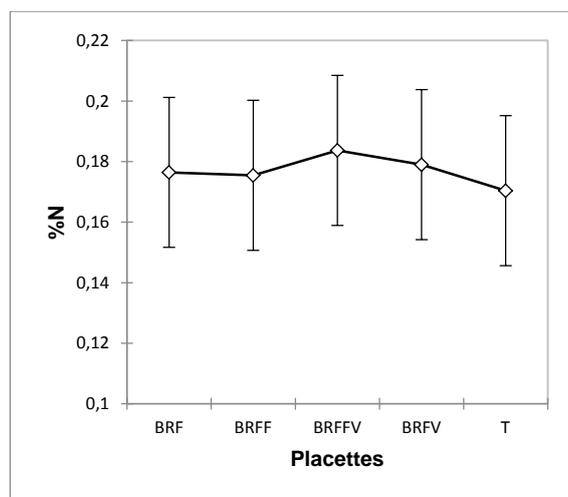


Figure 112 : Variation des moyennes du %Nt dans les placettes étudiées.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.78 : Anova pour la Variable %Nt.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Placettes	4	0,001	0,000	0,169	0,952
Processus	1	0,004	0,004		0,042
Placettes*Processus	4	0,001	0,000	0,343	0,846

En outre, la moyenne de % N initial est de $[0,16 \pm 0,03]$; $[0,16 \pm 0,0]$; $[0,15 \pm 0,000]$, $[17 \pm 0,05]$ et $[0,17 \pm 0,03]$ %N et en fin du processus de $[0,17 \pm 0,0]$; $[0,19 \pm 0,0]$; $[0,19 \pm 0,0]$; $[0,18 \pm 0,03]$ et $[0,19 \pm 0,01]$ %N respectivement dans respectivement T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes %Nt des placettes au début et en fin de l'essai n'est pas significative.

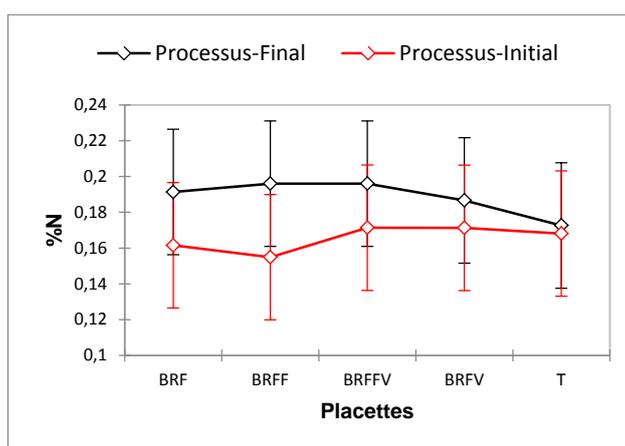


Figure 4.113 : Variation des moyennes entre les moyennes des placettes d'étude et le processus.

En revanche, la moyenne au début de l'expérimentation est de $[0,17 \pm 0,01]$ et en fin d'essai est de $[0,19 \pm 0,01]$. La différence entre les moyennes est significative ($F_{obs} = 4,716$, $ddl = 4$ et $p < 0,05$) (Tab. 4.78 et Fig. 4.114). Il y a un effet temps. Ce qui signifie que la matière organique s'est décomposée au fil des 3 années d'expérience. Ainsi, il est à observer (Fig 4.114) que %N en fin d'expérience a augmenté significativement de 12 % par rapport au début de l'essai.

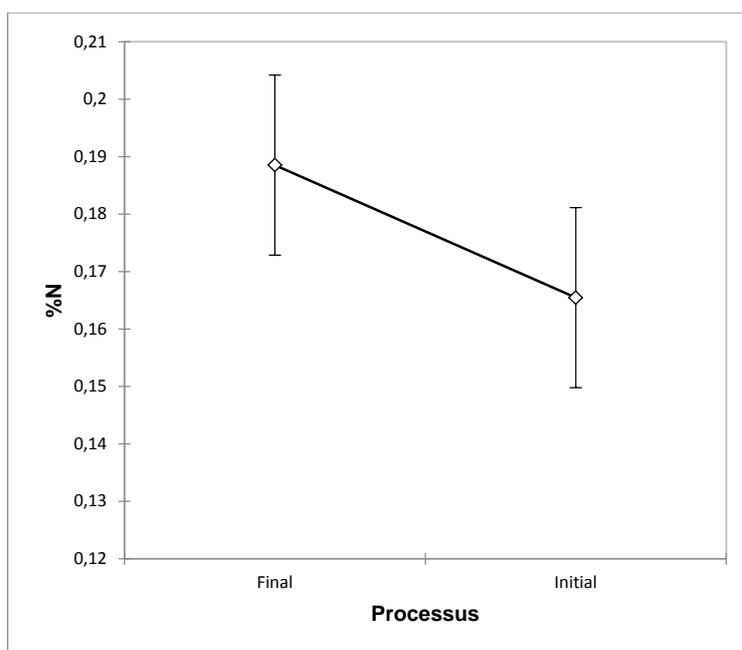


Figure 4.114 : Variation des moyennes de Nt initiale et finale au cours de l'expérimentation.

Tableau 4.79 : Echelle d'interprétation de l'azote total (%N) (Soltner, 1992).

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

Toutefois, malgré cette augmentation du % Nt, le sol reste comme à l'initial dans la classe des sols riches en azote (Tab. 4.79) (Soltner, 1992). N'Dayegamiye et Dub, (1986) notent que l'apport du BRF seul ou avec du lisier pendant la 1^{ère} année d'expérimentation n'augmente pas, mais la deuxième année il y a eu une élévation de 14 % pour les coupeaux de BRF et de 29 % dans les placettes avec du BRF et du lisier.

N'Dayegamiye et Angers, (1993) observent une augmentation significative du taux d'azote total avec l'apport de BRF. Lalande *et al.*, (1998) rapportent que les sols traités avec BRF montrent une augmentation du taux d'azote totale, la deuxième année mais pas la première. Tremblay et Beauchamp, (1998), ont indiqué une augmentation de l'azote total suite à l'application de BRF. Soumare *et al.*, (2002) ont montré que l'apport de BRF contribuent à

l'accroissement du taux d'azote total. Ba *et al.*, (2014), en utilisant 2 types d'espèce de BRF ont observé une augmentation de % Nt avec l'espèce *Guiera senegalensis* J. F. Gmel et une diminution avec *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst. Par ailleurs, Robert *et al.*, (2014), ont indiqué une augmentation du taux d'azote total suite à l'application de BRF. Ainsi Zaater *et al.*, (2018) sur une étude de l'influence de BRF sur les paramètres physico-chimiques et le taux de germination de la pomme de terre où ils ont utilisé un mélange de deux espèces d'arbres : *Lucaena leucocephala* et *Olea europaea*, ils ont remarqué une augmentation dans le taux de l'azote total.

Bouajila et Sanaa, (2011), ont indiqué que l'utilisation du fumier augmente le taux d'azote total dans le sol, Des résultats similaires avec du fumier ont été signalés par d'autres auteurs (Alabadan *et al.*, 2009 ; Jemai *et al.*, 2011 ; Nagar *et al.*, 2016 ; Biaoou *et al.*, 2017).

D'autres chercheurs ont également rapporté que l'ajout des amendements organiques contribuent efficacement à l'augmentation du taux d'azote total (Hernando *et al.*, 1989 ; Quintern *et al.*, 2006 ; Melero *et al.*, 2006 ; Mbarki *et al.*, 2008 ; Achiba *et al.*, 2009 ; Killi *et al.*, 2013 Agegnehu *et al.*, 2015 ; Gwenzi *et al.*, 2016).

4.1.11. Le rapport C/N :

Concernant la moyenne C/N, il est au début de $[12,0 \pm 1,0]$; $[13,4 \pm 1,8]$; $[11,7 \pm 2,2]$; $[9,1 \pm 1,8]$; $[9,8 \pm 1,1]$ et en fin de l'expérimentation de $[10,1 \pm 0,8]$; $[9,4 \pm 0,8]$; $[10,3 \pm 2,7]$; $[11,8 \pm 2,7]$ et de $[10,6 \pm 1,1]$ dans respectivement T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV (Tab. 4.72). La différence entre les moyennes C/N des placettes au début et en fin de l'essai est significative ($F_{obs} = 1,826$ ddl = 4 et $p < 0,05$) (Tab. 4.80 et Fig. 4.115). Ce qui signifie que le rapport C/N est différent d'une placette à l'autre. Ainsi, il est à observer Fig. 4.115 que le rapport C/N en fin d'expérience a augmenté significativement dans BRFFV, BRFFV par rapport au début de l'essai. En revanche, la différence n'est pas significative entre la moyenne de C/N au début et à la fin de l'expérimentation. La moyenne de C/N en fin de processus (10,5) est légèrement plus basse par rapport au début de l'expérience (11,2) (Fig. 4.116).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.80 : Anova pour la variable C/N.

Source	Somme		Moyenne des carrés	F	Pr > F
	DDL	carrés			
Placettes	4	5,550	1,387	0,548	0,702
Processus	1	4,620	4,620	1,826	0,192
Placettes*Processus	4	41,552	10,388	4,106	0,014

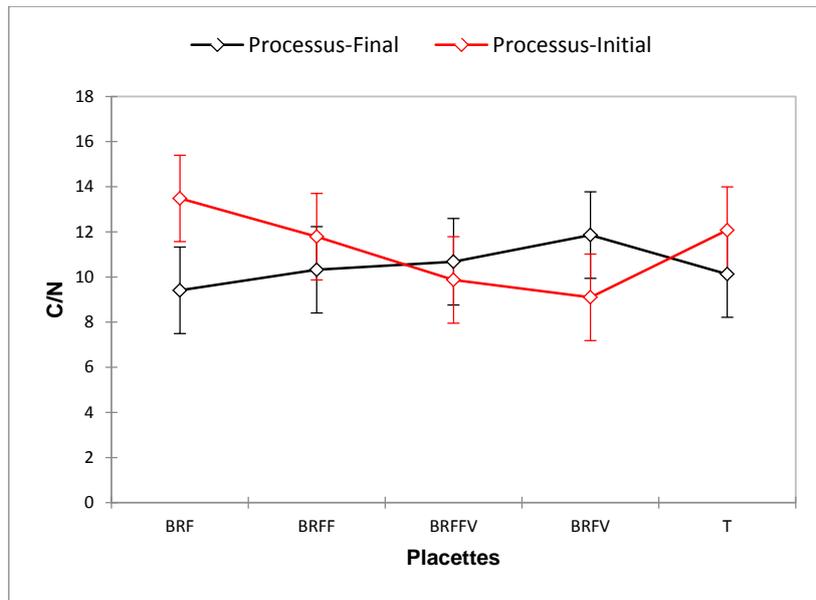


Figure 4.115 : Variation des moyennes de C/N des placettes étudiées au début et fin l'expérimentation.

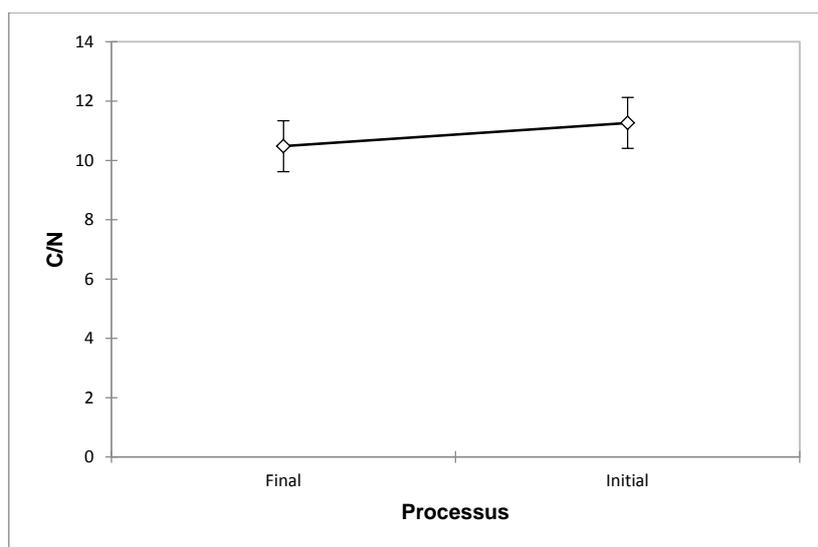


Figure 4.116 : Variation des moyennes de C/N initial et Final au cours de l'expérimentation.

D'après Dommergue et Manganot, (1970) et Davy (2011), le rapport C/N d'un sol biologiquement actif est généralement inférieur à 12. En revanche, Werquin, (2006) indique que pour un sol actif, le rapport C/N se situe souvent entre 10 et 15. Ainsi, selon, Werquin, (2006), le rapport C/N obtenu dans cette étude au début ou à la fin l'étude est qualifié de bon (Tab. 4.72).

Nous avons aussi noté une légère augmentation du C/N dans et BRFFV et BRFV (Fig. 4.115). Ainsi, N'Dayegamiye et Dubé, (1986) trouvent que l'apport BRF induit des accroissements du rapport C/N du sol. N'Dayegamiye et Angers, (1993), indiquaient que l'apport de BRF augmente légèrement le rapport C/N. Par ailleurs, Fall Ba *et al.*, (2014) ont trouvé que les rapports C/N sont significativement plus élevés dans les sols amendés avec du BRF par rapport au témoin. Agegnehu *et al.*, (2015), mais pour Zaater *et al.*, (2018) sur une étude de l'influence de BRF sur les paramètres physico-chimiques et le taux de germination de la pomme de terre ils ont indiqué que l'ajout de BRF d'un mélange de deux espèces d'arbres : *Lucaena leucocephala* et *Olea europaea*, ils ont remarqué une diminution dans le rapport C/N. ont rapporté que l'ajout des amendements organiques augmente légèrement le rapport C/N. Par contre, Tremblay et Beauchamp, (1998) à la suite de l'incorporation de BRF au sol, ont noté que le rapport C/N n'a pas montré de différence significative entre les différents traitements d'amendement et le sol non amendé. Pour ces auteurs il faut au minimum 2 années d'expérimentations pour voir des changements du C/N.

4.2. Compartiment biologique :

4.2.1. Les Champignons microscopiques étudiés :

A. Taxonomie :

Il a été répertorié 5 espèces de champignons : *Aspergillus niger*; *Penicillium sp1*; *Penicillium sp2*; *Fusarium sp1*; *Fusarium sp2*. Dont 3 genre : *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium* (Fig 4.117, 4.118 et 4.119).

Le genre *Aspergillus* (Fig. 4.117) fait partie des champignons filamenteux, de type moisissure. Sur l'aspect macroscopique, la colonie est généralement sous forme duveteuse. Le mycélium est blanchâtre, la surface est épaisse, lisse et uniforme (Leghlimi, 2013). Il contient plus de 250 espèces répertoriées dans le monde (Hibbett *et al.*, 2007).

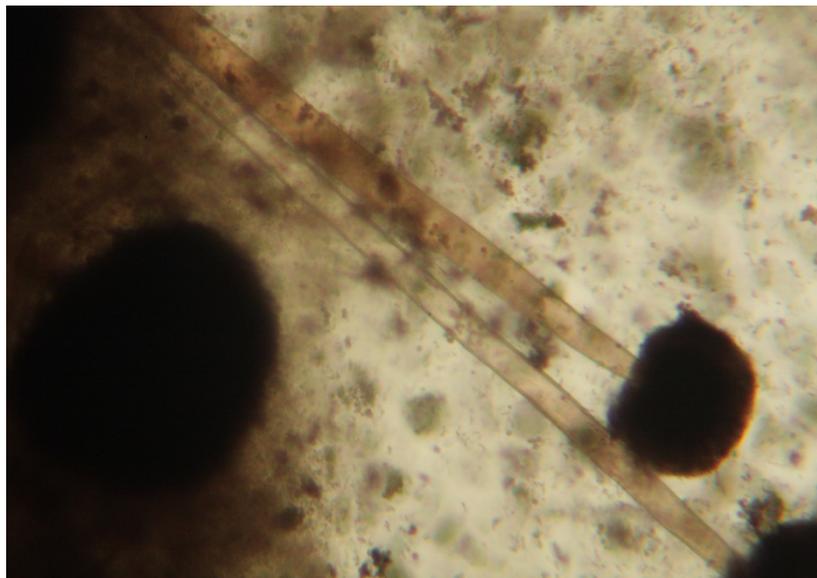


Fig. 4.117: Genre *Aspergillus* (Photo prise par Kerrouche, 2015).

Le genre *Penicillium* (Fig. 4.118), fait partie des champignons filamenteux, de type moisissure. Sur l'aspect macroscopique ; la colonie a une forme velouté mais surélevé et floconneux au centre souvent zoné granuleuse. Le mycélium est blanchâtre à gris, la surface est plane (Leghlimi, 2013).

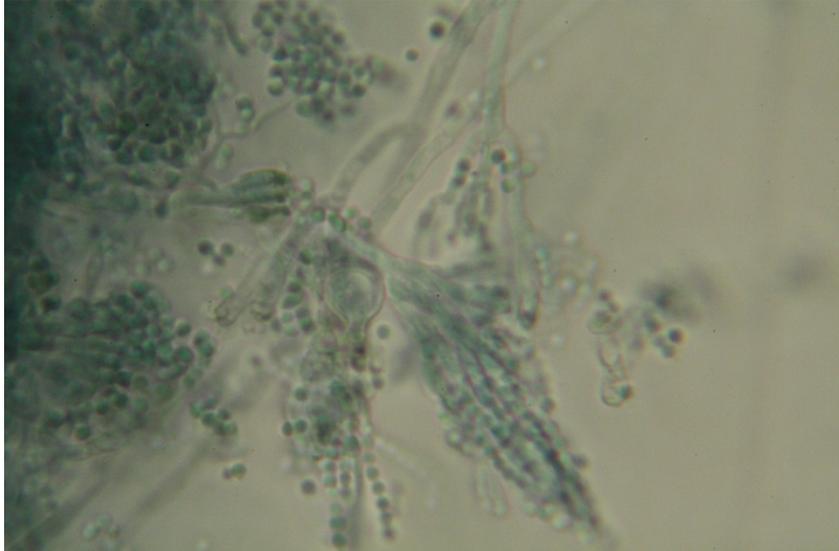


Fig. 4.118: Genre *Penicillium* (Photo prise par Kerrouche, 2015).

Le *Fusarium* (Fig.4.118) est un genre qui fait partie de champignons imparfaits. Sur l'aspect macroscopique ; la colonie est velouté, le mycélium est blanchâtre, la surface est épaisse et uniforme (Leghlimi, 2013).

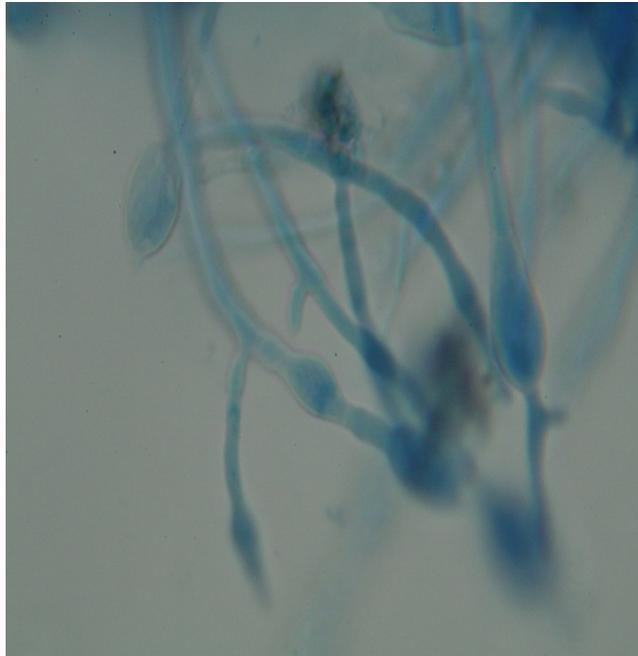


Fig. 4.119: Genre *Fusarium* (Photo prise par Kerrouche, 2015).

B. Evolution des champignons :

1. Fréquence :

La figure 4.120 montre les genres *Aspergillus*, *Fusarium* et *Penicillium* ont une fréquence relative respectivement de 41, 32 et 27 %.

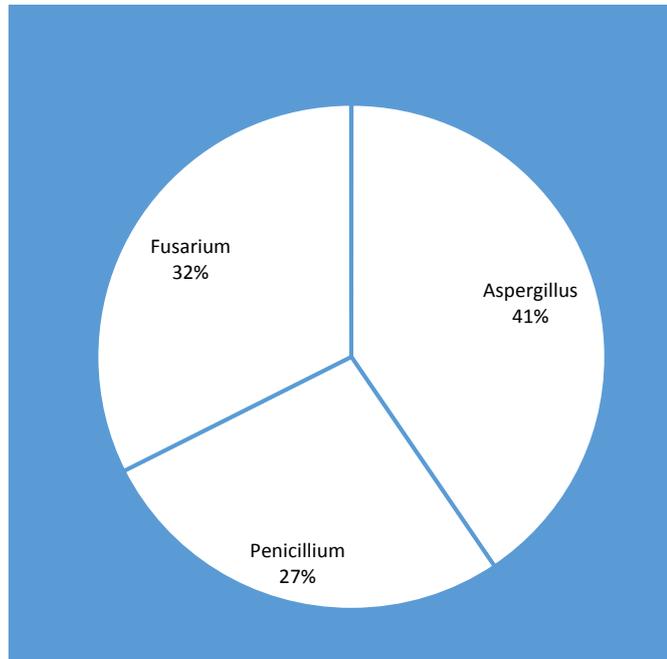


Figure 4.120 : Fréquence relative (%) des genres de champignons microscopiques déterminés dans les différentes placettes étudiées.

Concernant les espèces, la figure 4.121 indique que *Aspergillus niger*; *Penicillium sp1*; *Penicillium sp2*; *Fusarium sp1*; *Fusarium sp2* ont une fréquence relative respectivement de 40,5; 19,3; 7,7; 13,5; 18,9 % . Ainsi, *Aspergillus niger* est le champignon microscopique le plus présent par contre le *Penicillium sp2* est le moins présent.

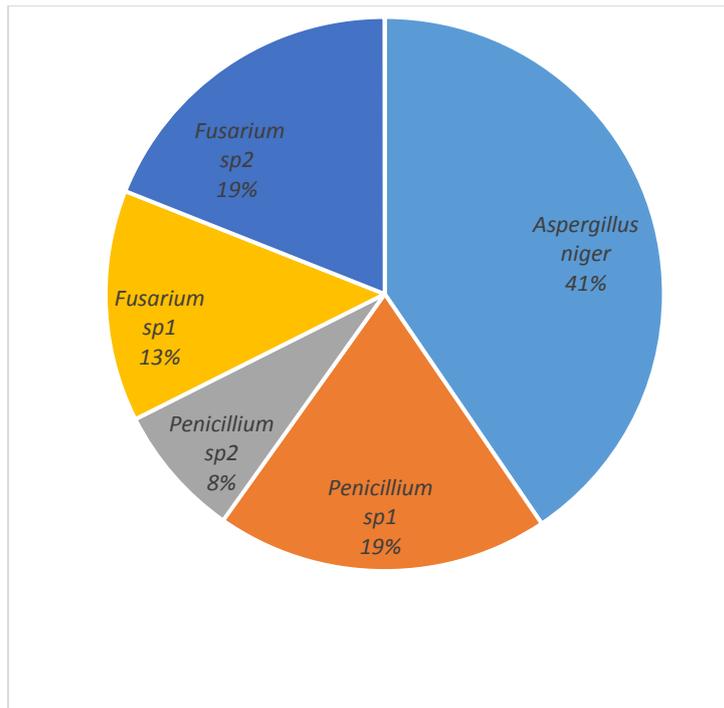


Figure 4.121 : Fréquence relative (%) des espèces de champignons microscopiques déterminés dans les différentes placettes étudiées.

2. Densité (ufc. x 10⁴ g⁻¹ sol) :

a. Selon les placettes :

Le tableau 4.81 donne les moyennes estimées de la densité (ufc. x 10⁴ g⁻¹ sol) des micromycètes déterminées.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.81 : Intervalle de confiance à 95% pour les moyennes estimées densité (ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol) pour *Aspergillus niger*; *Penicillium sp1*; *Penicillium sp2*; *Fusarium sp1*; *Fusarium sp2* et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses dans les placettes étudiées.

	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Penicillium sp1</i>	<i>Penicillium sp2</i>	<i>Fusarium sp1</i>	<i>Fusarium sp2</i>
T	[5,8±1,8] (0-11)	[0,4±0,2] (0-1)	[0,6±0,5] (0-3)	1,8±0,6 (0-3)	1,4±1 (0-6)
BRF	[14,2±7] (3-46)	[0,4±0,3] (0-2)	[0,8±0,7] (0-4)	[4,2±2,6] (0-16)	[0,8±0,4] (0-2)
BRFF	[14±6,9] (1-45)	[1±0,8] (0-5)	[3±2,2] (0-13)	[1,2±0,6] (0-3)	[4±1,5] (0-8)
BRFV	[1,8±0,9] (0-6)	[20±16,4] (0-95)	[2,8±1,3] (0-7)	[5,4±2,7] (0-17)	[11,2±5,3] (0-34)
BRFFV	[10,4±6,2] (2-39)	[0,2±0,1] (0-1)	[1,6±0,9] (0-6)	[2,8±2,4] (0-14)	[4,2±1,8] (0-11)

Pour *Aspergillus niger* la moyenne de la densité est de [5,8±1,8] ; [14,2±7] ; [14±6,9] ; [1,8±0,9] et [10,4±6,2] ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFV et BRFFV (Tab. 4.81). La figure 4.118 montre que pour *Aspergillus niger* est présente dans toutes les placettes.

Toutefois au niveau de la placette BRFV la proportion est faible (4%) par rapport aux autres placettes.

Pour *Penicillium sp1* (Tab. 4.81) la moyenne de l'effectif est de [0,4±0,2] ; [0,4±0,3] ; [1±0,8] ; [20±16,4] et [0,2±0,1] ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFV et BRFFV. La figure 4.118 montre que pour *Penicillium sp1* est présente surtout dans BRFV (91%) et très faiblement dans les autres placettes.

Pour *Penicillium sp2* (Tab. 4.81) la moyenne de l'effectif est de ; [0,6±0,5] ; [0,8±0,7] ; [3±2,2] ; [2,8±1,3] et [1,6±0,9] ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFV et BRFFV. La figure 4.118 montre que pour *Penicillium sp2* est présente dans tous les placettes.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Pour *Fusarium sp1* (Tab. 4.81) la moyenne de l'effectif est $[1,8 \pm 0,6]$ $[4,2 \pm 2,6]$ $[1,2 \pm 0,6]$ $[5,4 \pm 2,7]$ et $[2,8 \pm 2,4]$ ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La figure 4.118 montre que pour *Fusarium sp1* est présente dans tous les placettes toutefois il est plus abondant dans BRFFV (35% de l'effectif).

Pour *Fusarium sp2* (Tab. 4.81) la moyenne de l'effectif est $[1,4 \pm 1]$; $[0,8 \pm 0,4]$; $[4 \pm 1,5]$; $[11,2 \pm 5,3]$ [et $4,2 \pm 1,8$] ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La figure 4.122 montre que pour *Fusarium sp2* est présente dans tous les placettes. Néanmoins, il est plus abondant dans BRFFV (52 % de l'effectif).

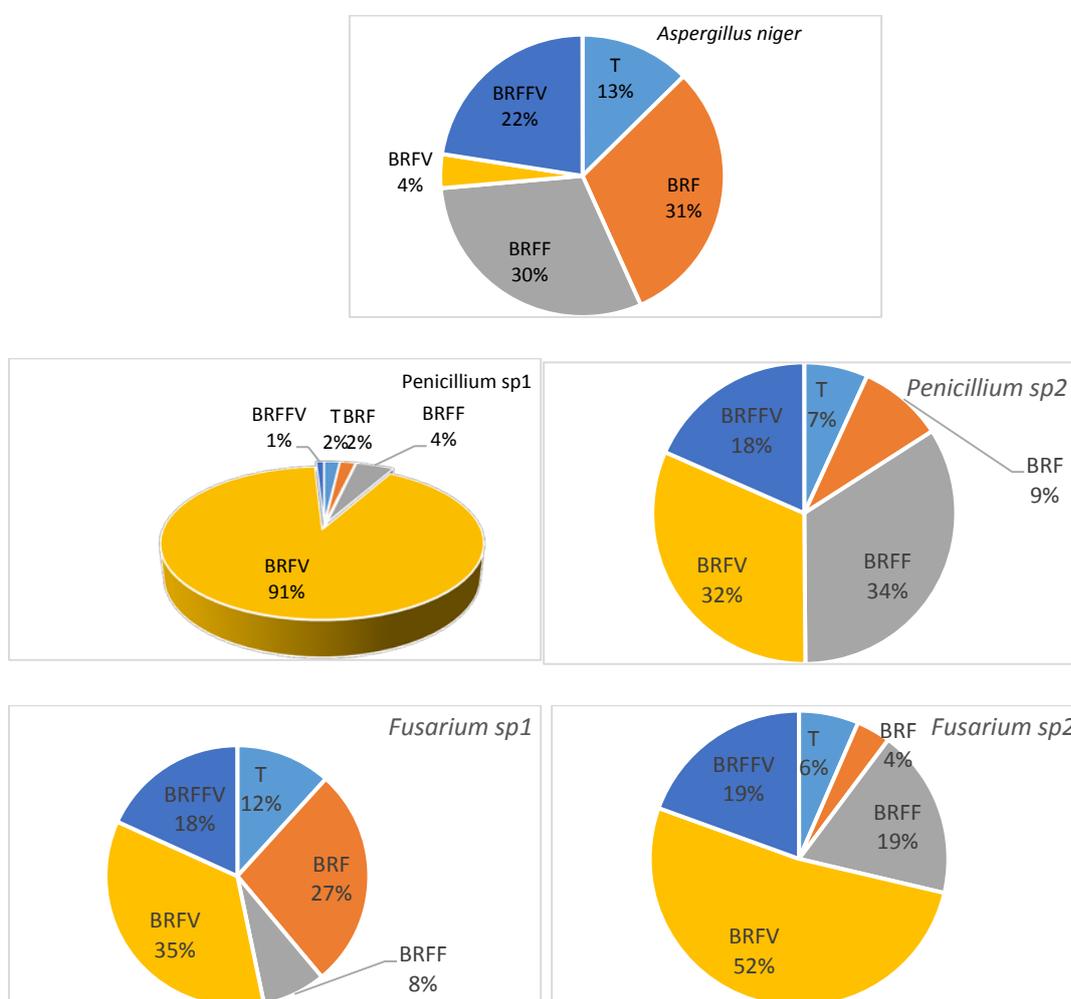


Figure 4.122 : Proportion (%) des espèces de champignons microscopiques déterminés dans les différentes placettes étudiées.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Nous notons que les 5 espèces de champignons microscopiques que nous avons déterminés, sont déjà présentes dans T. Toutefois l'apport du BRF stimule leur activité surtout dans le BRFFV en présence de vers de terre (Fig.4.123).

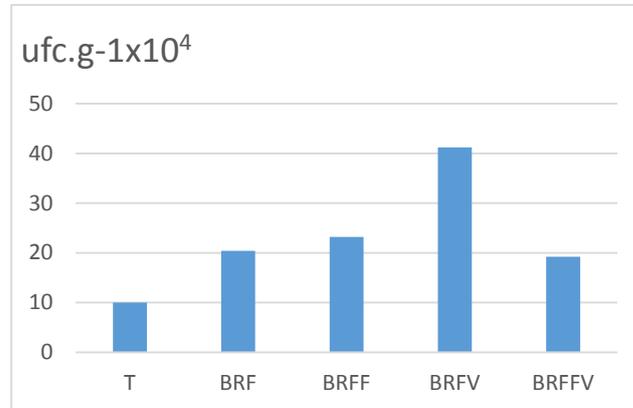


Figure 4.123 : Variation du nombre de germes (ufc.g-1x10^4) des champignons microscopiques déterminés dans les différentes placettes.

b. Selon les mois :

Le tableau 4.82, donne les statistiques élémentaires pour la variable densité des champignons microscopiques ($\text{ufc.g}^{-1} \times 10^4 \text{ sol}$) déterminés pendant le mois de mars, avril, mai, juin et novembre.

Tableau 4.82 : Intervalle de confiance à 95% pour les moyennes estimées densité (ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol) pour *Aspergillus niger*; *Penicillium sp1*; *Penicillium sp2*; *Fusarium sp1* et *Fusarium sp2* et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses pour les mois étudiés.

	<i>Aspergillus niger</i>	<i>Penicillium sp1</i>	<i>Penicillium sp2</i>	<i>Fusarium sp1</i>	<i>Fusarium sp2</i>
Mars	[21±9] (0-46)	[0,2±0,18] (0-1)	[1,4±1] (0-6)	[0,6±1] (0-3)	[6,8±6] (0-34)
Avril	[5,6±2] (0-12)	[20±16,4] (0-95)	[0,4±0,3] (0-2)	[4±2,8] (0-17)	[4,6±2,1] (0-13)
Mai	[4,2±1,4] (0-10)	[0,8±0,7] (0-4)	[1±0,4] (0-3)	[0,4±0,3] (0-2)	[2,8±1,1] (0-6)
Juin	[2,6±0,6] (0-4)	[0,8±0,3] (0-2)	[4,6±2,1] (0-13)	[7,2±2,8] (0-16)	[5±1,8] (0-11)
Novembre	[13±5,7] (4-39)	[0,2±0,1] (0-1)	[1,4±1,2] (0-7)	[3,2±0,9] (0-7)	[2,4±1] (0-6)

Pour *Aspergillus niger* (Tab.4.82) la moyenne de la densité est de [21±9] [5,6±2] [4,2±1,4] [2,6±0,6] et [13±5,7] ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol respectivement au mois de Mars, Avril, Mai, Juin et Novembre (Tab. 4.82). La figure 4.124 montre que pour *Aspergillus niger* le maximum de développement (Fig. 4.125) est au mois de mars (45% de l'effectif) puis cela tend à diminuer puis une augmentation au mois de novembre (Fig. 4.126).

Pour *Penicillium sp1* (Tab. 4.82) la moyenne de l'effectif est de [0,2±0,18] ;[20±16,4] ;[0,8±0,7] ;[0,8±0,3] et [0,2±0,1] ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol respectivement au mois de Mars, Avril, Mai, Juin et Novembre. La figure 4.124 montre que le *Penicillium sp1* augmente au mois d'Avril et tend à disparaître dans les autres mois le maximum des effectifs (91%) apparaît au mois d'avril (Fig. 4.125).

Pour *Penicillium sp2* (Tab. 4.82) la moyenne de l'effectif est d [1,4±1] ; [0,4±0,3] ; [1±0,4] ; [4,6±2,1] et [1,4±1,2] ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol respectivement au mois de Mars, Avril, Mai, Juin et Novembre. La figure 4.124 montre que le maximum de *Penicillium sp2* est au mois de juin (52%) (Fig. 4.125).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Pour *Fusarium* sp1 (Tab. 4.82) la moyenne de l'effectif $[0,6 \pm 1]$; $[4 \pm 2,8]$; $[0,4 \pm 0,3]$; $[7,2 \pm 2,8]$ et $[3,2 \pm 0,9]$ ufc.g-1 x 104 sol respectivement au mois de Mars, Avril, Mai, Juin et Novembre. La figure 4.124 montre que pour *Fusarium* sp1 est présente dans tous les mois. Toutefois, il est plus abondant au mois de juin (47 % de l'effectif) (Fig. 4.125).

Pour *Fusarium* sp2 (Tab. 4.82) la moyenne de l'effectif est $[6,8 \pm 6]$; $[4,6 \pm 2,1]$; $[2,8 \pm 1,1]$; $[5 \pm 1,8]$ et $[2,4 \pm 1]$ ufc.g-1 x 104 sol respectivement au mois de Mars, Avril, Mai, Juin et Novembre. La figure 4.124 montre que pour *Fusarium* sp2 il est présent dans tous les mois mais il est à observer 2 pics au mois de mars et juin. Néanmoins, il est plus abondant au mois de mars (32 % de l'effectif).

Nous notons que les 5 espèces de champignons microscopiques que nous avons déterminés, sont déjà dans tous les mois que nous avons prospectés. Toutefois l'apport du BRF stimule leur activité surtout dans le BRFV en présence de vers de terre (Fig. 4.126).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

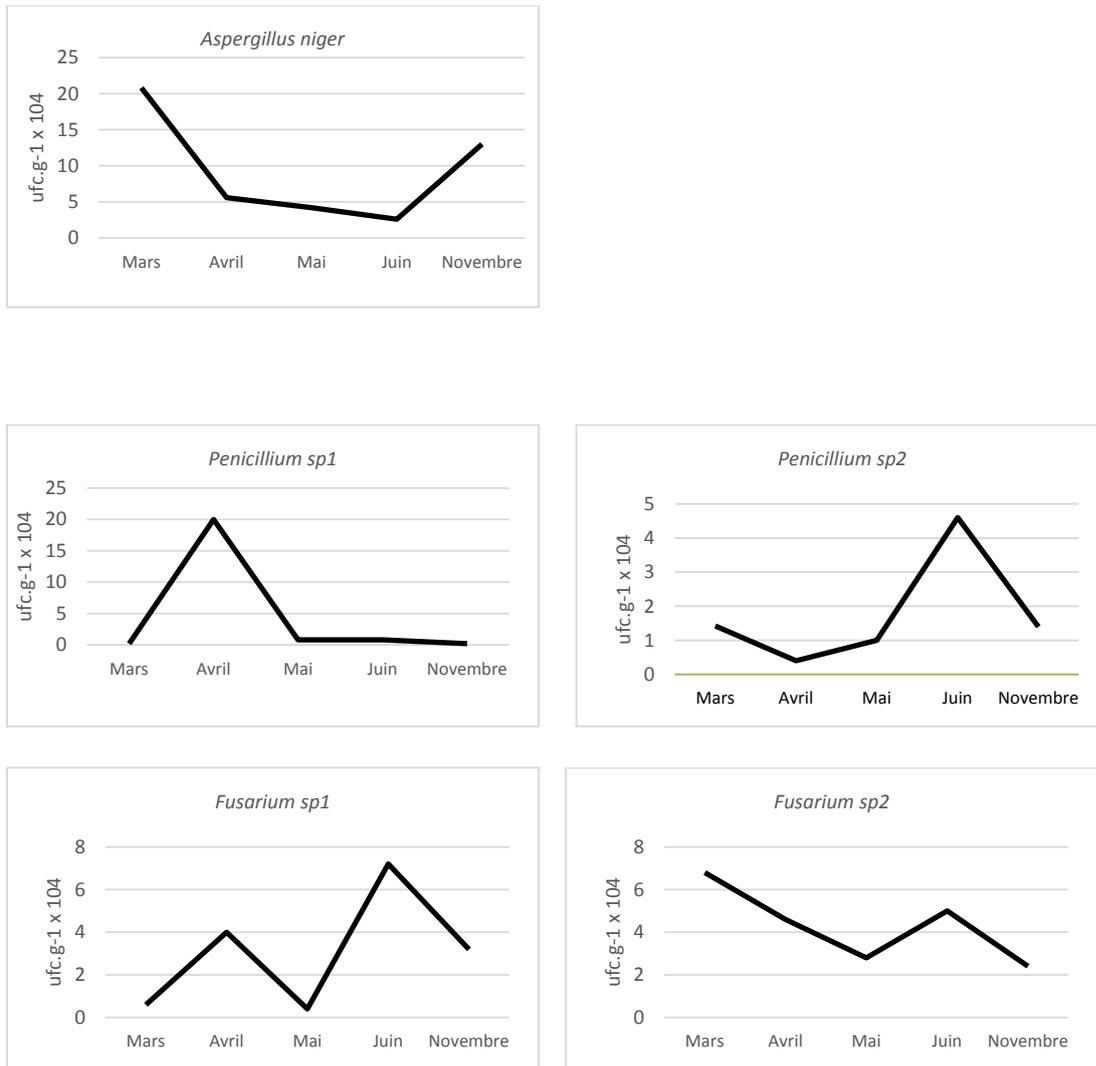


Figure 4.124 : Evolution des germes des champignons microscopiques ($\text{ufc.g}^{-1} \times 10^4$ sol) en fonction des mois étudiés.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

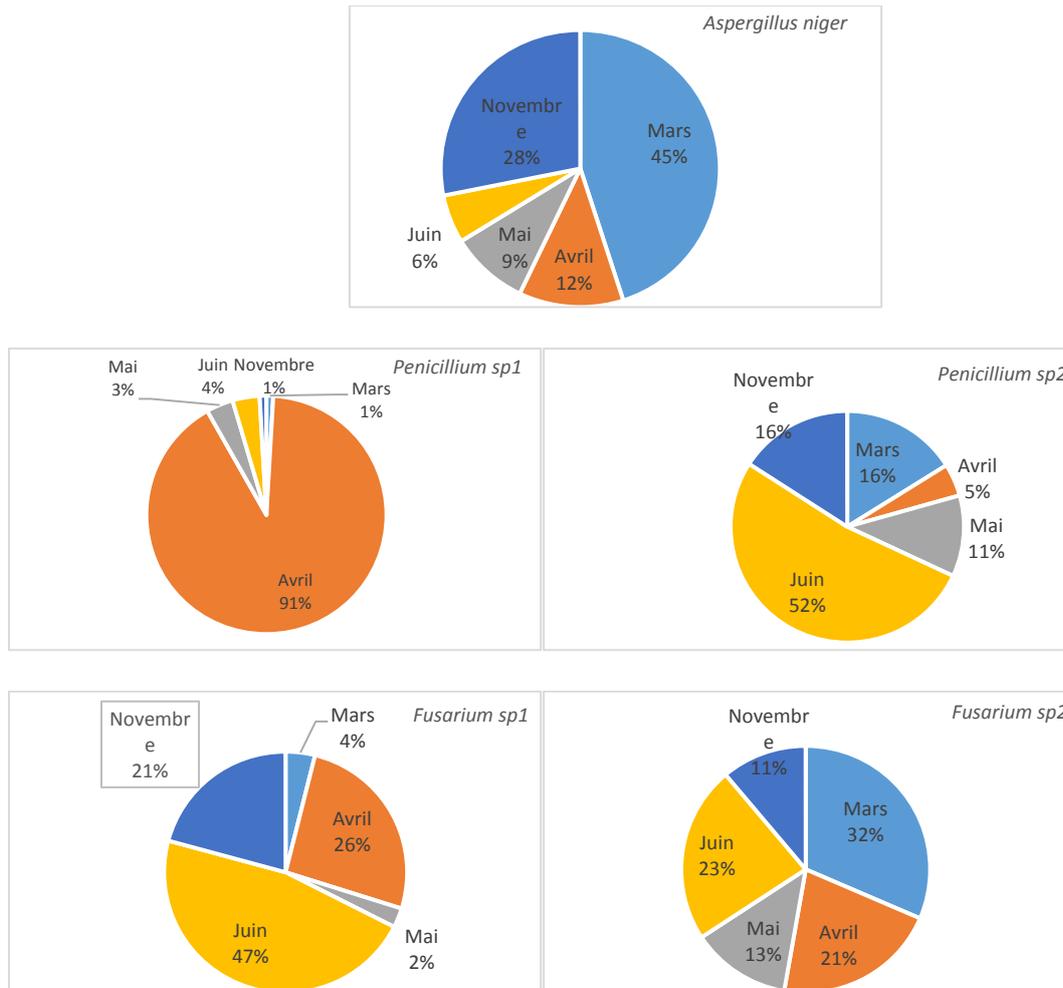


Figure 4.125: Proportion (%) des micromycètes déterminés (ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol) en fonction des mois étudiés.

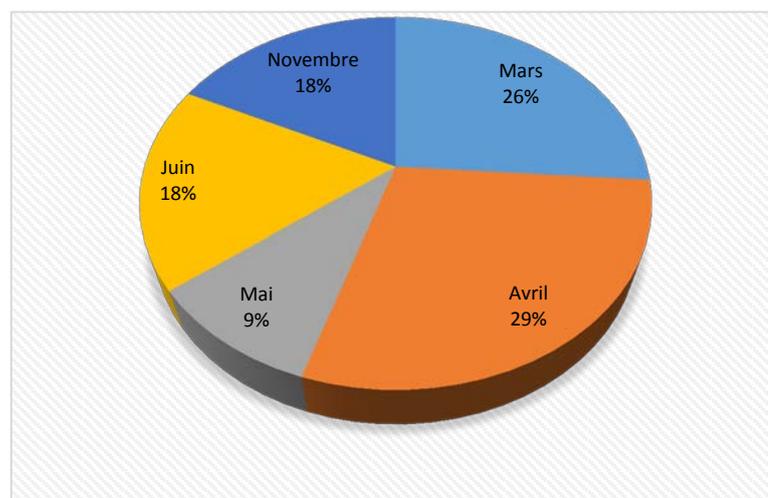


Figure 4.126 : Proportion (%) des germes des champignons microscopiques (ufc.g⁻¹ x 10⁴ sol) en fonction des mois étudiés.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Dans notre étude, nous avons recensé 5 espèces de champignons microscopiques qui sont, *Aspergillus niger*; *Penicillium sp1*; *Penicillium sp2*; *Fusarium sp1*; *Fusarium sp2*. Ainsi Chervonyj, (1999) sur une étude de l'influence de BRF de différentes essences (*Acer saccharum* March, *Acer saccharinum* L. *Acer negundo* L, et *Quercus rubra* L.), a recensé 30 espèces parmi lesquelles : *Aspergillus niger* et des espèces de *Fusarium* et de *Penicillium*. Ces champignons caractérisent les sols (Dhingra et Sinclair, 1985) et sont inclus dans la dégradation de la cellulose (Mustin, 1987).

Nous avons remarqué, qu'en général que l'apport de BRF et du fumier a contribué à l'augmentation de la biomasse totale des champignons dans les placettes amendés par rapport au témoin (Tab. 4.81, Fig. 4.123). Des résultats similaires ont été rapportés par Nelson, (1972) qui a noté un accroissement de la population des champignons. Par ailleurs, Tremblay et Beauchamp (1998) ont indiqué que la biomasse des champignons était 3 fois plus élevée dans les sols qui ont reçu du BRF par rapport au témoin non amendé. Ba *et al.*, 2014, ont remarqué une augmentation de la population des champignons. avec l'amendement du BRF de *Guiera senegalensis* J. F. Gmel et de *Piliostigma reticulatum*, D'autres auteurs, ont également signalé que l'apport des amendements organique contribue efficacement à l'accroissement de la population microbienne (Garcia - Gil *et al.*, 2004 ; Castro *et al.*, 2009 ; Yazdanpanah *et al.*, 2013 ; Sabir *et al.*, 2015 ; Wang *et al.*, 2015 ; Blanchet *et al.*, 2016 ; Meena *et al.*, 2016; Yazdanpanah *et al.*, 2016)

Aussi, il a été noté que l'apport de BRF et du fumier stimule mieux les populations des champignons au printemps et en automne qu'en été (Fig. 4.126). Ces résultats sont confirmés par Tremblay et Beauchamp (1998) BRF qui ont signalé que l'incorporation du BRF a un effet stimulant sur le développement de la population des champignons à l'automne et au printemps. Les champignons se développent dans des conditions de T°C allant de 28 à 38 °C (Dommergues et Mangenot, 1970), une humidité de 60 à 100%, pour décomposition rapide (Käärik, 1974; Swift *et al.*, 1979). Et un pH de 2 à 8. Ce qui est conforme avec nos résultats concernant la température (Tab. 4.2), le pH (Tab. 4.2) et l'humidité (Tab. 4.2). Ces conditions de T°, %H et pH provoquent une augmentation de la population de champignons dans les sol amendés (Tortora *et al.*, 2003) . Cette augmentation de la biomasse est un indicateur de l'amélioration de la qualité d'un sol puisqu'elle refléchet la capacité du sol à déposer et à recycler l'énergie et les éléments nutritifs (Gregorich *et al.*, 1994).

En effet, la matière organique est une source d'énergie et de carbone pour les microorganismes (N'Dayegamiye et Angers, 1990). Les champignons sont reconnus pour leur plus grande capacité à dégrader le matériel ligno-cellulosique que les bactéries et les actinomycètes (Alexander, 1991). Ils sont plus communs chez les feuillus que chez les résineux (Käärik, 1974 et Eriksson *et al.*, 1990).

4.2.2. Densité des collemboles et des Acariens récoltés :

A. Evolution des acariens :

1. Selon les placettes:

Concernant les acariens, Les moyennes obtenues (Fig. 4.127) sont de 1564,0; 1250 ; 891,0; 682,0 et 36,4 ind/m² respectivement pour BRFF, BRF, BRFFV, BRFV et T. La différence entre les moyennes est très significative (Fobs= 9,946, ddl=4 et p<0,00) (Tab .4.83). Cela signifie que les densités sont effectivement différentes d'une placette à une autre. Par ailleurs le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 3,90) nous a permis de confirmer cela et de classer les placettes en fonction de la densité en 4 groupes de densité croissante BRFF (a)> BRF et BRFFV (ab) > BRFV (bc) > T (c) (Tab. 4.84, Fig. 4.128).

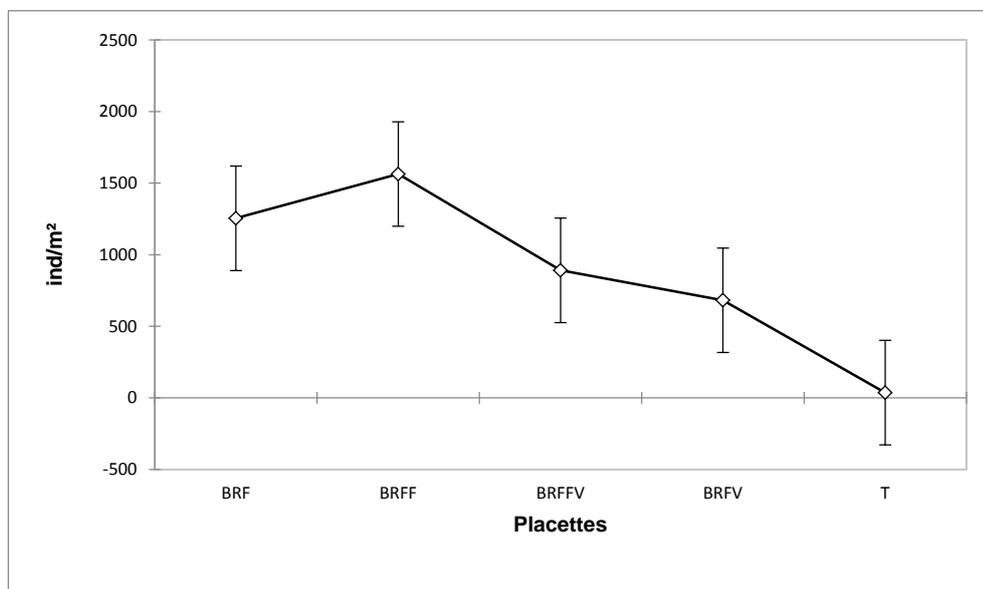


Figure 4.127 : Variation des moyennes estimées de la densité des Acariens (ind/m²) au niveau des différentes placettes étudiées.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.83 : Analyse de la variance pour la variable densité des Acariens (ind/m²) dans les différentes placettes étudiées.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	44834181,818	11208545,455	9,946	< 0,0001
Erreur	160	180310909,091	1126943,182		
Total corrigé	164	225145090,909			

Tableau 4.84 : Classification des placettes en fonction des moyennes estimées de la densité des acariens suivant les couleurs du test de Tukey.

	Acariens (ind/m ²)
BRFF	1563,636
BRF	1254,545
BRFFV	890,909
BRFV	681,818
T	36,364

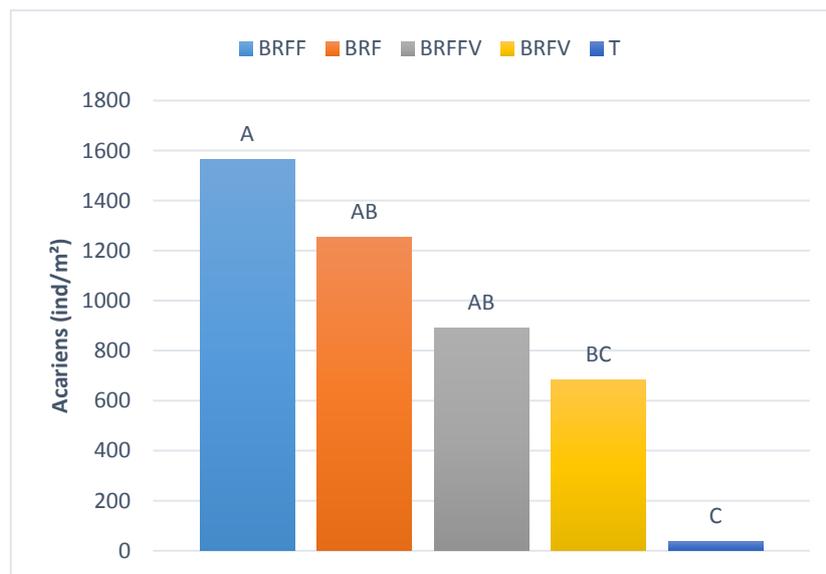


Figure 4.128 : Classement des parcelles étudiées en fonction des placettes étudiées (Test Tukey).

2. Selon les mois :

Concernant, Les moyennes obtenues mensuellement (Fig. 4.129) elles sont de 0,0 ; 240 ; 800 ; 460 ; 440,0 ; 1120,0 ; 2820,0 ; 1080,0 ; 720,0 ; 1100,0 et 960,0 ind/m² respectivement au mois de Mars, Avril, Mai, Juin, Juillet, Septembre, Octobre, Novembre, Décembre, Janvier et Février. La différence entre les moyennes est très significative (Fobs= 8,911, ddl=10 et p<0,00) (Tab .4.85). Cela indique que les densités sont effectivement différentes mensuellement. Par ailleurs le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 4,621), nous confirme cela et permet de classer les mois d'étude en fonction de la densité en 2 groupes de densité décroissante le d'Octobre (a)> Septembre, Janvier, Novembre, Février, Mai, Décembre, Juin, Juillet, Avril et Mars (b) (Tab.4.86, Fig. 4.130).

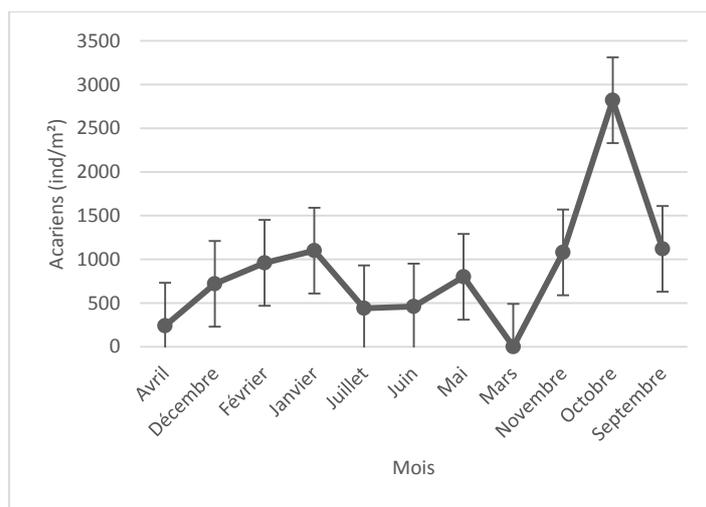


Figure 4.129 : Variation des moyennes de la densité des acariens (ind/m²) en fonction des mois étudiés.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.85 : Analyse de la variance pour la variable densité des Acariens (ind/m²) pour les mois étudiés.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	10	82525090,909	8252509,091	8,911	< 0,0001
Erreur	154	142620000,000	926103,896		
Total corrigé	164	225145090,909			

Tableau 4.86 : Classification des moyennes des densités des acariens (ind/m²) pour les différents mois (Test de Tukey).

Acariens (ind/m ²)	
Octobre	2820
Septembre	1120
Janvier	1100
Novembre	1080
Février	960
Mai	800
Décembre	720
Juin	460
Juillet	440
Avril	240
Mars	0
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

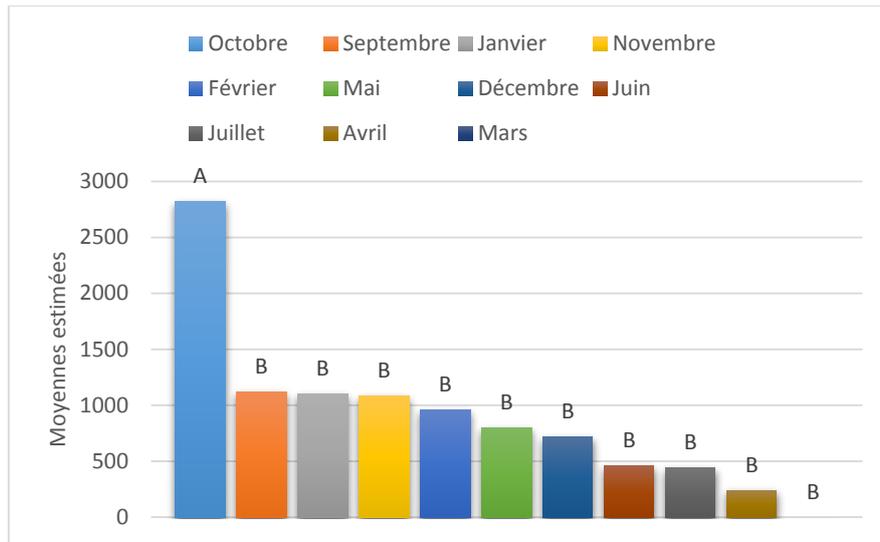


Figure 4.130 : Histogramme des classes des densités moyennes des acariens (ind/m²) en fonction des mois (test de Tukey).

La figure 4.131 montre que la moyenne estimée de la densité (ind/m²) des acariens est différente d'une parcelle à une autre et d'un mois à un autre cette différence est très significative ($F_{obs} = 581,154$ ddl = 40 ; $p < 0,00$). Ce qui signifie que les acariens se multiplient différemment d'une placette à une autre et d'un mois à un autre.

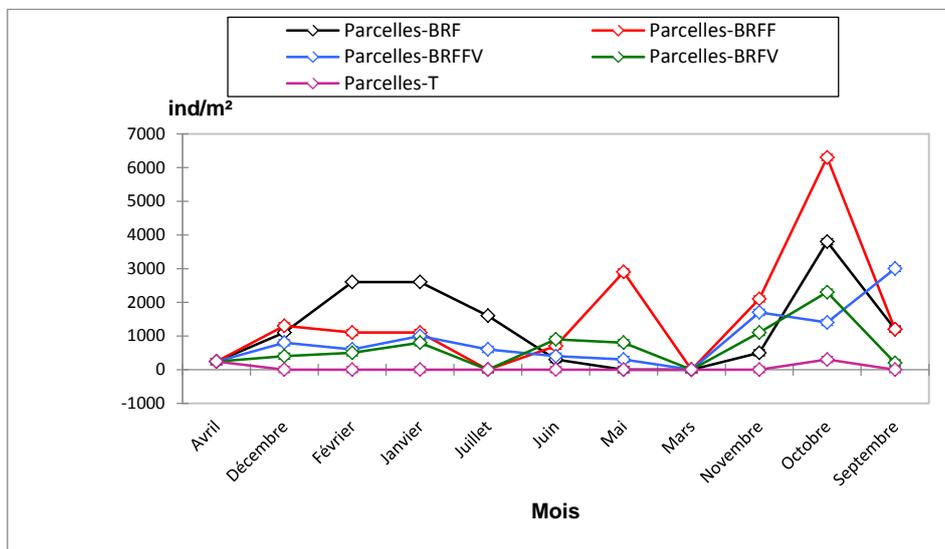


Figure 4.131 : Variation des moyennes estimées (ind/m²) des acariens dans les placettes et mois étudiés.

B. Evolution des collemboles :

1. Selon les placettes :

Concernant la densité des collemboles, les moyennes obtenues (Fig. 4.132) sont de 9,1 ; 300,0 ; 581,8 ; 400,0 et 263,6 ind/m² respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes est très significative (Fobs= 4,227, ddl=4 et p<0,003) (Tab. 4.87). Cela signifie que les densités sont effectivement différentes d'une placette à une autre. Par ailleurs le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 3,90) nous a permis de confirmer cela et de classer nos parcelles en fonction de la densité des collemboles en 3 groupes de densité décroissante BRFF (a)> BRF, BRFFV, BRFFV (ab) > T (b) (Tab. 4.88, Fig. 4.133).

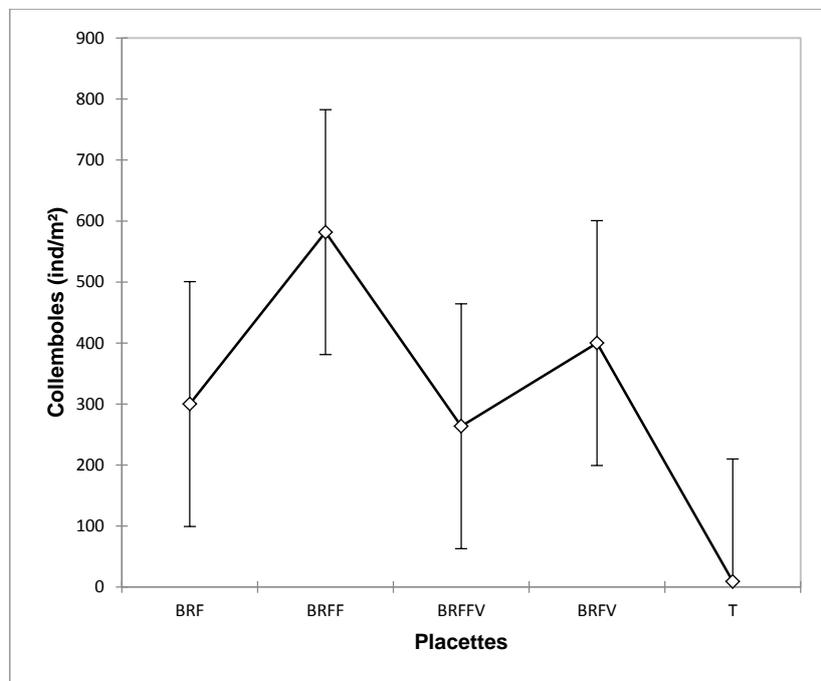


Figure 4.132 : Variation des moyennes de la densité des collemboles (ind/m²) au niveau des différentes placettes étudiées.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.87 : Analyse de la variance pour la variable densité des Collemboles (ind/m²) dans les différentes placettes étudiés.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	4	5767636,364	1441909,091	4,227	0,003
Erreur	160	54572727,273	341079,545		
Total corrigé	164	60340363,636			

Tableau 4.88 : Classement pour les différentes placettes étudiées et densité des Collemboles (Tukey (HSD)).

	Collomboles (ind/m ² =
BRFF	581,818 a
BRFV	400,000 ab
BRF	300,000 ab
BRFFV	263,636 ab
T	9,091 b
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

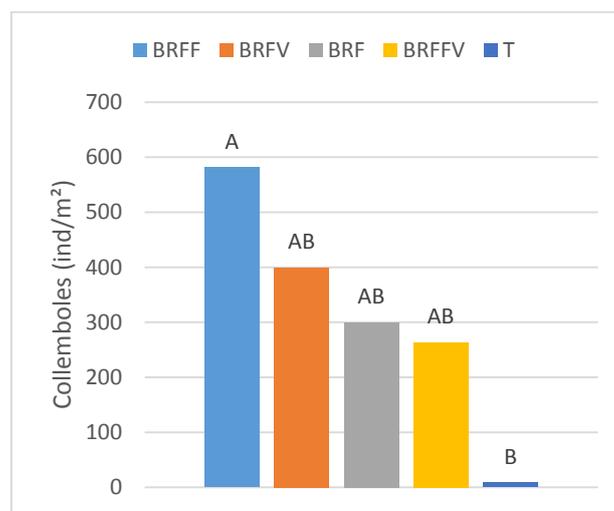


Figure 4.133 : Classement des placettes étudiées en fonction des de la densité des Collemboles (ind/m²).

2. Selon les mois :

Concernant la densité des collemboles, les moyennes obtenues mensuellement est de (Fig. 4.134) 120,0 ; 40,0 ; 0,0 ;120,0 ;220,0 ; 440,0 ;1400,0 ;620,0 ;0,0 ;100,0 et 460,0 respectivement au mois de Mars ,Avril, Mai ,Juin, Juillet, Septembre, Octobre, Novembre, Décembre, Janvier et Février La différence entre les moyennes mensuelles est très significative (Fobs= 11,992, ddl=10 et $p < 0,000$) (Tab . 4.89). Cela signifie que les densités sont effectivement différentes d'un mois à un autre. Par ailleurs le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 4,621) nous a permis de confirmer cela et de classer les mois en fonction de la densité des collemboles en 4 groupes de densité décroissante Octobre(a) > Novembre (b) > Février, Septembre Juillet, Juin et Janvier, (bc) > Avril, Mars, Décembre et Mai (c) (Tab. 4.2.10 Fig. 4.2.18).

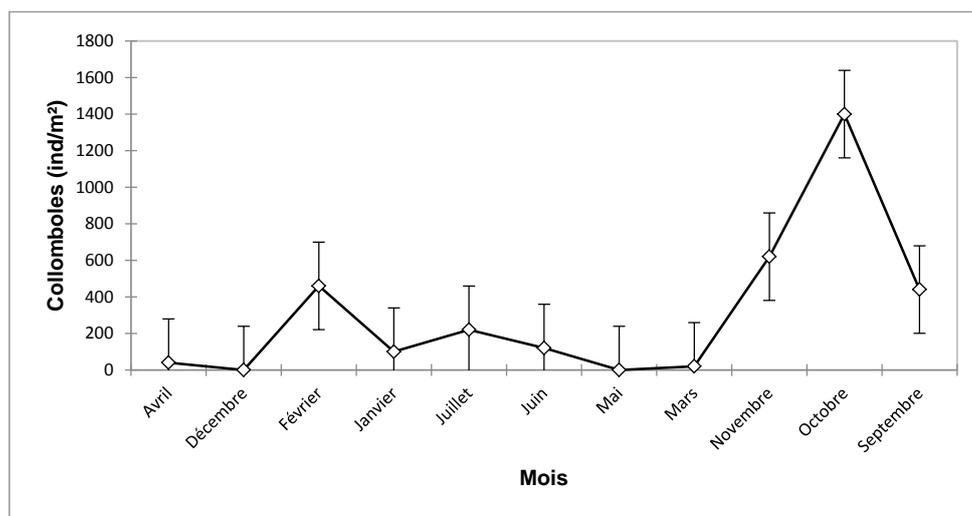


Figure 4.134 : Variation des moyennes de la densité des Collembole (ind/m²) en fonction des mois étudiés.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.89 : Analyse de la variance pour la variable densité des Collemboles (ind/m²) dans les différents Mois étudiés.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	10	26416363,636	2641636,364	11,992	< 0,0001
Erreur	154	33924000,000	220285,714		
Total corrigé	164	60340363,636			

Tableau 4.90 : Classement des Mois en fonction de la densité des collemboles (ind/m²) (Test de Tukey).

Collemboles (ind/m ²)	
Octobre	1400,000 a
Novembre	620,000 b
Février	460,000 bc
Septembre	440,000 bc
Juillet	220,000 bc
Juin	120,000 bc
Janvier	100,000 bc
Avril	40,000 c
Mars	20,000 c
Décembre	0,000 c
Mai	0,000 c
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

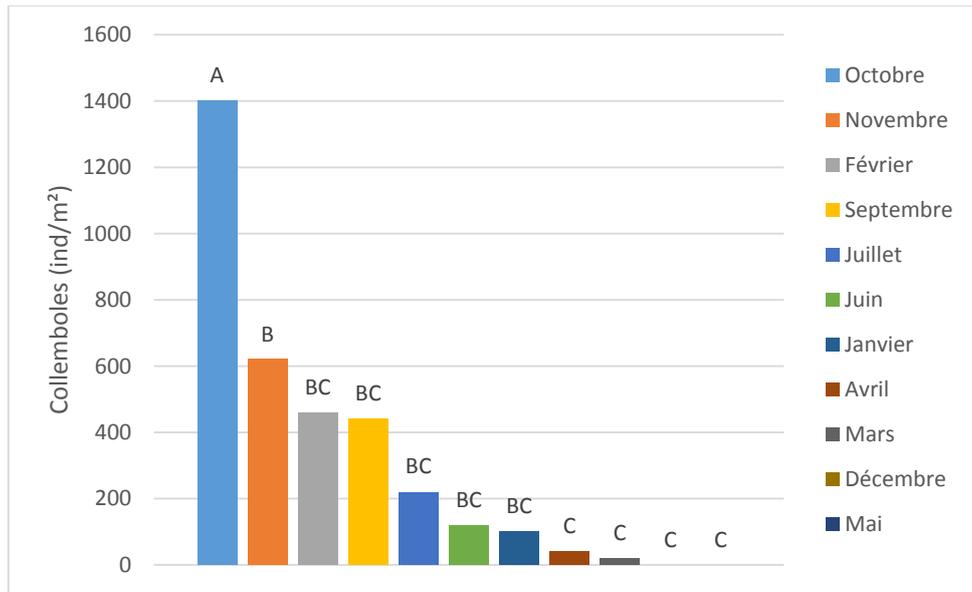


Figure 4.135 : Classement des Mois étudiés en fonction des de la densité des Collemboles (ind/m²).

Par ailleurs, il est à noter (Fig. 4.136 et Tab. 4.91) un effet placettes-mois très significatif ($F_{obs} = 2682,800$; $ddl = 40$, $p < 0,000$). Cela nous informe que les collemboles réagissent différemment d'une placette à une autre et d'un mois à un autre. L'apport du BRF, fumier et vers de terre joue un rôle favorable pour la croissance des collemboles.

Tableau 4.91 : Analyse de la variance pour la variable densité des collemboles (ind/m²).

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mois	10	26416363,636	2641636,364	8365,182	< 0,0001
Placettes	0	0,000			
Mois*Placettes	40	33888000,000	847200,000	2682,800	< 0,0001

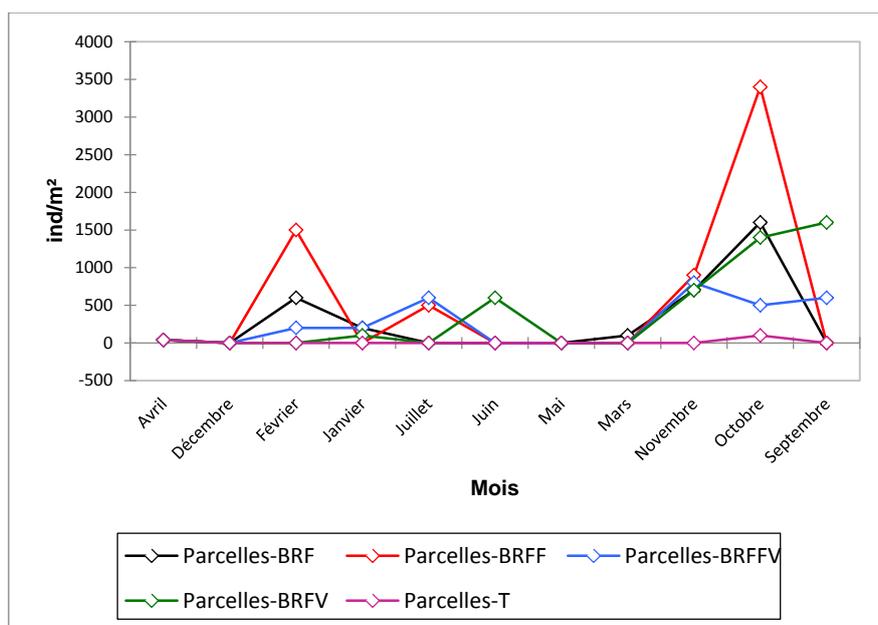


Figure 4.136 : Variation des moyennes estimées (ind/m²) des collemboles dans les placettes et mois étudiés.

C. Comparaison densité des collemboles (ind/m²) et des acariens (ind/m²) :

La densité moyenne des collemboles et des acariens est respectivement de [310,90±186,45] et de [885,45±360,22] ind/m² (Tab. 4.92). La différence est très significative (t=1,649, ddl= 328 et p<0,000). Ainsi, il y a plus d'acariens que de collemboles dans les placettes étudiées. Le maximum est de 6300 et 3400 ind/m² respectivement pour les acariens et les collemboles. Le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 3,902) indique 3 modalités (a, ab et b) pour les collemboles et 4 modalités (a, ab, bc, et c) pour les acariens. Par ailleurs la figure 4.137 ainsi que le tableau 4.93 montrent que quel que soit la placette, la densité des acariens, est significativement plus élevée que celle des collemboles.

Tableau 4.92 : moyennes des acariens et des collemboles.

Collemboles (ind/m ²)	Acariens (ind/m ²)
165	165
[310,90±186,45]	[885,45±360,22]
(0-3400,00)	(0-6300)

Tableau 4.93 : Classification des placettes en fonction de l'estimation de la densité des collemboles et acariens (test de Tukey).

	Collemboles (ind/m ²)	Acariens (ind/m ²)
BRFF	581,818 a	1563,636 a
BRF	300,000 ab	1254,545 ab
BRFV	400,000 ab	681,818 bc
BRFFV	263,636 ab	890,909 ab
T	9,091 b	36,364 c
Pr > F	0,003	< 0,0001
Significatif	Oui	Oui

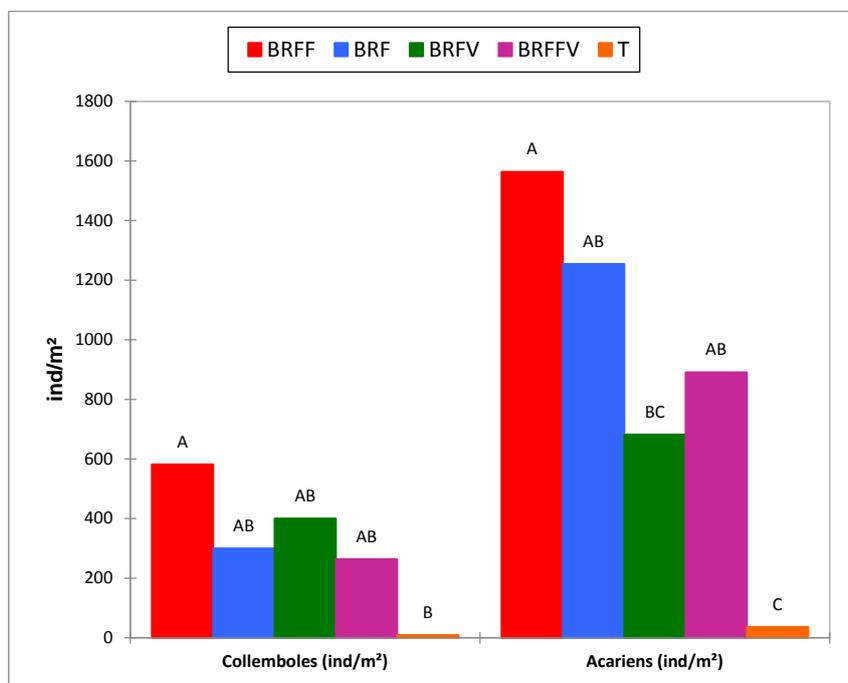


Figure 4.137: Classification des placettes en fonction de l'estimation de la densité des collemboles et des acariens (test de Tukey).

Pour les acariens, nous avons remarqué qu'il y a un effet BRF et fumier (Tab .4.83), ainsi la densité des acariens était plus élevée dans les placettes amendées par rapport au témoin (Tab. 4.84, Fig. 4.128). Nous avons remarqué aussi un effet mois (Tab .4.85) et un effet combiné entre mois et placettes (Fig. 4.131). Pour les collemboles, nous avons remarqué aussi qu'il y a un effet BRF et fumier (Tab. 4.87), ainsi la densité des collemboles était plus élevée dans les placettes amendées par rapport au témoin (Tab. 4.88, Fig. 4.133). Ainsi il y

avait un effet mois (Tab. 4.89) et un effet combiné entre mois et placettes (Fig. 4.136 et Tab. 4.91). Ces résultats sont similaires avec ceux trouvés par Larochelle, (1994) qui a étudié l'impact du bois raméal fragmenté sur la dynamique de la mésofaune du sol (collembes et acariens), il a trouvé que la densité des collembes et acariens est 5 fois plus élevés dans les placettes amendées par le BRF par rapport au témoin non amendé. Dans notre étude nous avons remarqué que la densité des acariens est plus élevée par rapport à celui des collembes (Tab. 4.92) (Fig 4.137 Tab. 4.93). Selon Coleman *et al.*, (2004), les acariens sont les microarthropodes les plus abondants dans les sols. Ainsi, pour Swift *et al.*, (1979), la mésofaune est composée particulièrement de collembes et d'acariens. L'augmentation de la densité des champignons a dû influencer la densité des populations des acariens et des collembes. En effet, selon, Harding et Stuttard, 1974 ; Parkinson *et al.*, 1979 ; Hanlon, 1981 et Seastedt, 1984, les microarthropodes sont généralement des mycophages, leur abondance dépend de celle des champignons et de leur qualité nutritive. Leur rôle dans les processus de décomposition est de réguler les populations microbiennes (Swift *et al.*, 1979). Ainsi, lorsque des amendements organiques sont apportés aux sols ils sont d'abord attaqués par les champignons et l'apport de BRF suscite les champignons du sol qui vont être brouté par la mésofaune (plus particulièrement les acariens et les collembes) (Larochelle, 1994). L'apport du BRF et du fumier dans le sol stimule donc la présence des champignons et permet le développement de la mésofaune parmi laquelle les acariens et les collembes.

4.2.3. Détermination de l'indice de la qualité biologique des sols étudiés (QBS) :

A. selon les placettes :

Le tableau 4.94 montre que la moyenne estimée du QBS est de $[16,7 \pm 0,8]$; $[31,4 \pm 1,0]$; $[32,3 \pm 0,8]$; $[32,9 \pm 1,4]$ et $[32,7 \pm 1,4]$ respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFV et BRFFV. La différence est très significative ($F_{obs} = 10,905$; $ddl = 4$ $p < 0,000$) (Tab. 4.95, Fig. 4.138). Le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 3,937) indique 2 modalités de QBS soit BRFV, BRFFV, BRFF et BRF (a) > T (b) (Tab. 4.96, Fig. 4.139).

Tableau 4.94 : Intervalle de confiance à 95% pour les moyennes estimées pour la variable QBS et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses pour les placettes étudiées.

T	BRF	BRFF	BRFV	BRFFV
$[16,7 \pm 0,8]$ (0-40)	$[31,4 \pm 1,0]$ (0-61)	$[32,3 \pm 0,8]$ (0-50)	$[32,9 \pm 1,4]$ (0-75)	$[32,7 \pm 1,4]$ (0-71)

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.95 : Anova pour la variable QBS.

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Parcelles	4	5295,407	1323,852	10,905	< 0,0001
Mois	8	15124,133	1890,517	15,573	< 0,0001
Placettes*Mois	32	7171,793	224,119	1,846	0,013

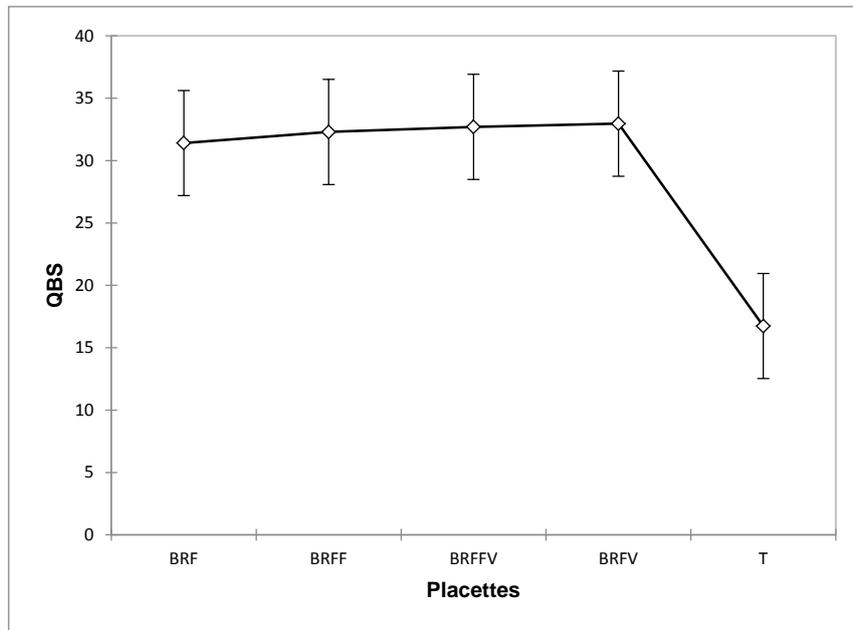


Figure 4.138 : Variation du QBS dans les placettes étudiées.

Tableau 4.96: Classement des placettes étudiées selon le QBS (Test de Tukey).

QBS	
BRFV	32,963 a
BRFFV	32,704 a
BRFF	32,296 a
BRF	31,407 a
T	16,741 b
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

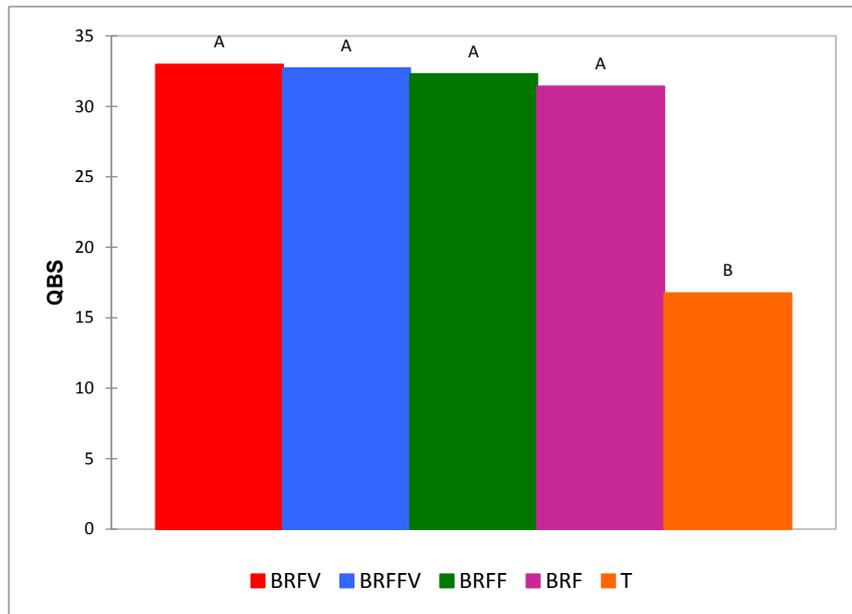


Figure 4.139 : Classement des placettes selon le QBS (Test de Tukey).

Tableau 4.97 : Intervalle de confiance à 95% pour les moyennes estimées pour la variable QBS pendant les mois d'étude et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses.

Mars	Avril	Mai	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév
[23,4±1,6] (0-43)	[7±1,6] (0-49)	[23,2±0,8] (12-34)	[33,0±1,7] (10-48)	[44,4±2,4] (6-73)	[24,1±1,6] (0-40)	[31,3±1,7] (6-55)	[39,8±2,5] (1-75)	[36,5±1,1] (20-50)

B. Selon les mois :

Concernant les QBS calculé pour les mois étudiés la moyenne estimée est de [23,4±1,6]; [7±1,6]; [23,2±0,8]; [33,0±1,7]; [44,4±2,4]; [24,1±1,6]; [31,3±1,7]; [39,8±2,5] et [36,5±1,1] respectivement pour le mois de Mars; Avril; Mai; Septembre, Octobre, Novembre, Décembre, Janvier et Février (Tab. 4.97). La différence est très significative (Fobs= 15,573 ; ddl= 8 p<0,000) (Tab. 4.95, Fig. 4.140). Le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey :4,495) indique 8 modalités de QBS soit : Octobre (a)>Janvier (ab)> Février (abc)>Septembre (abcd) > Décembre (bcd) >Novembre (cd) >Mars, Mai (d) > Avriil (e) (Tab. 4.98, Fig. 4.141).

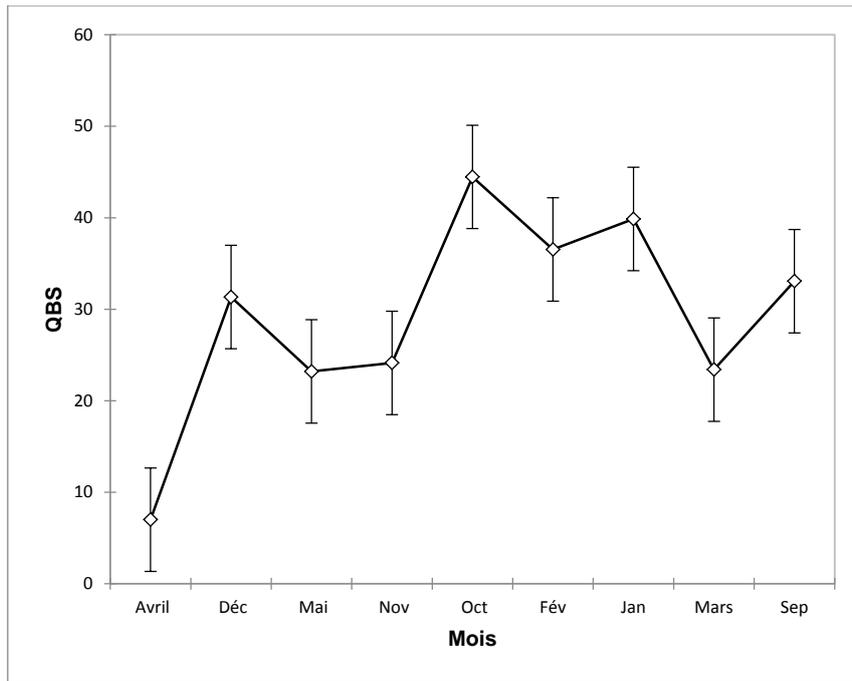


Figure 4.140 : Variation du QBS dans les mois étudiés.

Tableau 4.98 : Classement les mois selon le QBS (Test de Tukey).

QBS		
Oct	44,467 a	
Jan	39,867 ab	
Fév	36,533 abc	
Sep	33,067 abcd	
Déc	31,333 bcd	
Nov	24,133 cd	
Mars	23,400 d	
Mai	23,200 d	
Avril	7,000 e	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

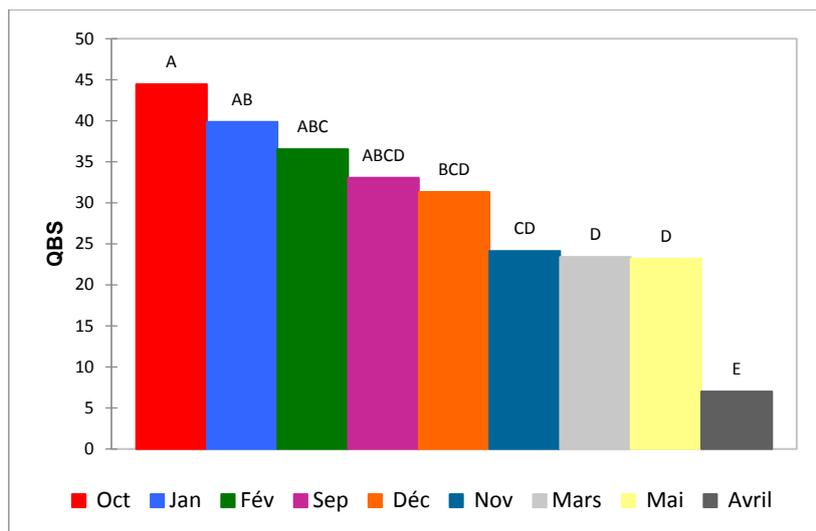


Figure 4.141 : Classement des mois selon le QBS (Test de Tukey).

Par ailleurs, il y a un effet Parcelles*Mois ($F_{obs}=1,846$; $ddl=32$ $p<0,013$) (Tab 4.95, Fig. 4.142) cela signifie que le QBS est influencé par la qualité de la placette mais aussi par les facteurs climatique tels que les précipitations et les températures. Le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 5,778) indique 15 modalités différentes d'interactions mois*parcelles (Tab. 4.99).

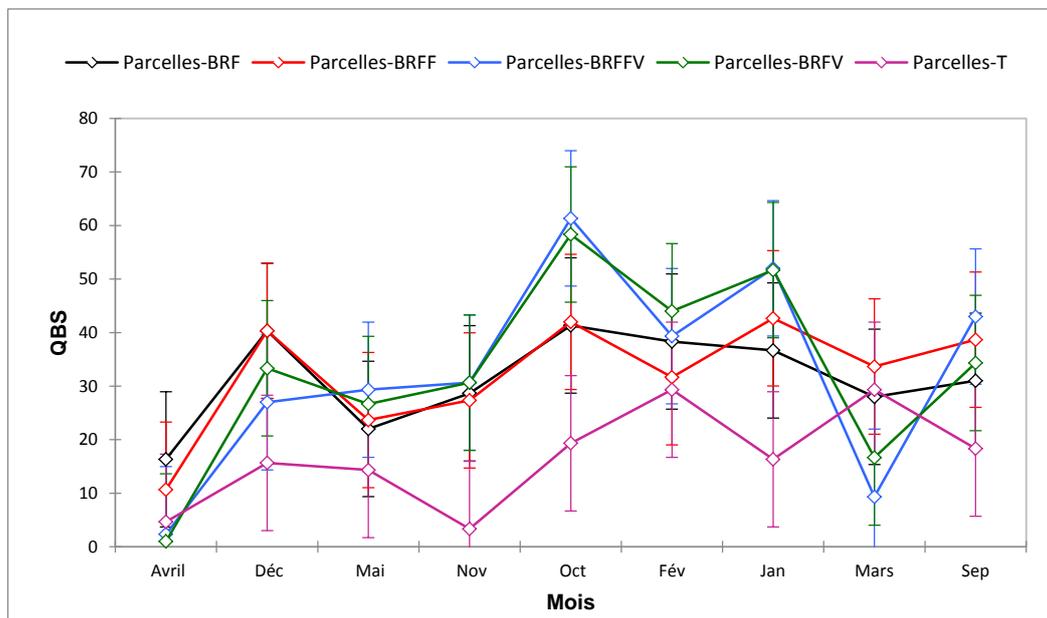


Figure 4.142 : Variation du QBS dans les mois et les placettes étudiés.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau 4.99 : Classement des interactions placettes* mois selon le QBS (Test Tukey).

	QBS	
BRFFV* Oct	61,333 a	
BRFV* Oct	58,333 ab	
BRFFV*Jan	52,000 abc	
BRFV*Jan	51,667 abc	
BRFV*Fév	44,000 abcd	
BRFFV*Sep	43,000 abcd	
BRFF*Jan	42,667 abcd	
BRFF* Oct	42,000 abcd	
BRF* Oct	41,333 abcde	
BRF* Déc	40,333 abcde	
BRFF* Déc	40,333 abcde	
BRFFV*Fév	39,333 abcdef	
BRFF*Sep	38,667 abcdefg	
BRF*Fév	38,333 abcdefg	
BRF*Jan	36,667 abcdefgh	
BRFV*Sep	34,333 abcdefgh	
BRFF*Mars	33,667 abcdefgh	
BRFV* Déc	33,333 abcdefgh	
BRFF*Fév	31,667 abcdefgh	
BRF*Sep	31,000 abcdefgh	
BRFFV* Nov	30,667 abcdefgh	
BRFV* Nov	30,667 abcdefgh	
BRFFV* Mai	29,333 abcdefgh	
T*Fév	29,333 abcdefgh	
T*Mars	29,333 abcdefgh	
BRF* Nov	28,667 abcdefgh	
BRF*Mars	28,000 abcdefgh	
BRFF* Nov	27,333 abcdefgh	
BRFFV* Déc	27,000 abcdefgh	
BRFV* Mai	26,667 abcdefgh	
BRFF* Mai	23,667 bcdefgh	
BRF* Mai	22,000 bcdefgh	
T* Oct	19,333 cdefgh	
T*Sep	18,333 cdefgh	
BRFV*Mars	16,667 cdefgh	
T*Jan	16,333 cdefgh	
BRF* Avril	16,333 cdefgh	
T* Déc	15,667 cdefgh	
T* Mai	14,333 defgh	
BRFF* Avril	10,667 defgh	
BRFFV*Mars	9,333 defgh	
T* Avril	4,667 efgh	
T* Nov	3,333 fgh	
BRFFV*		
Avril	2,333 gh	
BRFV* Avril	1,000 h	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

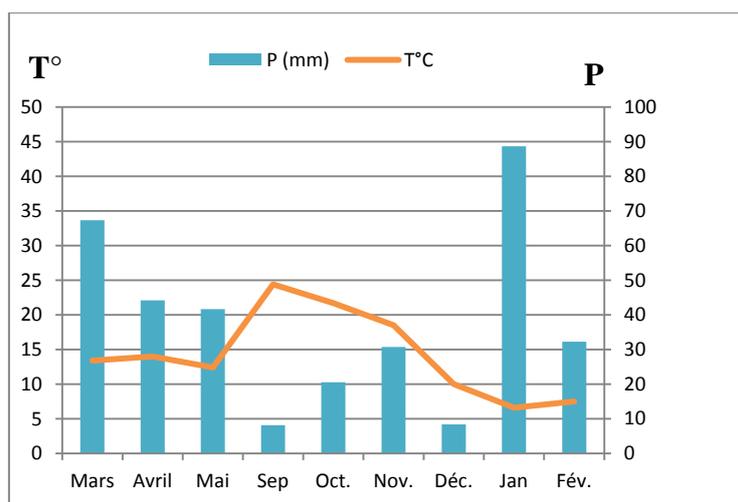


Figure 4.143 : Variation de la T°C sol et des P (mm) dans les mois prospectés.

Pour l'indice QBS (Tab. 4.94) nous avons obtenu pour les placettes les moyennes de [16,7±0,8] ; [31,4±1,0] ; [32,3±0,8] ; [32,9±1,4] et [32,7±1,4] respectivement dans T, BRFF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre ces moyennes est significative (Tab. 4.95, Fig. 4.138), ainsi les placettes témoins ont la moyenne la plus faible, par contre les placettes qui ont reçues du BRFF, BRFF, BRFFV et BRFFV ont un meilleur indice biologique (Fig. 4.139). Dans notre expérimentation, l'apport du BRFF et de fumier a influencé positivement les populations des microarthropodes et donc sur le niveau du QBS calculé dans les différents types de placettes étudiées (Tab. 4.94). En effet, le QBS est multiplié par 2 par rapport au témoin dans les différentes placettes étudiées (Fig. 4.138). L'apport du BRFF a favorisé l'implantation d'une microflore plus diversifiée dont la faune du sol aurait profité, et plus particulièrement les acariens et les collemboles (Larochelle, 1994). Nos résultats sont corroborés par ceux de Parisi *et al.*, 2005, qui ont trouvés que l'apport des eaux usées sur des sols de Crémone (Italie) améliorent significativement la biologie du sol. En effet le QBS passe d'une moyenne de 82 (sols non traités) à 113 (sols traités aux eaux usées) (Parisi *et al.*, 2005). Par ailleurs, Larochelle, 1994, a noté que l'apport du BRFF influence les microarthropodes du sol, ils sont 5 fois plus abondantes que dans le témoin.

Selon les mois, (Tab. 4.97) la moyenne du QBS est de [23,4±1,6]; [7±1,6]; [23,2±0,8]; [33,0±1,7]; [44,4±2,4]; [24,1±1,6]; [31,3±1,7]; [39,8±2,5] et [36,5±1,1] respectivement pour le mois de Mars; Avril; Mai; Septembre, Octobre, Novembre, Décembre, Janvier et Février. La différence est très significative (Tab. 4.95, Fig. 4.140). Ainsi, pour les 9 mois d'étude le QBS moyen est de 29. En revanche, au nord de l'Italie,

Aspetti *et al.*, 2010, donne une moyenne du QBS de 74,0 dans des champs cultivés et pour les mois de mars, avril, novembre et décembre 2010. Et, Santorufo *et al.*, 2012 ont trouvé une moyenne de QBS de 106 dans des sols de jardins et de parcs à Naples (Sud de l'Italie). Par ailleurs, Parisi *et al.*, 2005 notent des moyennes du QBS de 125, 98 et de 96 dans respectivement 3 différentes études en Italie. En outre, Andrés *et al.*, 2011 ont trouvé une moyenne de 166 dans une étude à Vallmitjana (Taradell, Espagne).

Il est à noter que le QBS, dans des régions du nord de la méditerranée (Italie (99,0), Espagne (166)), est supérieur au QBS estimé sud de la méditerranée l'Algérie (29). Ceci peut être expliqué par les faiblesses des pluviosités. En effet, il est à observer (Fig. 4.143), la sécheresse pendant la saison automnale de la période d'étude. Le manque de pluies a dû certainement jouer sur la diversité et l'abondance des microarthropodes et donc sur le niveau du QBS estimé (29). En effet l'humidité du sol demeure le facteur essentiel ayant une influence directe sur la pullulation et le comportement de la faune du sol (Ferrahi et Djema, 2004). En fait, les fortes températures agissent surtout indirectement en desséchant le milieu, ce qui, pour les téguments fragiles et la respiration cutanée de la plupart des animaux du sol, est catastrophique (Bachelier, 1963). L'humidité est très importante pour les acariens, dont de nombreuses espèces supportent très bien les inondations temporaires du sol. Les collemboles supportent d'autant plus mal les fortes températures qu'ils sont soumis à un climat sec qui les déshydratent (Bachelier, 1963).

4.2.4. Impact de l'apport de BRF et du fumier sur la croissance et développement d'*Octodrilus complanatus* :

A la fin de l'expérimentation, il a été difficile de retrouver dans la station, les vers de terre introduits dans les placettes BRFV et BRFFV (Ils ont fui ou consommés....etc.). Nous avons donc effectué un essai au laboratoire (Cf. Chap. 3, afin de vérifier, l'influence du BRF de nectarine et du fumier de bovin, sur *Octodrilus complanatus*.

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Tableau. 4.100 : Intervalles de confiance à 95 % pour les moyennes des variables Effectif (N) et Biomasse (g) pour les différents stades de développement d'*Octodrilus complatanus* déterminées dans les lombriboîtes BRFV et BRFFV et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses.

Stades	Effectif		Biomasse (g)	
	BRFV	BRFFV	BRFV	BRFFV
Juveniles	[8,3±6,6] (4,0-15)	[4,7±6,4] (0-11)	[0,1±0,1] (0,03- 0,14)	[0,09±0,09] (0-0,9)
Adultes	[3,3±0,7] (3,0-4,0)	[1,7±1,3] (1,0-3,0)	[10,8±3,6] (7,0-13,1)	[6,15±4,9] (4,3-9,7)
Total	[5,8±3,6] (3,0-15)	[3,2±3,2] (0-11)	[10,9±3,5] (7,3-13,1)	[6,2±4,9] (4,3-9,7)

La moyenne des effectifs en fin de l'essai est de [5,8±3,6] et de [3,2±3,2] individus soit une densité estimée à 116 ind/m² et 64 ind/m² respectivement dans BRFV et BRFFV. Il est à observer plus d'individus dans BRFV que BRFFV (Fig. 4.144). Le maximum est de 15 et 11 individus dans BRFV et BRFFV (Tab. 4.100).

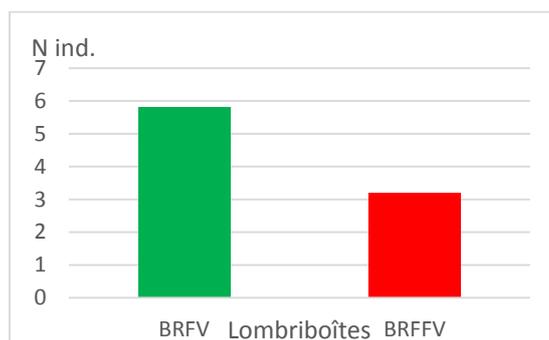


Figure 4.144 : Moyenne des effectifs (N ind.) à la fin de l'essai dans BRFV et BRFFV.

Par ailleurs la moyenne des juvéniles est de [8,3±6,6] et [4,7±6,4] individus dans BRFV et BRFFV (Tab. 4.100). Il y a 2 fois plus d'individus juvéniles dans BRFV que BRFFV (Fig. 4.145). Pour les adultes la moyenne est de [3,3±0,7] et [1,7±1,3] g respectivement dans BRFV et BRFFV. Le nombre d'adultes dans BRFV est plus élevé que BRFFV.

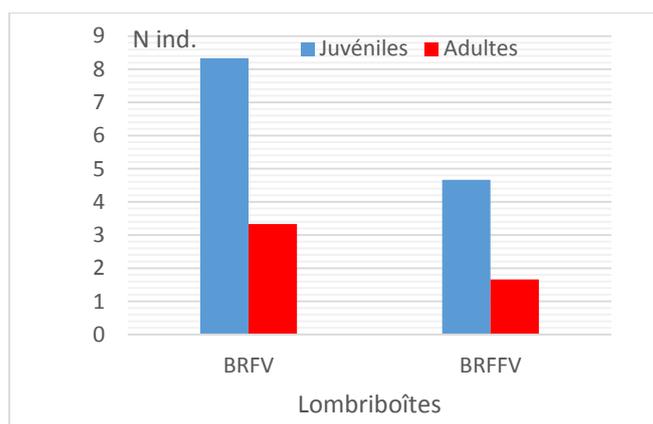


Figure 4.145 : Moyenne des effectifs des juvéniles et des adultes à la fin de l'essai dans BRFV et BRFFV.

La présence de juvéniles et d'adultes montre que *O. complatanus* s'est reproduit. Le BRF est métabolisable, mais le fumier de bovin semble avoir un effet antagoniste en présence du BRF.

Ainsi, Lee, (1985) a indiqué que la densité des vers de terre dans des sols cultivés, jardins et pâtures est de 1000 ind/m². Ouahrani, (2003) a noté la densité des vers de terre de 256 ind/m² dans les sols du bord de l'oued Rhumel (Constantine). Boukria, (2012) a dénombré dans 2 palmeraies, une densité de 26 ind/m² à Ain Ben Noui (sud de Biskra) et de 84 ind/m² à Djamourah (Nord de Biskra). Par ailleurs, Kherbouche *et al.*, (2012) ont rapporté une densité dans la région de la vallée de Soummam de l'ordre de 149 ind/m² sous de plantations d'Olivier et 73 ind/m² sous des plantations d'oranger. Bazri, (2013) a noté 4 ind/m² dans l'étage bioclimatique aride et 41 ind/m² dans l'étage sub-humide. Kaba, (2014) a noté une augmentation de l'effectif d'*Eisenia fetida* avec l'utilisation du BRF de *myoporum*,

Par ailleurs, à la fin de l'essai, la moyenne des biomasses (g) est de [10,9±3,5] et de [6,2±4,9] g respectivement dans BRFV et BRFFV soit une biomasse estimée à 218 g/m² et 124 g/m² respectivement dans BRFV et BRFFV. La biomasse (g) des vers de terre dans BRFV est plus élevée que dans BRFFV (Fig. 4.146).

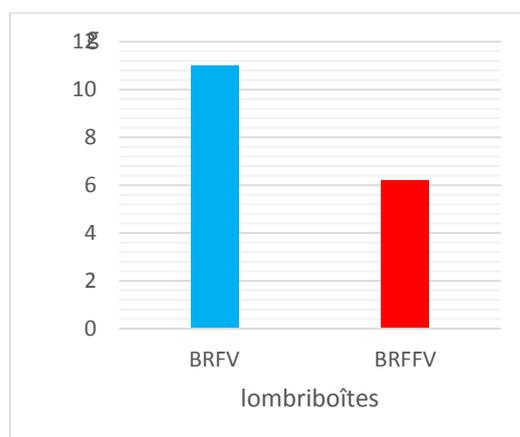


Figure 4.146: Moyenne des biomasses (g) dans lombricoïtes BRFV et BRFFV à la fin de l'essai.

En outre, la moyenne des biomasses de juvéniles est de $[0,1\pm 0,1]$ et de $[0,09\pm 0,09]$ g respectivement dans BRFV et BRFFV. Pour les adultes la moyenne est de $[10,8\pm 3,6]$ et de $[6,15\pm 4,9]$ g. Il est à remarquer d'une part que la biomasse (g) des adultes est supérieure à celle des juvéniles quel que soit le milieu étudié et d'autre part les adultes se sont mieux développés dans BRFV que dans BRFFV (Fig. 4.147).

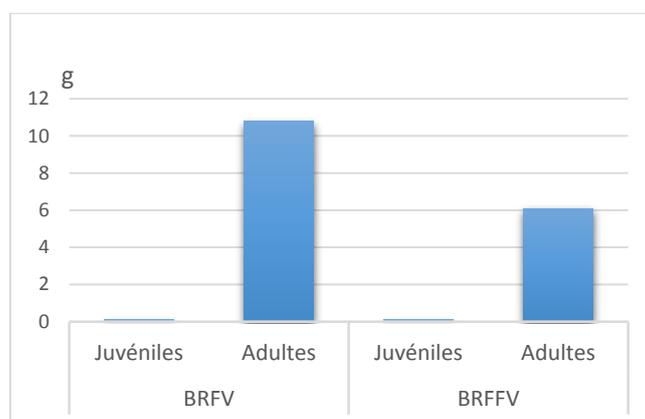


Figure 4.147: Moyenne des biomasses (g) des juvéniles et des adultes dans lombricoïtes BRFV et BRFFV, à la fin de l'essai.

Ainsi, Bouche, (1975) a indiqué que les stations françaises ont une moyenne de biomasse l'ordre de 100 et 200 g/m^2 . Pour Lee, (1985) la biomasse des vers de terre dans des sols cultivés, jardins et pâtures est de 300 g/m^2 . Ouahrani (2003) a rapporté des valeurs de biomasse de 188 g/m^2 dans les sols du bord de l'oued Rhumel (Constantine). Boukria, (2012) a déterminé dans 2 palmeraies, une biomasse de 17 g/m^2 à Ain Ben Noui (sud de Biskra) et de

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

100 g/m² à Djamourah (Nord de Biskra). Kherbouche *et al.*, (2012) ont indiqué que la biomasse des vers de terre dans les terres agricoles varie selon le type de la plantation, elle est de 36 g/m² sous une plantation d'Olivier est de 38.3 g/m² sous une plantation d'Orangeais. Quant à Bazri, (2013) a indiqué que la biomasse moyenne des lombriciens est de l'ordre de 1,07 g/m² dans l'étage bioclimatique aride et de 13 g/m² pour l'étage bioclimatique semi-aride montagnard.

Ainsi, l'apport de BRF du Nectarinier et du fumier de bovins favorise la croissance et le développement d'*O. complanatus*. Toutefois, l'entrant BRF de nectarinier non mélangé au fumier de bovin semble avoir un meilleur impact sur des vers de terre introduits.

4.2.5. Compartiment Blé :

Le tableau 4.3.1 donne les statistiques élémentaires des variables étudiées pour les 3 campagnes de blé que nous avons effectué soit N blé/m² (Nombre de plants de blé germé/m²), pFa (Poids frais parties aérienne (g/m²)), pSa (Poids sec parties aériennes g/m²) , pFr (Poids frais parties racinaires g/m²) et pSr (Poids sec racinaire (g/m²)), Lt (longueur des tiges (cm)), et Lr (longueur des racines (cm)).

Tableau 4.101 : Intervalle de confiance à 95% pour les moyennes estimées des variables étudiées % germination, Lt(cm), Lr(cm), pFa (g/m²), pSa (g/m²) et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses.

	% N	Lt (cm)	Lr (cm)	pFa (g/m ²)	pSa (g/m ²)
T	[20,7±4,9] (1,5-55,5)	[5,8±4,9] (3,8-7,04)	[3,2±0,2] (2,0-4,5)	[3±0,8] (0,1-9,8)	[0,6±0,1] (0,0-1,8)
BRF	[25,8±3,0] (4,5-50,5)	[10,7±0,9] (4,9-16,2)	[4,5±0,2] (3-5,9)	[5,9±0,9] (0,3-11,3)	[1,2±0,2] (0,1-2,4)
BRFF	[37,9±3,2] (10,5-58,5)	[10,5±0,8] (5,5-15,5)	[5,2±0,3] (3,7-7,2)	[8,3±1,1] (0,8-16,2)	[1,6±0,2] (0,2-3,0)
BRFV	[43,3±4,8] (9-64)	[10,4±0,7] (5,9-15,2)	[4,9±0,3] (2,8-6,9)	[7,9±1,3] (2,3-17,3)	[1,7±0,3] (0,5-3,8)
BRFFV	[53,1±5,2] (24,5-87)	[9,9±0,6] (6,1-13,7)	[5,2±0,3] (3,8-7,5)	[11,7±1,8] (1,0_-22,9)	[2,1±0,3] (0,4-4,3)



Figure 4.148 : Graines de blé au stade 4 feuilles dans les différents types de placettes (Kerrouhe, 2016).

A. Taux de Germination du blé (%) :

1. **Dans les placettes :** concernant % de germination la moyenne estimée (Tab. 4.101) est de $[20,7 \pm 4,9]$; $[25,8 \pm 3,0]$; $[37,9 \pm 3,2]$; $[43,3 \pm 4,8]$ et $[53,1 \pm 5,2]$ % respectivement dans T; BRF; BRFF; BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes estimées du taux de germination (%) est très significative ($F_{obs} = 6,669$; $ddl = 4$ et $p < 0,00$). Cela signifie que le taux de germination diffère d'une placette à une autre, ainsi il existe un effet apport (Tab. 4.102 et Fig. 4.149) Par ailleurs, le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 4,102), confirme la différence entre les moyennes estimées 2 à 2 (Fig. 4.150) et nous indique 5 modalités : BRFFV (a) > BRFFV (ab) > BRFF (abc) > BRF (bc) > T (Tab.4.103 et Fig. 4.150).

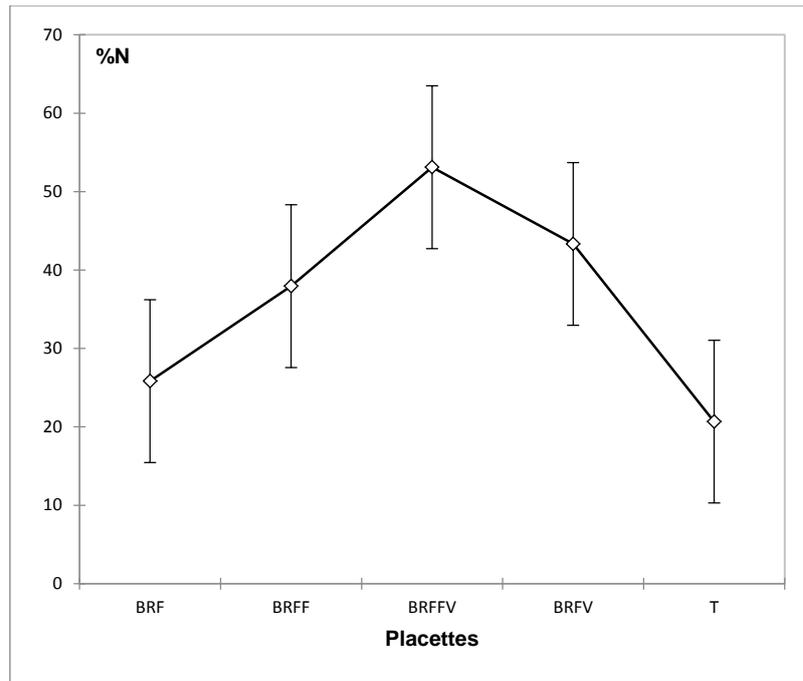


Figure 4.149 : Variation du taux de germination (%N blé) dans les placettes étudiées.

Tableau 4.102 : Analyse de la variance pour la variable taux de germination du blé (%).

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Placettes	4	6197,967	1549,492	6,669	0,001
Récoltes	2	6025,344	3012,672	12,967	< 0,0001
Placettes*Récoltes	8	2511,767	313,971	1,351	0,257

Tableau 4.103 : Classement des moyennes estimées des placettes en fonction de % N blé (test de Tukey).

	%N	
BRFFV	53,111 a	
BRFV	43,333 ab	
BRFF	37,944 abc	
BRF	25,833 bc	
T	20,667 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

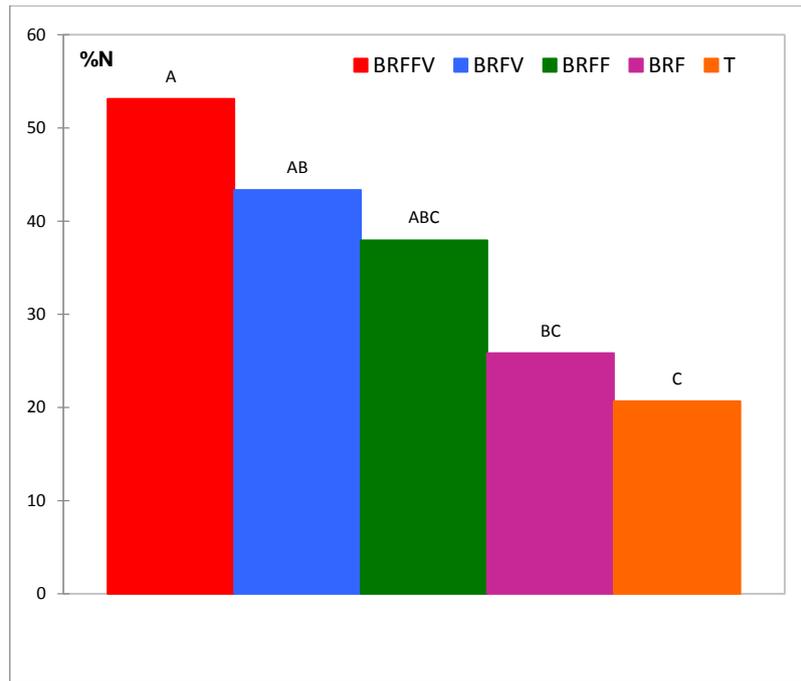


Figure 4.150 : Classement des placettes en fonction du taux de germination du blé (% Nblé) (test de Tukey).

Le taux de germination (%) est plus élevé par rapport à celui du témoin de 32 ;23 ;17 et 5 % respectivement dans BRFFV, BRFV, BRFF et BRF. Ainsi, la composition BRFF, Fumier et vers de terre, stimule la production de blé.

2. Pour les Récoltes (R) : Concernant le taux de germination (%) pour différentes récoltes de blé effectuée, la moyenne estimée est de 29,0 52,5 et 27,0 % respectivement pour la campagne R1, R2 et R3. La différence entre les moyennes des récoltes est très significative ($F_{obs} = 12,967$; $ddl = 2$ et $p < 0,000$) (Tab. 4.102 et Fig. 4.151). Le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 3,486) indique 2 modalités S2 (a) > S1 et S2 (b) (Tab. 4.104). Cela signifie que la germination (%) à la 2ème récolte (53%) est plus importante que celle de la 1^{ère} (29%) et 3^{ème} récolte (19%).

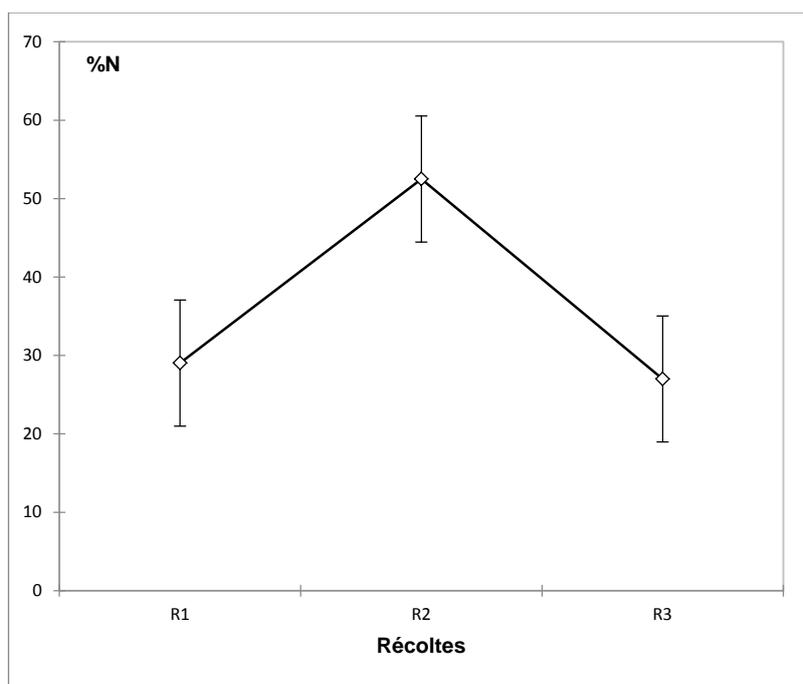


Figure 4.151 : Variation du taux de germination de blé (%).

Tableau 4.104 : Classement des récoltes de blé en fonction du taux de germination (%N blé) (test de Tukey).

	%N	
R2	52,500 a	
R1	29,033 b	
R3	27,000 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

Ainsi le BRF additionné de fumier et de vers de terre est la meilleure composition pour un meilleur taux de germination et la 2^{ème} récolte (R2) est plus élevée que R1 et R3.

Pour le % de germination nous avons noté (Tab. 4.102 et Fig. 4.149) une différence très significative entre les différents types de placettes). Ainsi nous avons remarqué que les placettes BRFFV et BRFFV ont le % de germination le plus élevé suivi de BRFF, BRF et celui des placettes témoins est le plus bas (Tab.4.103 et Fig. 4.150). Pour les récoltes il existe une différence très significative pour le % de germination (Tab. 4.102 et Fig. 4.151). En effet la 2^{ème} récolte est plus importante (Tab. 4.104). Ces résultats sont en accord avec ceux de N'Dayegamiye et Dubé (1986), qui ont indiqué que l'apport de BRF avec ou sans lisier

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

contribue à l'augmentation des rendements. Ces auteurs ont observé que l'apport de BRF, a diminué les rendements de blé de 20 à 80 % pour la 1^{er} récolte et pour la 2^{ème} récolte il y a eu une augmentation significatives des rendements de blé de l'ordre de 20 à 190 % . Et lorsqu'ils ont effectué un 2^{ème} apport de BRF, ils ont noté à la 3^{ème} récolte un accroissement des rendements de l'orge de l'ordre de 10 % et la 4^{ème} récolte une augmentation des rendements de blé de l'ordre de 30 à 70 % par rapport au témoin. Par ailleurs, Soumare *et al.*, (2002) ont observé que l'apport de BRF induit une diminution des rendements en tomate pour la 1^{ère} récolte, par contre un accroissement de l'ordre de 40 à 60 % pour la 2^{ème} récolte. En outre, Robert *et al.*, (2014) avec l'apport de BRF, ont noté une augmentation de rendement de tomate de 200% par rapport au témoin. Par ailleurs, Zaater *et al.*, (2018), sur une étude de l'influence du mélange de BRF de 2 espèces d'arbres (*Lucaena leucocephala* et *Olea europaea*) ont noté une augmentation de 100 % du taux de la germination de la pomme de terre.

Aussi, Laroche, (1994) a indiqué que l'apport de BRF avec des engrais azotés augmente le rendement. En Côte d'Ivoire, Aman, (1996) en étudiant l'influence de 5 espèces d'arbres, sur le rendement de maïs, a observé une augmentation de 20 à 200 % par rapport au témoin. Des résultats similaires ont été observés par Gómez, (2003), qui a indiqué une augmentation de rendement de maïs de l'ordre de 40 à 56 % après apport de BRF.

Jan *et al.*, (2011) ont signalé que l'application de fumier améliore la croissance et augmente le rendement du blé. Andriamananjara *et al.*, (2016) ont remarqué que l'utilisation de fumier augmente le rendement de riz. Soremi *et al.*, (2017) ont rapporté que l'utilisation du fumier contribue à l'augmentation des rendements. D'autres résultats ont été signalés concernant l'influence positive des amendements organiques sur les rendements (Mahmood *et al.*, 1997 ; Blair *et al.*, 2006 ; Sétémé et Mey, 2007 ; Tejada *et al.*, 2007 ; Cherif *et al.*, 2009 ; Du *et al.*, 2012 ; Schmidt *et al.*, 2014 ; Agegnehu *et al.*, 2015 ; Debiase *et al.*, 2016 ; Biaou *et al.*, 2017 ; Blanchet *et al.*, 2016).

Sharma et Madan, (1987) ont rapporté que l'apport de fumier seul contribue à l'accroissement des rendements de blé et de maïs, mais l'ajout des vers de terre de l'espèce *posthuma* (Vaillaint) au fumier n'a pas montré de grandes différences sur le rendement. Toutefois, Padmavathiamma *et al.*, (2008) ont rapporté que l'utilisation des vers de terre avec les amendements organique augmente le rendement. Ces auteurs ont utilisé cinq espèces de vers de terre ; *Eudrillus eugineae*, *Eisenia foetida*, *Perionyx sansibaricus*, *Pontoscolex*

corethrurus et *Megascolex chinensis*, ils ont trouvé que *Eudrillus eugineae* donne les meilleurs résultats concernant les rendements.

B. Longueur des tiges de blé (Lt (cm)) :

1. Selon les placettes :

Le tableau 4.101 donne les moyennes de Lt (cm/m²) de [5,8±4,9] ; [10,7±0,9] ; [10,5±0,8] ; [10,4±0,7] et [9,9±0,6] cm respectivement dans T, BRFF, BRFFV, BRFV et BRF. La différence est très significative (Fobs= 43,626 ; ddl=4 et p<0,000) (Tab. 4.105, Fig. 4.152). Par ailleurs le test de Tukey (valeur critique= 4,102) montre 2 classes différentes soit BRFF =BRFFV= BRFV =BRFFV (a)> T (b) (Tab. 4.106 ; Fig. 4.153).

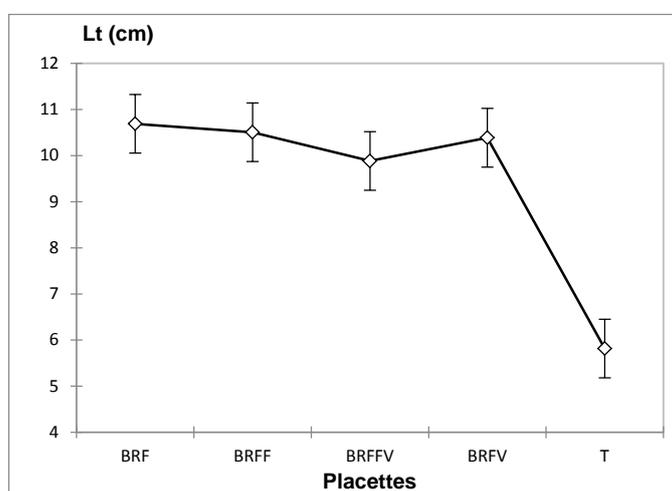


Figure 4.152 : Variation des moyennes des longueurs des tiges de blé (Lt (cm)) selon les placettes étudiées.

Tableau 4.105 : Analyse de la variance pour la variable longueur des tiges (Lt (cm)).

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Placettes	4	152,272	38,068	43,626	< 0,0001
Récoltes	2	345,093	172,547	197,740	< 0,0001
Placettes*Récoltes	8	54,933	6,867	7,869	< 0,0001

Tableau 4.106 : Classement des placettes d'étude et de Lt (cm/m²) (Test Tukey).

	Lt (cm)	
BRF	10,689 a	
BRFF	10,506 a	
BRFV	10,387 a	
BRFFV	9,884 a	
T	5,817 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

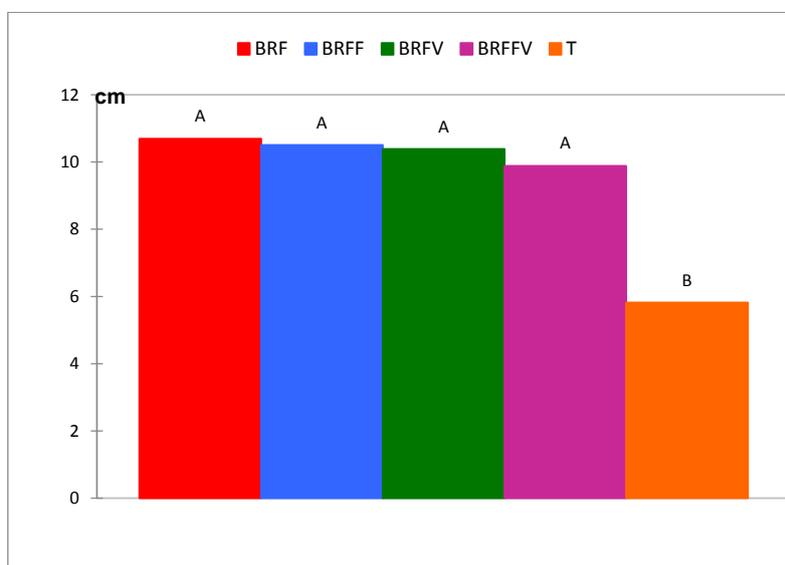


Figure 4.153 : Classement des placettes d'études et Lt (cm) (Test de Tukey).

2. Selon les Récoltes :

Les moyennes estimées de Lt (cm) sont de de 12,6 ; 9,9 et 5,9 cm respectivement dans R1, R2 et R3. La différence est très significative ($F_{obs} = 197,740$; $ddl=2$ et $p < 0,000$) (Tab. 4.105). Par ailleurs le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 3,486) montre 3 classes de longueurs de tiges (cm) différentes soit R1 (a) > R2 (b) > R3 (Tab. 4.3.7, Fig. 4.154).

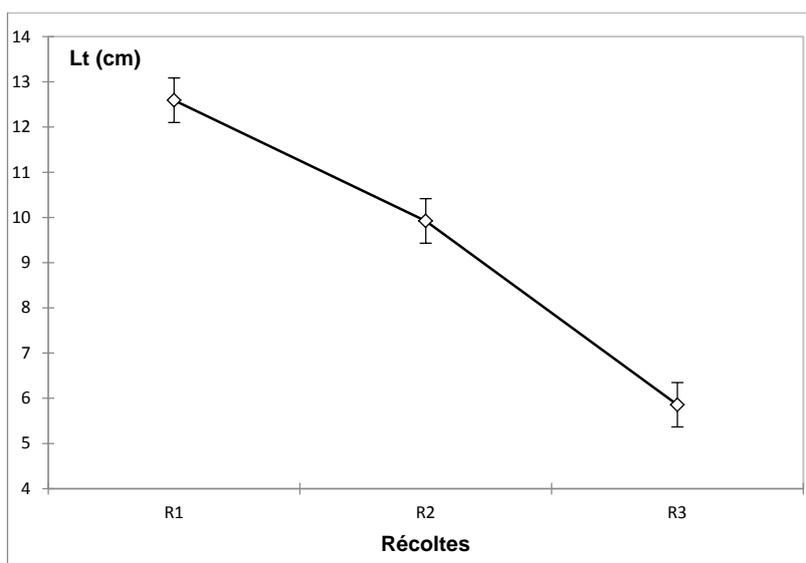


Figure 4.154: Variation des moyennes des longueurs des tiges de blé (Lt (cm)) selon les campagnes de récoltes.

Tableau 4.107 : Classement des campagnes de récoltes selon Lt (cm) (Test Tukey).

	Lt (cm)	
R1	12,592 a	12,592
R2	9,921 b	9,921
R3	5,857 c	5,857
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

En outre, il est à observer (Tab. 4.105 et Fig. 4.155) qu'il y a un effet interaction des placettes*récoltes très significatif des longueurs de tiges (cm) ($F_{obs} = 7,869$; $ddl=8$ et $p < 0,000$) (Tab. 4.105, Fig. 4.155); ce qui signifie que la longueur des tiges (cm) est différente d'une placette à une autre et d'une récolte à une autre (Fig. 4.155). Par ailleurs le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 5,211) distingue 6 classes différentes soit BRF*R1 et BRFF*R1(a) > BRFFV*R1(ab) > BRFFV*R1(abc) > BRFFV*R2(bc) > BRF*R2 ; BRFF*R2 ; BRFFV*R2 (c) > T*R2 ; BRFFV*R3 ; BRFFV*R3 ; BRFF*R3 ; T*R1 ; BRF*R3 et T*R3 (d) (Tab. 4.108 et Fig. 4.156).

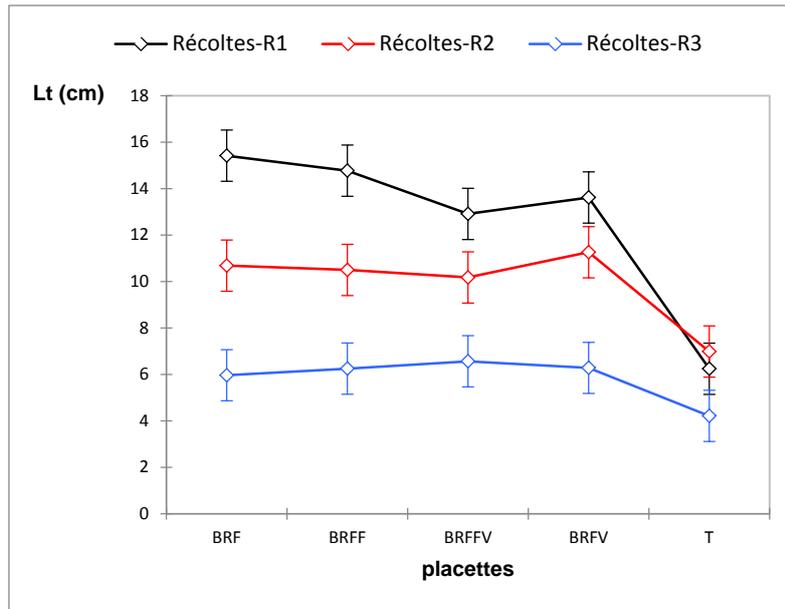


Figure 4.155 : Variation des longueurs des tiges de blé (Lt (cm) placettes*seme

Tableau 4.108 : Classement des placettes*semences selon Lt (cm/m²) (Test Tukey).

	Lt (cm)	
BRF*R1	15,417 a	
BRFF*R1	14,770 a	
BRFV*R1	13,617 ab	
BRFFV*R1	12,910 abc	
BRFV*R2	11,262 bc	
BRF*R2	10,685 c	
BRFF*R2	10,498 c	
BRFFV*R2	10,175 c	
T*R2	6,987 d	
BRFFV*R3	6,567 d	
BRFV*R3	6,283 d	
BRFF*R3	6,250 d	
T*R1	6,247 d	
BRF*R3	5,967 d	
T*R3	4,217 d	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

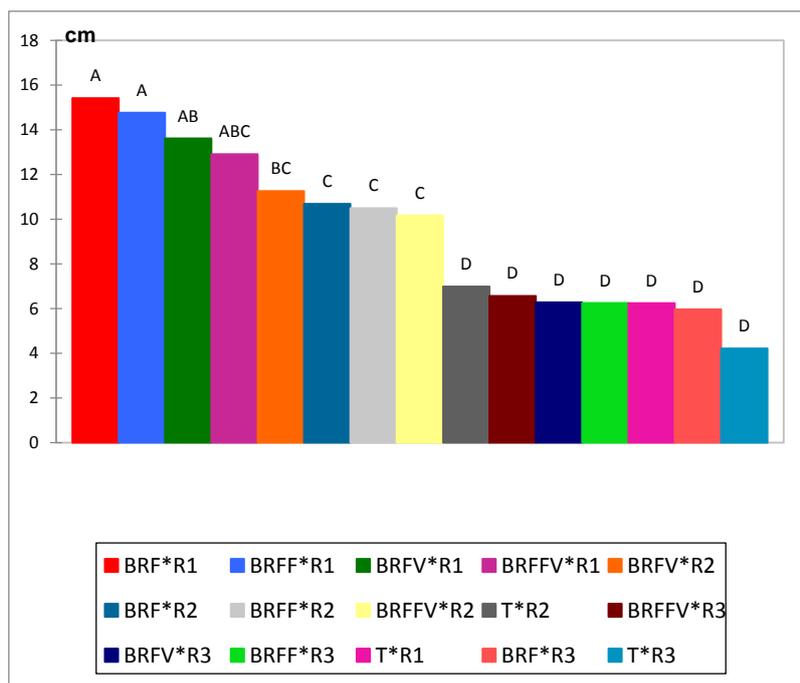


Figure 4.156 : Classement placettes*semences selon Lt (cm) (Test de Tukey).

Pour la longueur des tiges (cm) de blé, la différence est très significative (Tab. 4.105, Fig. 4.152). En effet, la longueur des tiges (cm) est très importante dans les placettes qui ont reçu le BRF et le fumier que les placettes témoins (Tab. 4.106 ; Fig. 4.153). Pour les récoltes, la différence est aussi très significative (Tab. 4.105 ; Fig. 4.154). Ainsi la récolte R1 a la longueur de tiges (cm) la plus élevée (Tab. 4.107). En outre, nous avons observé qu'il y a un effet interaction des parcelles*récoltes très significatif des longueurs de tiges (cm) (Tab. 4.105, Fig. 4.3.7); ce qui signifie que la longueur des tiges (cm) est différente d'une placette à une autre et d'une récolte à une autre (Fig. 4.155). Ainsi *Zaater et al.*, (2018) ont rapporté que l'utilisation de BRF contribue à l'augmentation de la longueur des tiges de la pomme de terre. *Mohsin et al.*, (2012) ont rapporté que l'utilisation de 50% de N provenant du fumier avec 50% de N provenant d'engrais minéraux produit des épis plus longs (18,6 cm) de maïs. Aussi, *Rehman et al.*, (2016) en utilisant le fumier, ont noté une augmentation de la longueur de la partie aérienne des pousses de l'ordre de 8,4 à 18 % par rapport au témoin. *Soremi et al.*, (2017) ont rapporté que l'utilisation du fumier contribuent à l'augmentation de la hauteur des plantes.

C. Longueur des racines des plantes de blé (cm/m²) :

1. Selon les placettes : La moyenne des longueurs des racines de blé (Tab. 4.101) est de [3,2±0,2] [4,5±0,2] [5,2±0,3] [4,9±0,3] et [5,2±0,3] cm respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence est très significative ($F_{obs} = 6,720$, ddl=4 et $p < 0,001$) (Tab. 4.109 et Fig.4.157). Le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 4,102) montre 3 classes significativement différentes BRFF, BRFFV et BRFFV (a) > BRF (ab) > T (Tab. 4.110 et 4.158).

Tableau 4.109 : Analyse de la variance pour la variable longueur des racines (Lr (cm)).

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Placettes	4	24,856	6,214	6,720	0,001
Récoltes	2	10,267	5,134	5,551	0,009
Placettes*Récoltes	8	15,820	1,977	2,138	0,063

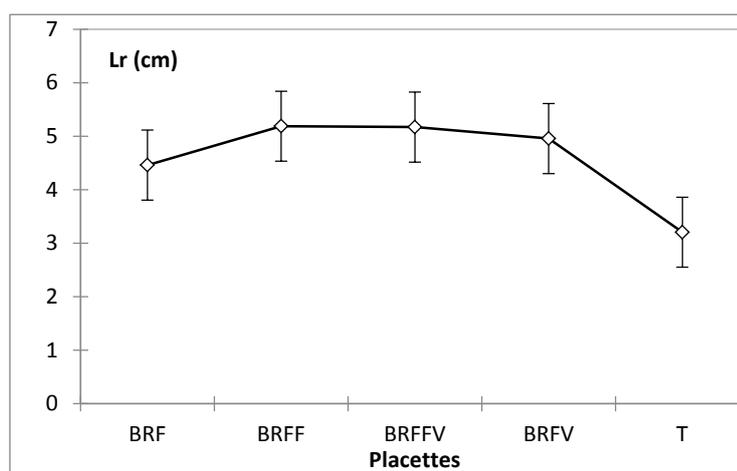


Figure 4.157 : Variation des moyennes des longueurs des racines de blé (Lr (cm)) dans les placettes étudiées.

Tableau 4.110 : Classement des placettes en fonction de Lr (cm) (Test Tukey).

Lr (cm)	
BRFF	5,187 a
BRFFV	5,171 a
BRFV	4,956 a
BRF	4,460 ab
T	3,206 b
Pr > F	< 0,0001
Significatif	Oui

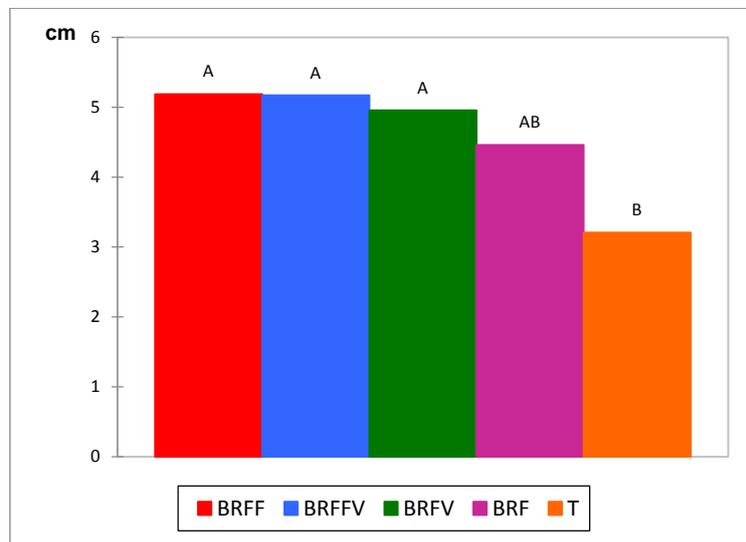


Figure 4.158 : Classement des placettes selon Lr (cm) (Test de Tukey).

2. Selon les Récoltes : La moyenne des longueurs des racines est de de 5,3 ; 4,3 et 4,2 cm respectivement dans R1, R2 et R3 la différence est significative ($F_{obs}=5,551$; $ddl =2$ et $p<0,009$) (Tab. 4.109, Fig. 4.159). La valeur de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 3,486) montre 2 modalités significatives $S1 (a) > S3 =S2 (b)$ (Tab. 4.111).

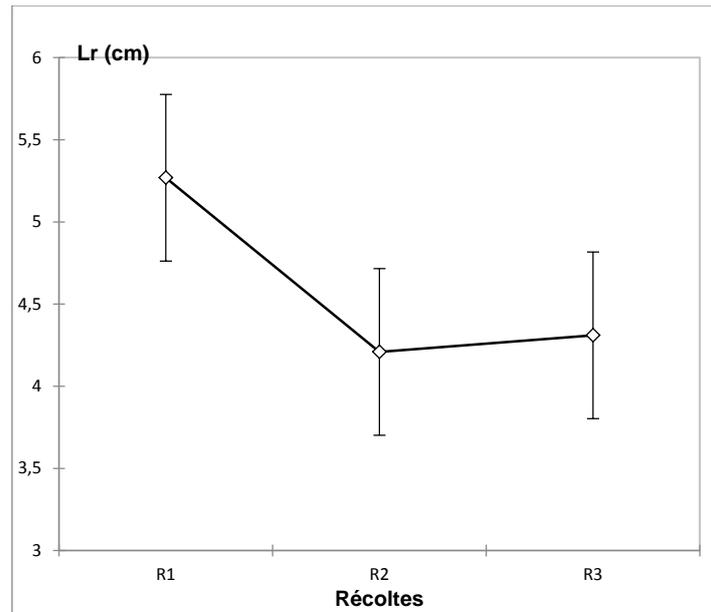


Figure 4.159 : Variation des moyennes des longueurs des racines de blé (Lr (cm) selon les campagnes de récoltes.

Tableau 4.111 : Classement campagne de récoltes en fonction de Lr (cm) (Test Tukey).

Lr (cm)	
R1	5,269 a
R3	4,310 b
R2	4,209 b
Pr > F < 0,0001	
Significatif	Oui

La figure 4.160 : montre que la moyenne des longueurs des tiges (9,5 cm) est significativement différente ($t_{obs}=10,708$; $ddl= 44$, $\alpha<0,05$) des moyennes longueurs des racines (4,6 cm). Ainsi la longueur des tiges de blé est en moyenne 2 fois plus grande que les racines (Fig. 4.160).

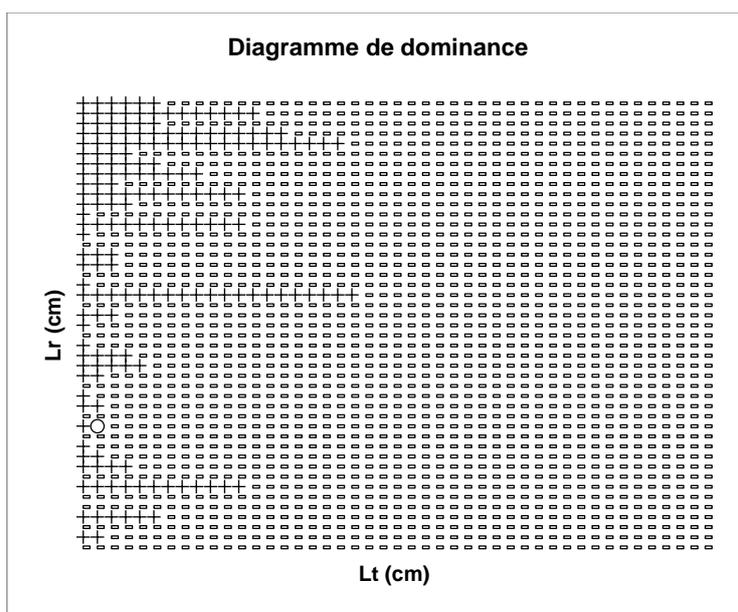


Figure 4.160 : Diagramme de dominance (Lt (cm)).

Pour la longueur des racines des plantes de blé (cm), la différence est très significative (Tab. 4.109 et Fig.4.157) entre les placettes. En effet, la longueur des racines (cm) est très importante dans les placettes qui ont reçu le BRF et le fumier par rapport aux témoins (Tab. 4.110 et Fig. 4.158). La différence entre la moyenne des longueurs des racines (cm) selon les récoltes est aussi significative (Tab. 4.109, Fig. 4.159), ainsi R1 a la longueur des racines la plus élevée (Tab. 4.159). Par ailleurs, la longueur des tiges de blé est en moyenne 2 fois plus grande que les racines (Fig. 4.160). Killi et Kavdir (2013), ont noté que l'utilisation des déchets organiques des olives ont contribuaient à l'augmentation de la longueur des racines. Ouni *et al.*, (2014) indiquent que l'apport des déchets solides municipaux a contribuaient à l'accroissement de la longueur des racines. Quant à Papafilippaki *et al.*, (2015) ont observé que l'apport des déchets solides n'a pas affecté la longueur des racines. Rehman *et al.*, (2016) en utilisant le fumier, ont noté une augmentation de la longueur des racines de 11,6 à 20% par rapport au témoin.

D. Productivité de la phytomasse Fraiche aérienne (pFa (g/m²)) :

- 1. Selon les placettes :** Les moyennes estimées (Tab 4.101) pour le pFa (g/m²) sont de [3,0±0,8] ; [5,9±0,9] ; [8,3±1,1] [7,9±1,3] et [11,7±1,8] g/m² respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes obtenues sont significatives (Fobs= 5,337, ddl=4, p<0,002) (Tab. 4.112 et Fig. 4.161). Par ailleurs, le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 4,102) permet de classer les parcelles en 3 modalités selon la production primaire

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

aérienne (g/m^2), nous avons ainsi, BRFFV (a) > BRFF et BRFFV (ab), BRF (ab) > T (b) (Tab. 4. 113 et Fig.4.162). Cela nous renseigne que les parcelles où il y a eu un apport de BRF additionné de fumier et vers de terre ont une production de biomasse fraîche aérienne (g/m^2) plus élevée.

Tableau 4.112 : Analyse de la variance pour la variable (pFa (g/m^2)).

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Placettes	4	327,227	81,807	5,337	0,002
Récoltes	2	700,932	350,466	22,864	< 0,0001
Placettes*Récoltes	8	130,850	16,356	1,067	0,411

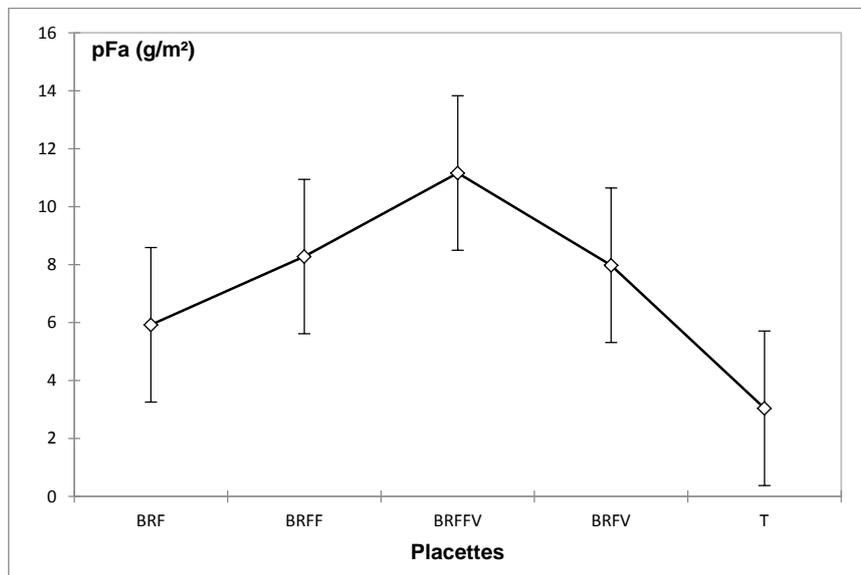


Figure 4.161 : Variation des moyennes du pFa (g/m^2) dans les placettes étudiées.

Tableau 4.113 : Classement des placettes selon pFa (g/m²) (Test de Tukey).

	pFa(g/m ²)	
BRFFV	11,162 a	
BRFF	8,279 ab	
BRFV	7,978 ab	
BRF	5,923 ab	
T	3,042 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

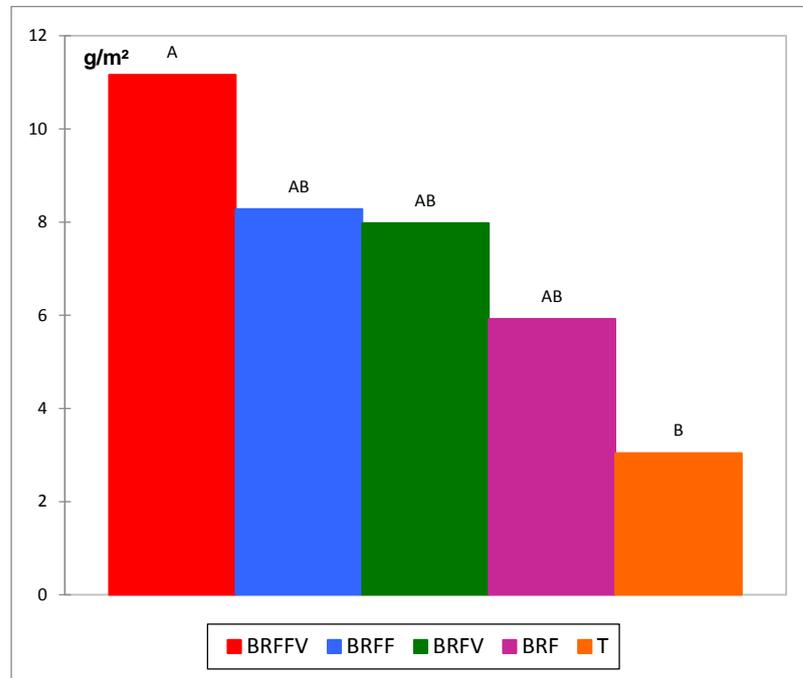


Figure 4.162: Classement des placettes selon pF a (g/m²) (Test de Tukey).

2. Selon les récoltes : Les moyennes estimées des pF a (g/m²) est de 7,9, 11,8 et 2,2 g/m² respectivement pour R1, R2 et R3. La différence entre les récoltes est très significative (Fobs= 26,327, ddl =2 et p<0,000) (Tab.4.112 et Fig. 4.163). Le Test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 3,486) indique 3 modalités R2 (a)>R1 (b)>R3 (c) (Tab. 4.114) Cela signifie que la production (g/m²) du blé est plus élevée pendant la 2^{ème} campagne de semence de blé.

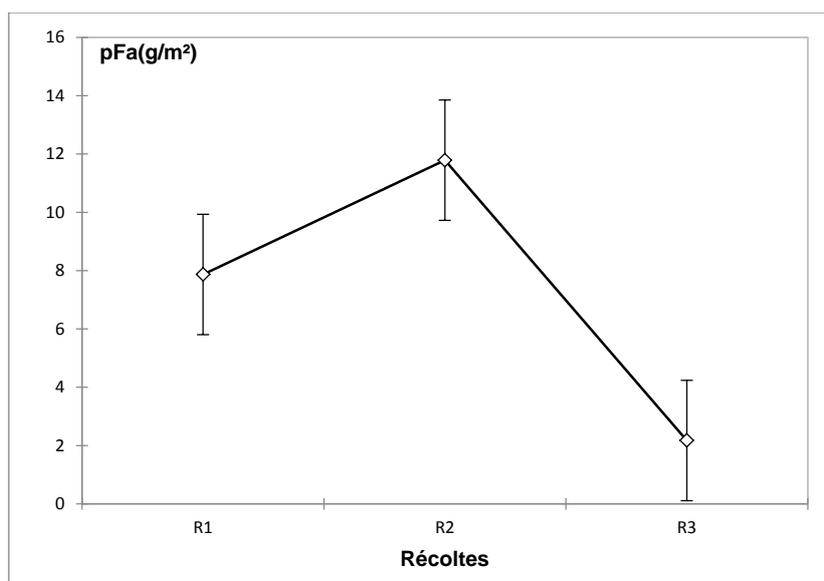


Figure 4.163 : Variation des moyennes pFa (g/m²) en fonction des récoltes.

Tableau 4.114 : Classement des campagnes de récoltes en fonction de pFa (g/m²) (Test de Tukey).

	pFa(g/m ²)	
R2	11,786 a	
R1	7,870 b	
R3	2,174 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

Pour la production de la biomasse fraîche aérienne (g/m²), la différence entre les moyennes des placettes obtenues sont significatives (Tab. 4.112 et Fig. 4.161). En effet l'apport d'entrants énergétiques (BRF et Fumier) stimule la production de biomasse (g/m²) par rapport aux témoins (T) (Tab. 4.113 et Fig.4.162). Toutefois, la présence de vers de terre avec BRF et fumier (BRFFV) favorise plus la production de la biomasse fraîche aérienne (pFa (g/m²)) (Tab. 4.113 et Fig.4.162).

Selon les récoltes (R1, 2 et 3) la différence entre les moyennes estimées du pFa (g/m²) est très significative (Tab.4.112 et Fig. 4.163). En effet, la 2ème récolte de pFa (g/m²) est la plus élevée (Tab. 4.114).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Ainsi, Lee *et al.*, (2004) rapportent que l'utilisation de fumier contribue à l'accroissement de la matière fraîche aérienne de la salade. Killi et Kavdir, (2013), ont noté que l'utilisation des déchets organiques des olives contribuait à l'augmentation du taux de la matière fraîche de la tomate (*Solanum lycopersicum*) par 4%. Quant à Ouni *et al.*, (2014), indiquent que l'apport des déchets solides municipaux contribuait à l'accroissement de la matière fraîche aérienne de 37 à 47 % par rapport au témoin. Par ailleurs, Zaater *et al.*, (2018) ont rapporté que l'utilisation de BRF contribue à l'augmentation du poids frais des feuilles de la pomme de terre. Ces auteurs ont enregistré une augmentation du poids frais des feuilles de l'ordre de 1,3 g dans les parcelles qui ont reçu un mélange de BRF de Lucena (*Lucaena leucocephala*) et d'olivier (*Olea europaea*) par rapport au témoins qui était juste 0,3 g, ce qui équivaut à une augmentation de l'ordre de 447 % par rapport au témoin (Zaater *et al.*, 2018).

E. Phytomasse sèche (pS a (g/m²)) :

1. Selon les placettes : Les moyennes estimées (Tab. 4.101) sont [0,6±0,1] ; [1,2±0,2] ; [1,6±0,2] ; [1,7±0,3] et [2,1±0,3] g/m² respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence est significative (Fobs= 4,912; ddl=4 et p<0,004) (Tab. 4.115 et Fig. 4.164). Cela signifie que la biomasse sèche aérienne (g/m²) est différente d'une placette à une autre. Le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 4,102) montre que les placettes sont classées en 3 modalités en fonction de la production de biomasse sèche (g/m²) soit BRFFV et BRFFV (a) > BRFF et BRF (ab) > T (b) (Tab. 4.116 et Fig. 4.165). Nous observons que la présence de fumier et de vers de terre dans le BRF stimulent la production de la matière sèche de blé.

Tableau 4.115 : Analyse de la variance pour la variable (pSa (g/m²)).

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Parcelles	4	11,181	2,795	4,912	0,004
Récoltes	2	26,586	13,293	23,361	< 0,0001
Parcelles*Récoltes	8	4,078	0,510	0,896	0,532

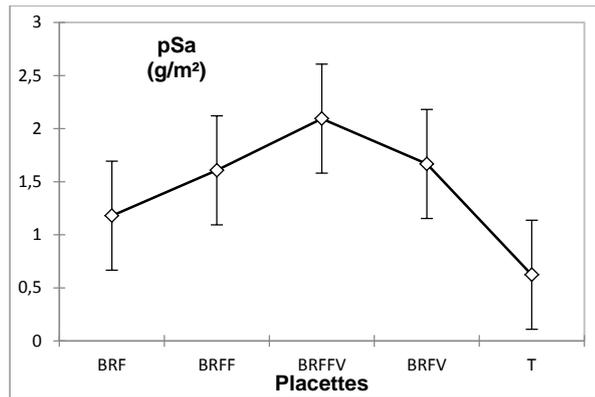


Figure 4.164 : Variation des moyennes pSa (g/m²) en fonction des parcelles étudiées.

Tableau 4.116 : Classement des parcelles étudiées en fonction de pSa (g/m²) (Test Tukey).

pSa (g/m ²)		
BRFFV	2,094 a	
BRFV	1,668 a	
BRFF	1,607 ab	
BRF	1,180 ab	
T	0,623 b	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

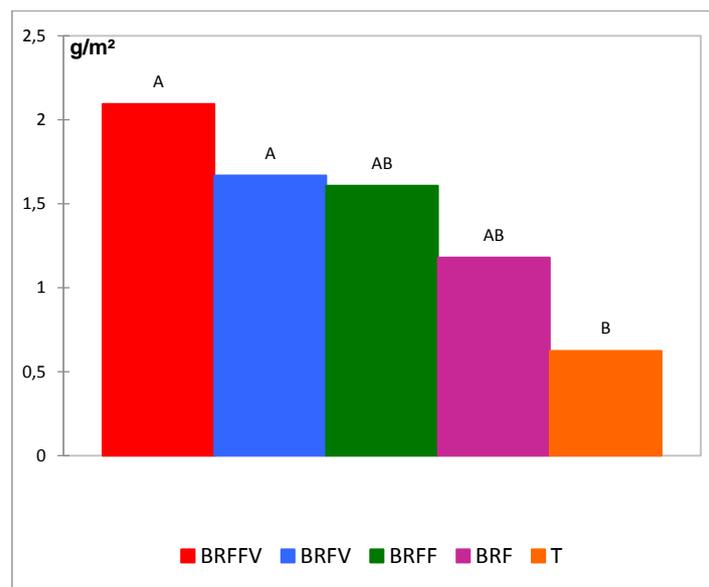


Figure 4.165 : Classement des placettes en fonction du pSa (g/m²) (Test de Tukey).

2. Selon les récoltes : Les moyennes des biomasses sèches des parties aériennes du blé (pSa (g/m²)) sont de 1,5 ; 2,3 et 0,5 g/m² respectivement dans R1, R2 et R3 (Fig. 4.166). La différence est très significative entre les différentes moyennes pSa (g/m²) dans les 3 récoltes effectuées (Fobs=23,361 ; ddl=2 et p<0,0000) (Tab. 4.115). Le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 3,486) montre 3 modalités soit R2 (a) >R1 (b) > R3(c) (Tab. 4.117).

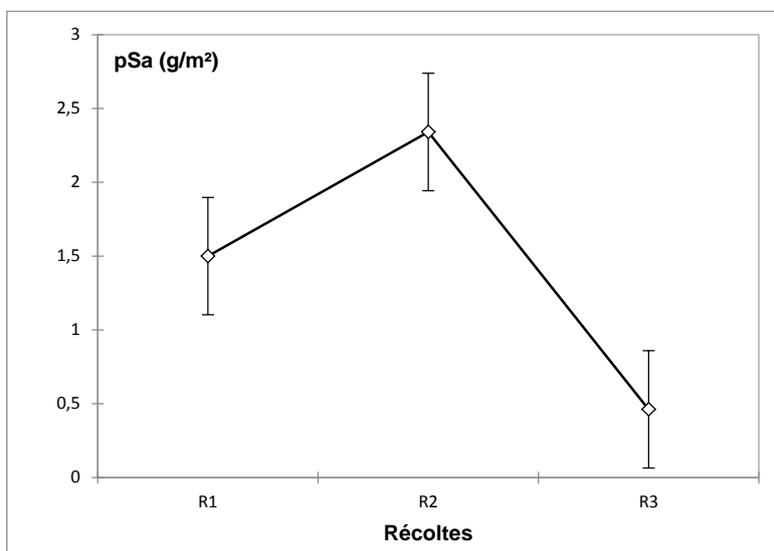


Figure 4.166 : Variation des moyennes pSa (g/m²) en fonction des récoltes de blé.

Tableau 4.117 : Classement des placettes étudiées en fonction de pSa (g/m²) (Test Tukey).

	pSa (g/m ²)	
R2	2,341 a	
R1	1,500 b	
R3	0,462 c	
Pr > F	< 0,0001	
Significatif	Oui	

Pour la production de la biomasse sèche (pS a (g/m²)), La différence est significative entre les différentes placettes (Tab. 4.115 et Fig. 4.164), ainsi les placettes BRFFV ont la production de la biomasse sèche (pS a (g/m²)) la plus élevée (Tab. 4.116 et Fig. 4.165). Concernant la différence entre les moyennes des biomasses sèches des parties aériennes du blé (pSa (g/m²)), elle est très significative entre les différentes moyennes dans les 3 récoltes effectuées (Tab. 4.115). la récolte R2, a la production de la biomasse sèche (pS a (g/m²)) la plus élevée (Tab. 4.117).

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

Pour Mbarki *et al.*, (2008), l'utilisation des déchets solides municipaux a contribué à l'augmentation de la matière sèche de la Luzerne cultivée (*Medicago sativa*). Par ailleurs, Lakhdar *et al.*, (2011), ont rapporté que l'application des déchets solides municipaux a augmenté la matière sèche de la griffe de sorcières (*Carpobrotus edulis*) de plus de 93% en moyenne par rapport au témoin. En outre, Killi et Kavdir (2013), ont noté que l'utilisation des déchets organiques des olives, contribue à l'augmentation de la matière sèche. Rehman *et al.*, (2016), en utilisant le fumier, ont noté une augmentation de la matière sèche de la partie aérienne et des racines du maïs de 5 à 9 % (*Zea mays L.*). Par ailleurs, Zaater *et al.*, (2018) ont noté que l'utilisation de BRF contribue à l'augmentation de la phytomasse sèche des feuilles de pomme de terre. En effet, ces auteurs ont enregistré une augmentation du poids sec des feuilles de 0,62 g dans les parcelles qui ont reçu un mélange de BRF de Lucena (*Lucaena leucocephala*) et d'olivier (*Olea europaea*) par rapport au témoins (0,12 g), ce qui équivaut à une augmentation de la phytomasse sèche de 517 % par rapport au témoin.

Aussi, pour notre étude, l'apport de BRF de nectarinier (*Prunus persica* var. nucipersica) et du fumier de bovin, stimule significativement la productivité (g/m²) du blé dur (*Triticum durum*) de la variété Hedba 3. En effet, la phytomasse fraîche et sèche aérienne (g/m²), ont augmenté respectivement de 282 % et de 275 % par rapport au T.

5.3 Corrélation entre compartiment abiotique et biotique :

Le tableau : 4.118 indiquent les corrélations des paramètres biotiques et abiotiques :

Tableau 4.118 : Corrélation des paramètres biotiques et abiotiques.

Variables	Collemboles (ind/m ²)	Acariens (ind/m ²)	pHsol	Ce (µS/cm ²)	T°C sol	%Hsol	%Caco3	% Caco3 actif	Ms blé	QBS
Collemboles (ind/m ²)	1									
Acariens (ind/m ²)	0,718**	1								
pHsol			1							
Ce (µS/cm ²)			-0,722**	1						
T°C sol			0,791**	-0,745**	1					
%Hsol	-0,171*		-0,731**	0,764**	-0,793**	1				
%Caco3	-0,267**	-0,189*	-0,561**	0,641**	-0,687**	0,694**	1			
% Caco3 actif			0,385**	-0,502**	0,278**	-0,421**	-0,413**	1		
Ms blé	-0,196*		-0,412**	0,293**	-0,465**	0,428**	0,198**		1	0,169*
QBS	0,305**	0,422**	-0,505**	0,446**	-0,525**	0,305**	0,185**			1

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

**Les valeurs sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,01$ (très significative) (Annexe, II).

* Les valeurs sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$ (significative) (Annexe, II).

Le tableau des corrélations (4.118) montre que :

Le pH est corrélé positivement et très significativement avec la $T^{\circ}\text{C}_{\text{sol}}$ (0,791) et le % CaCO_3 actif (0,385), il est lié négativement et très significativement à la Ms (g/m^2) de blé (-0,412), au QBS (-0,505) et à la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$) (-0,722), à l' % H sol (-0,731) et au % CaCO_3 (-0,561) (Tab. 4.118). Selon, Maachi, 2005, le pH du sol doit être voisin de la neutralité, un pH de 6,5 à 7,5. Pour, Ben Naceur *et al.*, (2001), les blés durs sont sensibles au calcaire et à la salinité. Pour, Mathieu et Pieltain, (2009), le calcium joue un rôle chimique dans la mesure où il régularise le pH des sols.

Pour la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$), elle est corrélée positivement et très significativement avec la Ms (g/m^2) de blé (0,293) et l'Indice QBS (0,446) (Tab. 4.118). La CE ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$) est également corrélée positivement et très significativement avec l' % Hsol (0,764) et le % CaCO_3 total (0,641), et négativement et très significativement avec la $T^{\circ}\text{C}$ (-0,745), et le % CaCO_3 actif (-0,502) (Tab. 4.118). Selon, Ben Naceur *et al.*, (2001), les blés durs sont sensibles à la salinité, ainsi lorsque les sels dépassent un certain seuil, ils empêchent les plantes de s'alimenter en eau (Mathieu et Pieltain, 2009). Ainsi, le sol choisi, appartient à la classe non saline, ce qui est favorable à la culture du blé. Par ailleurs, pour, Mathieu et Pieltain, 2009, le calcium favorise les échanges des ions et la mobilité des ions augmente avec la température (Mathieu et Pieltain, 2009).

La $T^{\circ}\text{C}_{\text{sol}}$, est corrélée positivement et significativement avec le % CaCO_3 actif (0,278) mais et très significativement avec l' % Hsol (-0,793) et le % CaCO_3 (-0,687) (Tab. 4.118). En revanche, la $T^{\circ}\text{C}_{\text{sol}}$, est lié négativement et très significativement avec la Ps de blé (g/m^2) (-0,465), et l'Indice QBS (-0,525) (Tab. 4.118). Pour, Thomson, (1980), quand la température augmente l'humidité diminue et quand la température diminue l'humidité augmente. Et pour, Hazmoune, 2000, les effets des hautes températures sur les cultures se traduisent par une diminution de la productivité primaire.

L' % Hsol est corrélé positivement et très significativement avec le % CaCO_3 total (0,694), et la Ps (g/m^2) de blé (0,428) et négativement et très significativement avec le % CaCO_3 actif (-0,421) et la densité des collemboles (ind/m^2) (-0,171). Selon, Mathieu et Pieltain, 2009, le % CaCO_3 total joue un rôle physique important dans le sol, car il rend la structure des sols plus

Chapitre 4 : Résultats et Discussion

meuble et plus stable, celle-ci favorise la perméabilité à l'eau et à l'air . Pour Ollier et Poirée, (1981), la culture du blé, exige une humidité permanente, cette exigence varie selon le stade de développement de la plante. Pour, Ferrahi et Djema, (2004), l'humidité du sol demeure le facteur essentiel ayant une influence directe sur la pullulation et le comportement de la faune du sol.

Concernant, le % CaCO_3 , est corrélé négativement et très significativement avec le % CaCO_3 actif (-0,413) (Tab. 4.118) et positivement et significativement avec la Ms (g/m^2) du blé (0,198). Selon Mathieu et Pieltain, (2009), le % CaCO_3 joue un rôle physique important dans le sol, car il rend la structure des sols plus meuble et plus stable, celle-ci favorise la perméabilité à l'eau et à l'air et facilite le travail du sol et la pénétration des racines. Le % CaCO_3 est lié positivement et significativement à l'Indice QBS (0,185) et négativement et significativement avec la densité des collemboles (ind/m^2) (-0,267) et des acariens (ind/m^2) (-0,189). Pour Mathieu et Pieltain, (2009), le calcium joue un rôle sur l'activité biologique des sols, surtout en créant des conditions préférentielles aux microorganismes.

La densité des collemboles (ind/m^2) et celle des acariens (ind/m^2) sont positivement et très significativement corrélées (0,718). Selon, Coleman *et al.*, (2004), les acariens se nourrissent d'insectes, ils sont carnivores et des prédateurs d'une autre petite faune. L'Indice QBS est corrélés positivement et très significativement (0,305) à la densité des collemboles (ind/m^2) et des acariens (0,422). D'après Spencer (1951) in Bachelier (1963) après les acariens, les collemboles sont les arthropodes les plus nombreux du sol. La densité des collemboles (ind/m^2) et la Ms (g/m^2) de blé sont corrélées négativement et significativement (-0,196). En revanche, la Ms (g/m^2) de blé est corrélée positivement et significativement avec le QBS (0,169). Pour, Pesson, (1971), les microarthropodes ont un rôle important dans la pédogenèse. Dans les sols, les microarthropodes contribuent à la fragmentation fine de la litière et marquent un stade dans la dégradation des débris végétaux et ont donc un rôle essentiel dans la fertilité des sols.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'objectif de ce travail est l'étude de la biostimulation des sols incultes, par l'apport d'entrants énergétique (le Bois Raméal Fragmenté de nectarinier (= BRF), du fumier de bovin) et d'épandage de vers de terre anéciques de l'espèce *Octodrilus camplatanus* (jouent un grand rôle dans la décomposition de la matière organique). Cette étude s'inscrit dans la valorisation des déchets organiques et l'agroécologie.

Au cours de cette étude, nous nous sommes intéressés à l'évolution des paramètres abiotiques (pH, T°C, %H...etc.) et biotiques (champignons microscopiques, collemboles, acariens). Par ailleurs, nous avons mené des cultures de blé dur (*Triticum durum*) de la variété Hedba 3, pour évaluer la fertilité des placettes étudiées grâce à la productivité primaire (g/m²).

Cette expérimentation a été menée sur terrain, au niveau de l'institut technique des grandes cultures (ITGC) de Constantine et a duré 4 années de 2014 à 2017.

Les résultats ont montré :

1. Compartiment abiotique :

. Le sol choisi appartient à la classe limon sableux qui se caractérise par une texture équilibrée qui présente toutes les qualités des textures fines et moyennes.

. La température du sol change d'une placette à une autre, d'une saison à une autre et d'une année à une autre, toute fois les placettes témoins ont toujours une température plus élevée par rapport aux placettes amendées. La différence entre les moyennes des T°Csol des saisons étudiées est très significative (Fobs = 237,847; ddl=2 et p<0,00) et l'été reste la saison la plus chaude. Les moyennes relevées sont de [23,0±0,9] ; [22,0±1,6] et [18,9±1,7] °C pour l'année 2014, 2015 et 2016. L'année 2014, reste l'année la plus chaude parmi les années étudiées.

. L'humidité du sol change d'une placette à une autre, toute fois les placettes témoins ont toujours le taux d'humidité le plus bas par rapport aux placettes amendées. Elle varie notamment d'une saison à l'autre. La différence entre les moyennes des %Hsol des saisons étudiées est très significative (Fobs = 25,708; ddl=2 et p<0,00), aussi la saison printanière est la saison la plus humide. Par ailleurs, les moyennes % Hsol d'une année à l'autre, fluctue très significativement (Fobs = 14,850; ddl=2 et p<0,00). L'année 2016, est la plus humide des 3 années étudiées.

. Le pH dans les placettes, varie en fonction du milieu, en automne, en printemps et en été dans les placettes T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes pH des

Conclusion Générale

placettes est très significative ($F_{obs} = 23,557$; $ddl=4$ et $p<0,000$), toute fois le pH dans les placettes témoins est plus élevé par rapport aux placettes amendées pendant toute les saisons, ainsi le pH est plus élevé dans la saison estivale. En outre, il varie très significative ($F_{obs} = 198,178$; $ddl=2$ et $p<0,00$) annuellement. Au début l'expérimentation, le pH est en moyenne alcalin $[7,63\pm 0,06]$ et en fin d'expérimentation, il devient en moyenne peu alcalin $[7,43\pm 0,03]$.

. La conductivité électrique CE ($\mu S/cm$) change d'un milieu à un autre, en automne, en printemps et en été. La différence entre les moyennes de la CE ($\mu S/cm$) des placettes est très significative ($F_{obs} = 15,345$; $ddl=4$ et $p<0,00$). Annuellement, la différence entre les moyennes des années d'études est très significative ($F_{obs} = 120,685$; $ddl=2$ et $p<0,00$). Toutefois, l'apport du BRF et du fumier n'a pas affecté la classe la CE ($\mu S/cm$) du sol, elle est restée dans la classe I (sol non salé).

- Le sol étudié est fortement riche en calcaire et l'apport de BRF de nectarine et du fumier de bovins, n'ont pas affecté le % $CaCO_3$ et le sol analysé reste dans la classe fortement calcaire.
- Pour le calcaire actif, l'apport de BRF et du fumier, n'a pas changé le % $CaCO_3$ actif du sol étudié.
- Concernant le % P, l'apport du BRF (31%) tout seul ne semble pas améliorer la porosité du sol, par contre l'apport de BRF avec du fumier (49,6%) améliorent la porosité du sol. Par ailleurs, la présence des vers de terre anécique les placettes BRFFV (55,0%) et BRFFV (50,6%), la porosité est très bonne.
- Pour % C la différence entre les moyennes % C des placettes au début et en fin de l'essai est significative ($F_{obs} = 0,988$, $ddl = 4$ et $p<0,05$). L'apport de biodéchets a induit une faible élévation du % C dans BRFFV, BRFFV et BRFF.
- En outre, pour le %Nt la moyenne au début de l'expérimentation est de $[0,17\pm 0,01]$ et en fin d'essai est de $[0,19\pm 0,01]$. La différence entre les moyennes est significative ($F_{obs} =$

Conclusion Générale

4,716, ddl =4 et $p < 0,05$). Ce qui signifie que la matière organique s'est décomposée au fil du temps.

2. Compartiment biologique :

- Pour les champignons microscopiques étudiés : Il a été répertorié 5 espèces de champignons : *Aspergillus niger*; *Penicillium sp1*; *Penicillium sp2*; *Fusarium sp1*; *Fusarium sp2*. Dont 3 genres *Aspergillus*, *Penicillium* et *Fusarium*. Ainsi, *Aspergillus niger* est le plus présent. Nous avons remarqué, que l'apport du BRF et du fumier ont influencé positivement l'augmentation de la biomasse totale des champignons.

- Pour les acariens, Les moyennes obtenues sont de 1564; 1250 ; 891,0; 682,0 et 36,4 ind/m² respectivement pour BRFF, BRF, BRFFV, BRFV et T. La différence entre les moyennes est très significative ($F_{obs} = 9,946$, ddl=4 et $p < 0,00$). Pour les collemboles, la densité des collemboles, les moyennes obtenues sont de 9,1 ; 300,0 ; 581,8 ; 400,0 et 263,6 ind/m² respectivement pour T, BRF, BRFF, BRFV et BRFFV La différence entre les moyennes est très significative ($F_{obs} = 4,227$, ddl=4 et $p < 0,003$). Cela signifie que les densités sont effectivement différentes d'une placette à une autre. L'apport du BRF et du fumier dans le sol stimule la présence des champignons et permet le développement de la mésofaune parmi lesquels les acariens et les collemboles.

- Pour de l'indice de la qualité biologique des sols étudiés (QBS) : la moyenne estimée du QBS est de $[16,7 \pm 0,8]$; $[31,4 \pm 1,0]$; $[32,3 \pm 0,8]$; $[32,9 \pm 1,4]$ et $[32,7 \pm 1,4]$ respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFV et BRFFV. La différence est très significative ($F_{obs} = 10,905$; ddl= 4 $p < 0,000$). L'apport du BRF et de fumier a influencé positivement les populations des microarthropodes et donc sur le niveau du QBS calculé dans les différents types de placettes étudiées, le QBS est multiplié par 2 par rapport au témoin dans les différentes placettes étudiées.

- Pour, les vers de terre il a été difficile de les trouver sur terrain, nous avons donc effectué un essai au laboratoire, afin de vérifier, l'influence du BRF de nectarine et du fumier de bovin, sur leur croissance et développement. Nous avons noté plus d'individus dans BRFV que BRFFV. Par ailleurs, la biomasse (g) des vers de terre dans BRFV est plus

Conclusion Générale

élevée que dans BRFFV. L'apport de BRF du Nectarinier et du fumier de bovins favorise la croissance et le développement. Toutefois, l'entrant BRF de nectarinier non mélangé au fumier de bovin semble avoir un meilleur impact sur des vers de terre anécique d'*O. complanatus* introduits.

- Concernant la productivité de la phytomasse aérienne fraîche (g/m^2), nous avons enregistré des moyennes de $[3,0 \pm 0,8]$; $[5,9 \pm 0,9]$; $[8,3 \pm 1,1]$ $[7,9 \pm 1,3]$ et $[11,7 \pm 1,8]$ g/m^2 respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence entre les moyennes obtenues sont significatives ($F_{\text{obs}} = 5,337$, $\text{ddl} = 4$, $p < 0,002$). Pour la phytomasse sèche (pS a (g/m^2), les moyennes estimées sont de $[0,6 \pm 0,1]$; $[1,2 \pm 0,2]$; $[1,6 \pm 0,2]$; $[1,7 \pm 0,3]$ et $[2,1 \pm 0,3]$ g/m^2 respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence est significative ($F_{\text{obs}} = 4,912$; $\text{ddl} = 4$ et $p < 0,004$). Ainsi, l'apport de BRF de nectarinier (*Prunus persica* var. nucipersica) et du fumier de bovin, stimule significativement la productivité fraîche et sèche (g/m^2) du blé dur (*Triticum durum*) de la variété Hedba 3. En effet, la phytomasse fraîche et sèche aérienne (g/m^2), ont augmenté respectivement de 282 % et de 275 % par rapport au T. L'ajout d'entrants énergétiques (BRF et Fumier) stimule la production de biomasse (g/m^2). Toutefois, la présence de vers de terre avec BRF et fumier (BRFFV) favorise plus la production de la biomasse fraîche aérienne (pFa (g/m^2)). L'agroécologie est un système de gestion durable pour la protection des écosystèmes tout en améliorant les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Le BRF est un matériau jusqu'à présent vu comme un déchet des tailles d'élagage qui donne non seulement la possibilité de retrouver la fertilité des sols mais aussi contribuer à l'accroissement des rendements des cultures avec de bonne qualité. De plus, Les BRF, sont des matériaux locaux, qui rentrent dans la démarche de la gestion durable. Celle-ci est nécessaire si nous voulons limiter la dégradation des sols agricoles.

Les perspectives de ce travail :

-Utiliser différentes espèces d'arbres sur différents types de sols pour savoir quelle est ou quelles sont les espèces propices pour chaque type de sol.

-Utiliser différentes quantités de BRF pour savoir la quantité minimale à partir de laquelle les propriétés physiques, chimiques et biologiques commencent à s'améliorer. Ainsi que la quantité maximale où l'amélioration devient insignifiante.

Conclusion Générale

-Etudier le facteur temps pour savoir quelle est la durée nécessaire pour que le BRF soit décomposé et la durée de cette amélioration ainsi que la quantité à apporter pour la deuxième fois.

-Faire une carte des espèces feuillues qui se trouvent dans les forêts algérienne pour utiliser les tailles d'élagages de ces espèces pour la technique BRF.

Annexes

Annexe I :

Fiche 1 : *Octodrilus transpadanus* ...

Les anéciques sont généralement des vers de terre de grande taille (pouvant atteindre plus d'1m). Seule leur tête est pigmentée (rouge à noir).

Groupe écologique :

Anécique, laboureur du sol

Classification :

Embranchement : Annelida

Classe : Oligochaeta

Ordre : Lumbricina

Famille : Lumbricidae (Orley, 1885)

Genre : *Octodrilus*

Especie : *Octodrilus complanatus* (Savigny, 1826)

Caractéristiques d'*Octodrilus Camplanatus* :

Cette espèce se caractérise par une pigmentation cutanée brune à grise foncée parfois brune rougeâtre, une longueur allant de : 70 à 198 mm, un diamètre de : 4 à 10mm, un nombre de segment entre 122 à 192, elle se trouve près des cours d'eau, autour des racines des cultures céréalières, et jachères et sous agrumes, abricotiers et pommiers, dans des sols peu évolués, calcimagnésiques, hydromorphes (Dugès, 1828 et Savigny, 1826).

Le cycle de vie d'*Octodrilus complanatus* :

Le lombricien *Octodrilus complanatus* (Dugès, 1828) est une grande taille souvent des espèces trouvées dans les prairies et les pâturages, avec une zone de distribution large en Europe et en Afrique du Nord. Afin de déterminer les caractéristiques de son cycle de vie, les vers de terre de cette espèce ont été cultivés à partir de l'éclosion jusqu'à ce qu'ils atteignent la maturité. Les taux de développement, la production de cocons, et la période d'incubation ont été enregistrées dans des conditions contrôlées. En moyenne, les individus d'*O. complanatus*

élevés dans l'isolement de l'éclosion de maturité atteint au jour 150 et le poids corporel à maturité variait entre 6 et 8 g. La période cocon d'incubation était de 66 jours, et une seule personne hachuré de chaque cocon, avec un taux d'éclosion moyenne de 55%. Taux de reproduction montré par *O. complanatus* après l'accouplement est de 52 cocons par individu / an. Les résultats ont montré que le cycle de vie d'*O. complanatus* est caractérisée par des taux de croissance faibles et faible fécondité (Monroy *et al.*, 2007).

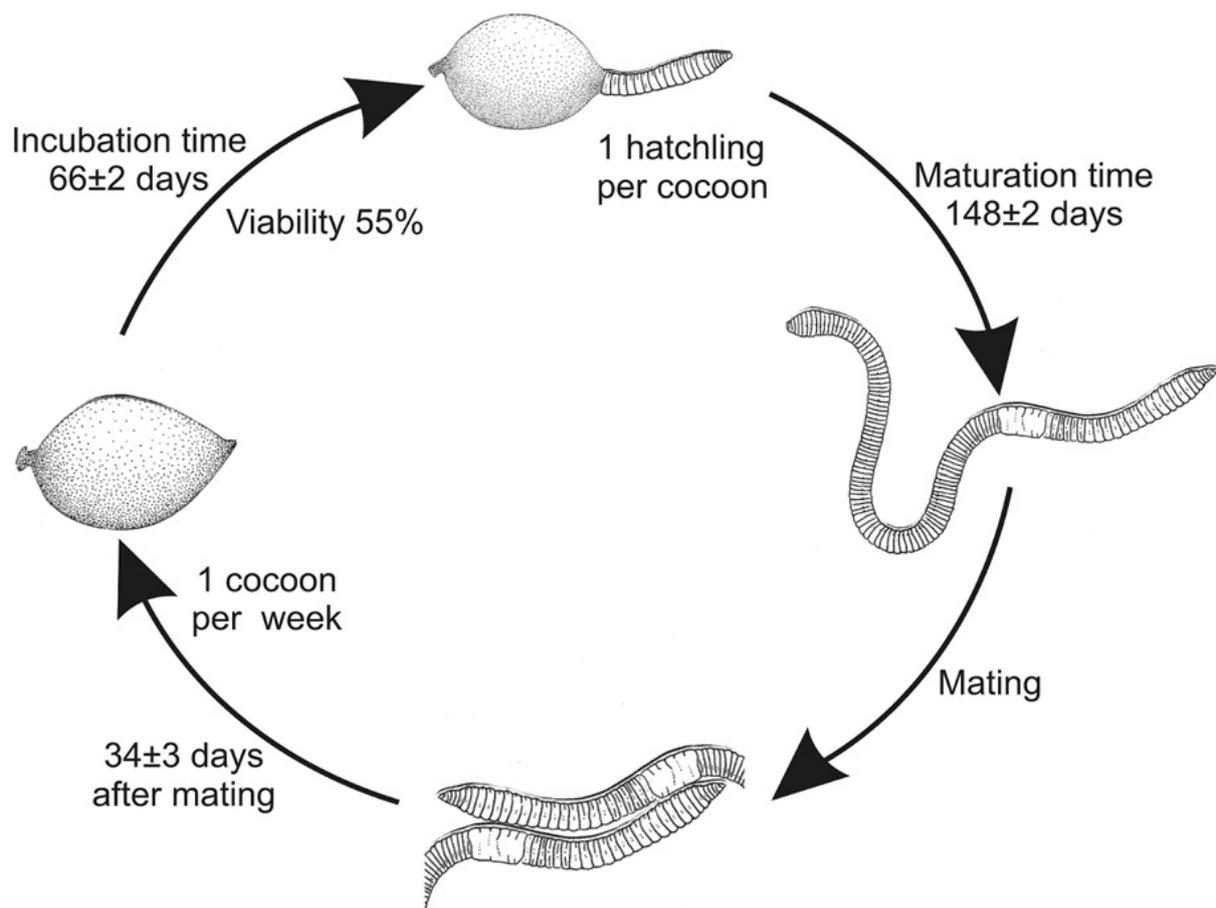


Figure : Lecycle de vie d'*Octodrilus complanatus*, nourrit par le fumier des bovins à une T°C de 20°C (Monroy *et al.*, 2007).

Fiche 3 : la variété du blé dur : *Triticum durum* Desf (variété Hedba 3) :

Origine : Sélection généalogique faite à l'intérieur d'une variété populaire locale (Algérie).

Principaux caractères de l'épi :

- **Couleur** : blanc.
- **Couleur et position des barbes** : noires, parallèles.
- **Forme** : triangulaire, très allongé, droit, aplati.
- **Compacité** : demi-compact.

Principaux caractères de la glume :

- **Face externe** : glabre.
- **Couleur** : blanche, quelque fois teintée de noir sur la carène.
- **Forme** : allongée, assez étroite.
- **Bec de glume** : assez long, large à la base, droit.

Paille :

Creuse, fine, souple, très haute.

Grain :

Allongé, ambré clair, translucide.

Caractéristiques remarquables de la variété :

Epi très allongé, barbes parallèles.

Aptitudes agronomique :

- **Tallage-épi** : bon.
- **Productivité** : moyenne.
- **Poids de 1000 grains** : élevé.

Caractères cultureux :

Variété tardive, sensible à l'échaudage, sensible à la rouille noire.

Annexes

- **Zones de culture** : Sersou, Berrouaghia, Sour-El-Ghozlane, Ain Temouchent, Tlemcen, Saida, Tiaret, Sétif et Constantine.

Semi du 25-10 au 30-11 à 120 kg/ha.

Annexe II :

Tableau 1 : Matrice de corrélation à une valeur de signification alpha= 0,01

Variables	Collemboles (ind/m ²)	Acarie ns (ind/m ²)	pHsol	Ce (μS/cm ²)	T°C sol	%Hsol	%Caco3	% Caco3 actif	Ms g/m ² blé	QBS
Collemboles (ind/m ²)	1	0,718	0,025	0,018	0,107	0,171	-0,267	0,025	0,196	0,305
Acarie ns (ind/m ²)	0,718	1	0,050	0,140	-0,046	0,027	-0,189	0,051	0,077	0,422
pHsol	0,025	-0,050	1	-0,722	0,791	0,731	-0,561	0,385	0,412	-0,505
Ce (μS/cm ²)	0,018	0,140	0,722	1	-0,745	0,764	0,641	0,502	0,293	0,446
T°C sol	0,107	-0,046	0,791	-0,745	1	0,793	-0,687	0,278	0,465	-0,525
%Hsol	-0,171	0,027	0,731	0,764	-0,793	1	0,694	0,421	0,428	0,305
%Caco3	-0,267	-0,189	0,561	0,641	-0,687	0,694	1	0,413	0,198	0,185
% Caco3 actif	0,025	0,051	0,385	-0,502	0,278	0,421	-0,413	1	0,083	-0,095
Ms g/m ² blé	-0,196	-0,077	0,412	0,293	-0,465	0,428	0,198	0,083	1	0,169
QBS	0,305	0,422	0,505	0,446	-0,525	0,305	0,185	0,095	0,169	1

Annexes

Tableau 2 : Matrice de corrélation à une valeur de signification alpha= 0,05

Variables	Collemboles (ind/m ²)	Acariens (ind/m ²)	pHsol	Ce (μS/cm ²)	T°C sol	%Hsol	%Caco3	% Caco3 actif	Ms g/m ² blé	QBS
Collemboles (ind/m ²)	1	0,718	0,025	0,018	0,107	0,171	-0,267	0,025	0,196	0,305
Acariens (ind/m ²)	0,718	1	- 0,050	0,140	-0,046	0,027	-0,189	0,051	- 0,077	0,422
pHsol	0,025	-0,050	1	-0,722	0,791	0,731	-0,561	0,385	- 0,412	-0,505
Ce (μS/cm ²)	0,018	0,140	0,722	1	-0,745	0,764	0,641	0,502	- 0,293	0,446
T°C sol	0,107	-0,046	0,791	-0,745	1	0,793	-0,687	0,278	- 0,465	-0,525
%Hsol	-0,171	0,027	0,731	0,764	-0,793	1	0,694	0,421	- 0,428	0,305
%Caco3	-0,267	-0,189	0,561	0,641	-0,687	0,694	1	0,413	- 0,198	0,185
% Caco3 actif	0,025	0,051	0,385	-0,502	0,278	0,421	-0,413	1	- 0,083	-0,095
Ms g/m ² blé	-0,196	-0,077	0,412	0,293	-0,465	0,428	0,198	0,083	1	0,169
QBS	0,305	0,422	0,505	0,446	-0,525	0,305	0,185	0,095	0,169	1

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques

Abbassenne F., Bouzerzour H. et Hachemi L., 1998. Phénologie et production du blé dur (*Triticum durum* Desf.) en zone semi-aride d'altitude. *Ann. Agron.* **18** : 24-36.

Achiba WB., Gabteni N., Lakhdar A., Laing GD., Verloo M., Jedidi N. et Gallali T., 2009. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Agr. Ecosyst. Environ.* **130**: 156–163.

Agegnehu G., Bass A.M., Nelson P.N., Muirhead B., Wright G et Bird M.I., 2015. Biochar and biochar-compost as soil amendments: Effects on peanut yield, soil properties and greenhouse gas emissions in tropical North Queensland. *Agr. Ecosyst. Environ.* **213** : 72–85.

AIT M'HAMED OUAHMED Mohamed (2016). Effet des amendements organiques sur la structure des sols et sa fertilité physico-chimique : Cas des sols de la région de Chtouka (Sous Massa, Maroc). Mémoire de master en Sciences et Techniques : Géorressources et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques- Université Sidi Mohammed Ben Abdellah. Fès. Maroc. 88p.

Al addan, F., 1992 – Biophysique du sol : Etude quantitative des relations entre le travail lombricien et les propriétés des sols méditerranéens. Documents pédozoologiques. Lab. De Zooécologie du sol, INRA, Montpellier.

Alabadan B.A., Adeoye P.A et Folorunso E.A., 2009. Effect of different poultry wastes on physical, chemical and biological properties of soil. *Caspian J. Env. Sci.* **7**: 31-35.

Alexander m., 1991. Introduction to soil microbiology, (edn) Willy .NewYork.

Allison F.E., 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam, 637 p.

Aman S.A., 1996. Effects of chopped twig wood on maize growth and yields in the forest-savanna transition zone of Côte d'Ivoire. Québec : université Laval, Groupe de coordination sur les bois raméaux, 169 p.

Andrés P., Mateos E., Tarrasón D., Cabrera C et Figuerola B., 2011. Effects of digested composted and thermally dried sewage sludge on soil microbiota and mesofauna. *Appl. Soil. Ecol.* **48**: 236–242.

Andriamananjara A., Rakotoson T., Razanakoto O.R, Razafimanantsoa M.P., Rabeharisoa L et Smolders E., 2016. Farmacyard manure application has little effect on yield or phosphorus supply to irrigated rice growing on highly weathered soils. *Field. Crop Res.* **198** : 61–69.

Anonyme 1, (2015). FranceAgriMer (France), valorisation des déchets verts en France, 16p.

Anonyme 2, (2001). ADEME, Guide technique : La gestion des déchets verts Juin, 66p.

Anonyme 3, (2011). Direction générale de la santé (France), Circulaire du 18 nov. 2011 relative à l'interdiction du brûlage à l'air libre des déchets verts, 9p.

Références Bibliographiques

Anonyme 4, (2009). Direction de l'aquaculture et du développement durable (Québec), exploitation et élevage des vers de terre pour le marché des appâts vivants, 14p.

Anonyme 5, (2010). S. Jeffery, C. Gardi, A. Jones, L. Montanarella, L. Marmo, L. Miko, K. Ritz, G. Peres, J. Römbke and W. H. van der Putten (eds.), 2010, European Atlas of Soil Biodiversity. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg.128p.

Anonyme 6, (2014). Direction des Services Agricoles de Constantine.

Aspetti G., Boccelli R., Ampollini D., Del Re Attilio A.M et Capri, E., 2010. Assessment of soil-quality index based on microarthropods in corn cultivation in Northern Italy. *Ecol Indic.* **10**: 129–135.

Asselineau E et Domenech G., 2007. De l'arbre au sol, les BRF, Éditions du Rouergue. Université de Laval. Québec.192p.

Aubert G., 1978. Méthodes d'analyses des sols. CRDP Marseille, 191 p.

Ba M.F., Colinet G., Ndiaye S.A et Bassene E., 2014. Étude de quelques caractéristiques des bois raméaux fragmentés (BRF) de *Guiera senegalensis* J. F. Gmel et de *Piliostigma reticulatum* (DC) Hochst et de leur influence sur des propriétés chimiques et biologiques des sols ferrugineux tropicaux du Bassin arachidier, Sénégal. *J. App. Biosci.* **81**:7253 – 7262.

Bachelier G., 1963. La vie animale dans les sols.1éd, O.R.S.T.O.M. Paris. 279p.

Bachelier G., 1978. La faune du sol, son action, Initiation, Documentation technique, N°38, O.R.S.T.O.M, 391pp.

Baha M., 1997. The earthworm fauna of Mitidja, Algeria. *Trop. Zool.***10** : 247-254.

Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A. et Hassous K. L. 2005. Selection of high yielding and risk efficient durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars under semi arid conditions. *AGRON. J.* **4**: 360- 365.

Baize D., 1989 -Guide des analyses courantes en pédologie. INRA, Paris. 172 p.

Baize, D., 2000. Guide des analyses en pédologie.2éd., INRA ,Paris,257p.

Barles S., 2005. A Metabolic Approach to the City: Nineteenth and Twentieth Century Paris ,Resources of the City, 37 p.

Barthès B., Manlay G et Porte O., 2010. Effets de l'apport bois raméal sur la plante et le sol : une revue des résultats expérimentaux. *Cah. Agric.***19**: 280 - 287.

Barthès B.G., Penche A., Hien E., Deleporte P., Clermont-Dauphin C., Cournac L et Manlay R.J.2014. Effect of ramial wood amendment on sorghum production and topsoil quality in a Sudano-Sahelian ecosystem (central Burkina Faso). *Agroforest. Syst.* **89** : 81-93.

Références Bibliographiques

- Bazri K., Ouahrani G., Gheribi-Aoulmi Z. et Diaz Cosin D., 2013.** La diversité des lombriciens dans l'Est algérien depuis la côte jusqu'au désert. *ecologia mediterranea*. Vol. 39 (2).
- Beauchemin S., N'dayegamiye A., Laverdière M.R., 1990.** Effets d'apport d'amendements ligneux frais et humifiés sur la production de pomme de terre et sur la disponibilité de l'azote en sol sableux. *J. Soil. Sci.* **70** : 555-64.
- Beddard F.E., 1892.** On earthworms from Algeria and Tunisia. *Proceedings of the Royal physical Society of Edinburg*, Session 1892, Edinburg, 28-37.
- Belaid Dj., 1986.** Aspect sur la céréaliculture algérienne. O.P.U. 207p.
- Ben Achiba W., Gabteni N., Lakhdar A., Du Laing G., Verloo M., Jedidi N et Gallali T. 2009.** Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Agr. Ecosyst. Environ.* **130**: 156–163.
- Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M.L et Selmi M., 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Revue Science et changements planétaires / Sécheresse*. **12** : 167-174.
- Bengtsson G., Hedlund K., et Rundgren S., 1994.** Food- and density-dependent dispersal: evidence from a soil Collembolan. *J. Anim. Ecol.* **63**: 513–520.
- Benmahammed A., Nouar H., Haddad L., Laala Z., Oulmi A et Bouzerzour H., 2010.** Analyse de la stabilité des performances de rendement du blé dur (*Triticum durum* Desf.) sous conditions semi-arides. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **14**: 177-186.
- Bernard E.C., 1985.** Two new species of Protura (Insecta) from North America. *Proc. Biol. Soc. Washington* **98** : 72–80.
- Bernhard F., 1970.** Etude de la litière et de sa contribution au cycle des éléments minéraux en forêt ombrophile de Côte-D'ivoire. Ed. Gauthier-Villars, 247-266.
- Betsch-Pinot M.Ch., 1977.** Les parades sexuelles primitives chez les Collemboles Symphypléones. *Rev. Écol. Biol. Sol.* **14** : 15-19.
- Bhatti H.M., 1962.** Experimental study of burrowing activities of earthworms. *Aguic. Pakist.* **13** : 779-794.
- Biaou O.D.B., Saidou A., Bachabi F.X., Padonou G.E. et I Balogoun. 2017.** Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota* L.) sur sol ferrallitique au sud Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* **11**: 2315-2326.
- Binet F., 1993.** Dynamique des peuplements et fonctions des lombriciens en sols cultivés tempérés. Thèse. Université de Rennes I. 299pp.
- Blair N., Faulkner R.D, Till A.R et Poulton P.R., 2006.** Long-term management impacts on soil C, N and physical fertility. Part I: Broadbalk experiment. *Soil. Till. Res.* **91**: 30–38.

Références Bibliographiques

- Blanchet G., Gavazov K., Bragazza L et Sinaj S., 2016.** Responses of soil properties and crop yields to different inorganic and organic amendments in a Swiss conventional farming system. *Agri. Ecosyst Environ.* **230**: 116–126.
- Bottinelli N., 2010.** Evolution de la structure et de la perméabilité d'un sol en contexte de non labour associé à l'apport d'effluent d'élevage : rôle de l'activité lombricienne. Thèse de doctorat en Sciences de l'environnement .Université Européenne de Bretagne.France.164p.
- Botton B., Bretton A., Fever M., Gautier S., Guy Ph., Larpent J.P., Reymond P., Sanglier J.-J., Vayssier Y et Veau P., 1990.** Moisissures utiles et nuisibles, importance industrielle, (edn) Masson, Paris.
- Bouajila K et Sanaa M. (2011).** Effects of organic amendments on soil physico-chemical and biological properties. *J. Mater. Environ.* **2** : 485-490.
- Bouche M.B., 1984** – Les vers de terre. *La Recherche*, 15, 156, 796 – 804.
- Bouche M.B., 1972.** Lombriciens de France. Ecologie et systématique. Ed. I.N.R.A., Paris, 671 pp.
- Bouche M.B., 1974.** Les lombriciens. *Bul. de Liaison. Centre Universitaire. Dijon.* 27. 13-18.
- 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.
- Bouche M.B., Al addan F., Hamed J.R., Heidet J.C., Ferriere J.C., Mazaud D. et Samih, M. 1997.** Role of earthworms in the N cycle : a falsifiable assessment. *Soil. Biol. Biochem.* **29** : 375 – 380.
- Boudbia K., 2008.** Etude pratique de l'efficacité d'un réseau d'irrigation goutte à goutte sur une exploitation agricole nouvellement créée. Mémoire de fin d'étude en hydraulique. INSPF Khenchala. p 98.
- Boukria A., 2012.** Démocologie des peuplements lombriciens dans la zone aride de l'est algérien –biskra. Thèse de Magister. Université Mohamed Khider de Biskra, Département des Scienc.102 p.
- Brunt L., 2007.** Where there's muck, there's brass: the market for manure in the industrial revolution », *Economic History Review*, 360 p.
- Buch W., 1991.** Le ver de terre au Jardin. Ed. Ulmer. 125.
- Caron, C., Lemieux, G., 1999.** Le bois raméal pour la régénération des sols agricoles et

Références Bibliographiques

- Casado-Vela J., Selles S., Diaz-Crespo C., Navarro-Pedreno J., Mataix-Beneyto J et Gomez I., 2007.**Effect of composted sewage sludge application to soil on sweet pepper crop (*Capsicum annuum* var. *annuum*) grown under two exploitation regimes. *Waste Manage.* **27** :1509–1518pp.
- Castro E., Manas P et De las Heras J., 2009.** A comparison of the application of different waste products to a lettuce crop: effects on plant and soil properties. *Sci. Hort.* **123** : 148–155pp.
- Chaoui H., 2010.** Vermicompostage (ou lombricompostage) : Le traitement des déchets organiques par les vers de terre. N° 10-010, Ontario, 8p.
- Chennafi H., Aïdaoui A., Bouzerzour, H et Saci A., 2006.** Yield reponse of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivar Waha to deficit irrigation under semi-arid growth conditions. *Asian J. Plant Sci.* **5** : 854-860.
- Chenu C et Balabane M., 2001.** Matière organique et activités biologiques des sols cultivés - une approche des matières organiques par leurs fonctions. *Perspectives agricoles* 272 – octobre. 42-45.
- Cherif H., Ayari F., Ouzari H., Marzorati M., Brusetti L., Jedidi N., Hassen A et Daffonchio D., 2009.** Effects of municipal solid waste compost, farmyard manure and chemical fertilizers on wheat growth, soil composition and soil bacterial characteristics under Tunisian arid climate. *Eur. J. Soil. Boil.* **45**: 138 – 145.
- Chervonyj A.Y., 1999.** Rapport d'étape sur la technologie des BRF, utilisant le seigle (*Secale cereale*) comme référence pour les années 1997-98p.
- Cluzeau D., Peres G et Thomas F., 2004.** L'importance de la biodiversité du sol : le cas du ver de terre. Dossier Vers de terre, extrait de la revue TCS n° 27, Mars / Avril / Mai 2004 : 14-23.
- Coiffait H., 1960.** Les Coléoptères du sol. *Act. Sci. Ind.*, no 1260, Hermann éd. (Paris), 204 p.
- COINEAU Y., 1974.** Introduction ri l'étude des Microarthropodes du sol et de ses annexes. Doin éd. (Paris), 118 p.
- Coleman D.C., Crossley D.A.Jr et Hendrix P.F., 2004.** *Fundamentals of Soil Ecology.* Second Edition. Elsevier Academic Press. USA. 387p.
- Copeland T.P et Imadaté, G., 1990.** Insecta: Protura. In "Soil Biology Guide" (D. L. Dindal, ed.). Wiley, New York. 911–933p.
- Crête P., 1965.** Précis de botanique .Tome II, systématique des angiospermes .2 Ed .Paris : 11-38p.

Références Bibliographiques

- Cuevas V.C., 2009:** Growth performance of *Jatropha curcas* L. seedlings and some properties of acidic, low fertility grassland soil amended with biowaste compost. *Philipp. Agric. Sci.* **92**: 315–319.
- Curry J.P., 1998.** Factors affecting earthworm abundance in soils. In: Edwards, C. A. (eds), *Earthworm Ecology*. Boca Raton, St. Lucie Press, 389 pp.
- Dajoz R., (1980).** *Ecologie des insectes forestières*. Ed. Gauthier-Villars, 489p.
- Dakheel A.J., Nasi I., Mahalakshmi V et Peacock J.M. 1993.** Morpho-physiological traits associated with adaptation of durum wheat to harsh Mediterranean environments. *Aspects. Appl. Biol.* **34** : 307- 297.
- Davet P., 1996.** Vie microbienne du sol et production végétales, (edn) INRA.Paris.
- Davies R.I., 1971.** «Relation of polyphenols to decomposition of organic matter and to pedogenetic processes». *Soil. Sci.* **111** : 80-85.
- Davy M., 2011.** Divers cultures sous tunnel froid et en plein champ. Intérêts agronomiques et environnementaux du Bois Raméal Fragmenté (BRF) - 4ème année. *Agrobiologie*, Chambre d’agriculture Morbihan, 19p.
- De Hoog G.S et Guarro J., 1995.** *Atlas of Clinical Fungi*. Baarn: Centralbureau voor Schimmelcultures.
- Debiase G., Montemurro F., Fiore A., Rotolo C., Farrag K., Miccolis A et Brunetti G., 2016.** Organic amendment and minimum tillage in winter wheat grown in Mediterranean conditions: effects on yield performance, soil fertility and environmental impact. *Eur. J. Agron.* **75**: 149–157.
- Dechauffour P., 1979.** *Pédologie T1 & T2*, (edn) Masson. Paris. NI°. (B.U).
- Dhingra O.D et Sinclair J.B., 1985.** Soil microorganisms. Pages 179–225 dans *Basic plant pathology methods*. CRC Press, Inc., Boca Raton, FL.
- Diehl R., 1975.** *Agriculture générale*. Editions J.B.Baillière. 396p.
- Dindal D.L., 1990.** *Soil Biology Guide*. John Wiley & Sons (ed.), New York.
- Dinon E., et Gerstmans A., 2008.** L’Influence du pH sur l’assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes. Université de Liege, Printemps des Sciences, 4p.
- DJAALAB Imen (2011).** Statut mineral des brebis reproductrices en relation avec leurs rations alimentaires. Mémoire de Magister. Institut des Sciences Veterinaires et des Sciences Agronomiques. Maitrise des facteurs de reproduction chez les herbivores. Université EL-Hadj Lakhdar Batna. 147p.
- Dommergue, S. Y et Mangenot, F., 1970.** «Écologie microbienne du sol». Masson & Cie, Paris, 796 p.

Références Bibliographiques

- Du W., Jiang J et Gong C., 2012.** Primary research on agricultural effect of sludge – impact of sludge application on crop seeds germination and seedling growth. *Proc. Envir. Sci.* **16:** 340–345.
- Duchaufour Ph., 1976.** Atlas écologique des sols du monde. Masson.
- Dupéty J et Bertrand B., 2007.** BRF vous connaissez ?. Éditions de Terran. 128p.
- Duplessis, (2002).** Le compostage facilité: guide sur le compostage domestique. NOVA Envirocom, Québec. 112 p. (<http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca>)
- Durand J.H., 1983.** Les sols Irrigables. Etude pédologique. Presses Université de France. Agence de Coopération Culturelle et Technique.338p.
- Edwards C.A et Bohlen P.J., 1996.** Biology and Ecology of Earthworms. Champon & Hall, London.
- Edwards, C.A., 1959.** The ecology of Symphyla. II. Seasonal soil migrations. *Entomol. Exp. Appl.* **2:** 257–267.
- Emberger L., 1932.** Sur une formule climatique et ses applications en botanique. *La Météorologie*, **92-93:**423-432.
- Eriksson K.E., Blanchette R.A., et Anderson P., 1990.** Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Component. Springer-Verlag, Berlin, 407 p.
- Eruola A.O., Bello N.J., Ufoegbune G.C., Makinde A.A., 2012.** Effect of Mulching on Soil Temperature and Moisture Regime on Emergence, Growth and Yield of White Yam in a Tropical Wet-and-Dry Climate. *Int J Agric Forest.* **2:** 93-100.
- Feeks W., 1941.** De tarwe en haar milieu. Versl. Techn. Tarwe Comm. Hoitsema, Groningen *12:*523–888
- Feillet P., 2000-** Le grain de blé. Composition et utilisation. Mieux comprendre. INRA. ISSN: 1144- 7605. ISBN: 2- 73806 0896- 8. 308 p.
- Feldman M et Sears E.R., 1981.** The wild gene resources of wheat. *Sci. Am.* **244 :** 98–109.
- Fellah A., Bouzerzour H., Benmahammed A et Djekoun A., 2002.** Sélection pour améliorer la tolérance aux stress abiotiques chez le blé dur (*T. durumDesf.*). Actes de l’IAVHII, **64:** 35-42.
- Fengel O., et G. Wegener., 1984.** Wood : Chemistry, Ultrastructure Reactions. Walter de Gruyter, Berlin. 613 p.
- Ferguson L.M., 1990.** Insecta: Diplura. In “Soil Biology Guide” (D. L. Dindal, ed.), pp. 951–963. Wiley, New York.

Références Bibliographiques

- Ferrahi M.O. et Djema A., 2004.** Identification et repartition écologique de la pedofaune dans la forêt de yakouren (Wilaya de Tizi-Ouzou). *Annales de l'Institut National Agronomique - El-Harrach*, **25** : 43-57.
- Fuentes D., Valdecantos A., Llovet J., Cortina J et Vallejo V.R., 2010:** Fine-tuning of sewage sludge application to promote the establishment of *Pinus halepensis* seedlings. *Ecol. Eng.* **36**: 1213–1221.
- Gams W., Haekstra E.S., et Aptroot A.,1998.** CBS. Course of mycology. Centralbureau voor. Schimmelcultures Baarns. The Netherlabnd.
- Gandolphe, M., 1861.**Lombric phosphorescent. *Revue et Magazine de Zoologie*,**13** : 284-287.
- Garcia-Gil J.C., Plaza C., Soler-Rovira P et Polo A., 2000.** Longterm effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil. Biol. Biochem.* **32**: 1907–1913.
- Gasser I.O., N'dayegamiyez A et Laverdière M.R., 1995.** Short-term effects of crop rotations and wood-residue amendments on potato yields and soil properties of a sandy loam soil. *Can. J. Soil. Sci.* 385-390.
- Gate P., 1995.** Ecophysiologie du blé. Ed. Lavoisier. Paris. 429p.
- 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**: 1-326.
- Gilmore S.K et Potter D.A., 1993.** Potential role of Collembola as biotic mortality agents for entomopathogenic fungi nematodes. *Pedobiologia.* **37**: 30–38.
- Gilmore S.K., 1972.** Collembola predation on nematodes. *Search Agric.* 1–12.
- Gisi U., Schenker R., Schulin R., Stadelmann F.X et Sticher, H. -1997.** Bodenökologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Gobat J.M. Arango M et Matthey W., 2003.** Le Sol Vivant. 2^{ème} édition. Presse polytechnique et universitaires romandes, Lausanne, 568p.
- Gold L.W., 1967.** Influence of surface conditions on ground temperatures. *Can. J. Earth Sci.* 199-208.
- Gómez C.E.R., 2003.** Comparison of two sources of ramial chipped wood on maize (*Zea mays*) yield. Publication n170, Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux, Université Laval, Québec.
- Grant W.C. 1955 .**Studies on moisture relationships in earthworms. *Ecology*, **36**: 400-407.

Références Bibliographiques

Gregorich E.G., Carter M.R., Angers D.A., Monreal C.M. et Ellert B.H., 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Sci.* **74**: 367–385.

Grignac P.H.,1965 - La culture et l'amélioration génétique du blé dur .Guide national de l'agriculture T.III .

Guay E., Lapointe R.A et Lachance L., 1981 et 1982. Observations sur l'emploi de résidus forestiers et de lisiers chez trois agriculteurs : Carrier, Fournier et Marcoux. Rapports techniques n°1 pp. 34 et n°2 pp. 41, Ministère de l'énergie et des ressources, Québec.

Guild W.J.McL., 1948.The effect of soil type on the structure of earthworm populations. *Am. appl. Biol.* **35**: 181-192.

Guiraud J.P., 1998. Microbiologie alimentaires, (edn) dunod .Paris.

Gunn A., et Cherrett, J. M. (1993). The exploitation of food resources by soil meso- and macroinvertebrates. *Pedobiologia* **37**, 303–320.

Gwenzi W., Muzava M., Mapanda F et Tauro T.P., 2016. Comparative short-term effects of sewage sludge and its biochar on soil properties, maize growth and uptake of nutrients on a tropical clay soil in Zimbabwe. *J. Integr. Agr.* **15**: 1395–1406

Hadrian F. C., Gerardo S.B et Howard C.L., 2006. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. *Soil. Till. Res.***91**: 227–235.

Haider K.,1992. Problems related to the humification processes in soils of temperate climates. In Stotzky, G. and Bollag, J.M. (éds), *Soil. Biochem.* **7**: 55-94.

Hamra-Kroua S et Cancela da Fonseca J.P., 2009. Dynamique saisonnière du peuplement de Collemboles d'un sol agricole de la ferme pilote d'El- Baaraouia (Wilaya de Constantine, Algérie) Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie, n° **31** : 33-43.

Hanlon R.D.G., 1981. «Influence of grazing by collembola on activity of senescent fungal colonies grown on media of different nutrient concentration». *Oikos.* **36**: 362-367.

Hansen R.A.,2000. Diversity in the decomposing landscape. In “Invertebrates as Webmasters in Ecosystems”, CABI Publishing, Wallingford, U.K. 203–219 pp.

Hanson J.R., 2008. The Chemistry of Fungi. Published by The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Milton Road, Cambridge, UK, 221p.

Harding J.L et Stuttard R.A., 1974. Microarthropods. In : C.H. Dickinson & G.J.F. Pugh (eds.), *Biology of plant litter decomposition*, Volume II, Academic Press, London, 489-532 p.

Hauchinal R., Tandon J.P., et Salimath P.M., 1993. Variation and adaptation of wheat varieties to heat tolerance in Peninsular India. Saunders, DA. and Hettel GP. Eds, wheat in heat stressed environments, irrigated, dry areas and rice-wheat farming systems, Mexico, D. F, Cimmyt, 175-183.

Références Bibliographiques

Hawksworth D.L., Kirk P.M., Sutton B. et Pegler D.N., 1995. Dictionnaire of the fungi , 8th ed. CAB.International Walling Ford. UnitedKingdom.

Hawksworth D.L., Kirk P.M., Sutton B.C. and Pegler D.N. (1994). Ainsworth and Bysby's dictionary of the fungi , 8 th ed . International Mycological Institute, Egham. Unitted .Kingdom.

Hazmoune T., 2000. Etude comparée de l'appareil racinaire de quelques variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*). 1er Symposium International sur la filière blé. Enjeux et Stratégie du 07 au 09 fev. Alger. 181-185.

Hébert J., 1994. L'azote. In: Bonneau et Souchier – Constituants et propriétés du sol. Masson, Paris, 547-555.

Heidet, J.C., 1983. Essai de Biostimulation de sols par introduction de Lombriciens. DEA Option écologie terrestre. UST. Laboratoire de Zooécologie du Sol. Languedoc—Montpellier. 37p.

Henderson L.S., 1952. Household insects. In “Insects, the Yearbook of Agriculture 1952” (A. Stefferud, ed.), U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. 469–475.

Hendrickson O.,1987. Winter-branch nutrients in the northern conifers and hardwoods. *Fore. Sci.* **33**: 1068-1074.

Herger P., 2003- regenwürm. Zentrum für angewandte Ökologie Schattweid, Natur-Museum Luzern. Wolhusen. 49 p.

Hernando S., Lobo M.C et Polo A., 1989. Effect of the application of a municipal refuse compost on the physical and chemical properties of a soil. *Sci. Total. Environ*, **81–82** :589–596.

Hidri Y., Fourti O., Eturki S., Jedidi N., Charef A et Hassen A., 2014. Effects of 15-year application of municipal wastewater on microbial biomass, fecal pollution indicators, and heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *J .Soils. Sediments.* **14**: 155–163.

Hiraoka h., Misra R.V et Roy R.N., 2005. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole, FAO, Rome, 51p.

Hölldobler B., et Wilson E.O., 1990. “The Ants.” Belknap Press, Harvard University, Cambridge.

Hubert P., 2004. Recueil de fiches techniques d'agriculture spécial. Filière technique agricole. INRA.

Hunt H.W., Coleman D.C., Ingham E.R., Elliott E.T., Moore J.C., Rose S.L., Reid C. P et Morley C.R., 1987. The detrital food web in a shortgrass prairie. *Biol. Fertil. Soils.* **3**: 57–68.

Références Bibliographiques

Ireland M.P., 1975. The effect of earthworm *Dendrobaena rubida* on the solubility of lead, zinc and calcium in heavy metal contaminated soil in Wales. *J. of Soil Sci.* **26**: 313 – 318.

ITCF., 2002. Stade du blé. Institut du végétale. Paris. pp 1-40.

Jan A et Amanullah, N.M., 2011. Wheat response to farm yard manure and nitrogen fertilization under moisture stress conditions. *J. Plant. Nutr.*, **34** : 732–742.

Javernaud R., 2012. Pépinière de pleine terre, dernières avancées sur l'utilisation de mulchs et paillages. Communication personnelle. Astredhor, journée technique.

Jemai I., Guirat S.B., Aissa N.B., Jedidi N., et Gallali T., 2011. Effet de l'amendement par fumier de ferme et par compost d'ordures ménagères sur la restauration d'un sol argileux de plaine sous climat semi-aride tunisien. *Étude et Gestion des Sols*, **18** : 271-285.

Jounard P., 1952. Les céréales. Larousse agricole. Ed. Paris. 198p.

Käärrik A.A., 1974. Decomposition of wood. In : C.H. Dickinson & G.J.F. Pugh eds., *Biology of plant litter decomposition*, Volume I, Academic Press, London : 129-174.

Kaba M., 2014. Contribution à la valorization du BRF (Bois Raméal Fragmenté) et du fumier par compostage et lombricompostage. Mémoire de master 2. Université Constantine1, Département de biologie et écologie végétale. 38p.

Karou M., El hanfid R., Smith D.H., et Samir K., 1998. Physiological attributes associated with earlyseason drought resistance in spring durum wheat cultivars. *Can. J. Plant Sci.* **78** : 227-237.

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. *Eur. J Soil. Biol.* **48**: 17-23.

Killi D et Kavdır Y. 2013., Effects of olive solid waste and olive solid waste compost application on soil properties and growth of *Solanum lycopersicum*. *Int. Biodeter .Biodegr.* **82**: 157-165.

King W., 1992. How High is Too High? Disposing of Dung in Seventeenth-Century Prescott *Sixteenth. cent .J.* **23**: 443-457.

Kirk P.M., Cannon P.F., David J.C., Egham U.K. et Stophes J.A., 2001. Ainsworth and Bysby's Dictionnaire of fungi , 9 th edn .CABI. Bioscience.UK. Center and central Bureau Voie. Utrecht. The Net.

Kirk T.K et Fenn P., 1982. Formation and action of the ligninolytic system in basidiomycetes. In : J.C. Frankland, J.N. Hedger & M.J. Swift eds., *Decomposer basidiomycetes : their biology and ecology*. Cambridge University Press, London : 67-90.

Références Bibliographiques

- Komariah., Kengo I., Masateru S. , Tawiah.Adomako J., Afandi., 2008.** The Influence of Organic Mulches on Soil Moisture Content and Temperatures-A Case Study ofTapioca Wastes ApplicationJ rainwater catchment systems.**14**: 1-8.
- Kühnelt W., 1958.** Zoogenic crumb-formation in undisturbed soils (in German) Sonderdruck aus Tagungsberichte. **13**: 193–199.
- Lakhdar A., Falleh H., Ouni Y., Oueslati S., Debez A., Ksouri R. et Abdelly C., 2011.** Municipal solid waste compost application improves productivity, polyphenol content, and antioxidant capacity of Mesembryanthemum edule. *J Hazard mater.* **191** : 373–379.
- Lalande R., Furlan V., Angers D.A et Lemieux G., 1998.** Soil improvement following addition of chipped wood from twigs. *J. Altern .Agr.* **13**: 132-7.
- Larochelle L., 1994.** L’impact du bois rameal fragmenté sur la dynamique de la mésofaune du sol. Québec : université Laval, faculté des études supérieures, Rapport de maître en sciences (M.Sc.), publications. 78p.
- Larochelle L., Pagé F., Beauchamp C et Lemieux G., 1993.** Rôle de la mésofaune dans la dynamique de transformation de la matière ligneuse appliquée au sol. *Agro.sol.* **6**: 36-43.
- Lavelle P., Blanchard E., Martin S et Barois., 1992** .Ahierarchical model for decomposition in terrestri ecosystems. Application in the humid tropics. *Biotropica*.
- Lecleche B.,2000.** Agronomie des bases au nouvelle orientation, (edn) ENITA de Bordeaux. Bordeaux.
- Lee J.J., Park R.D., Kim Y.W., Shim J.H., Chae D.H., Rim Y.S., Sohn B.K., Kim T.H et Kim K.Y., 2004.** Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. *Bioresource Technol*, **93**: 21–28.
- 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., 1985.** Earthworms - Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use". Academic Press, Sydney. pp 411.
- Lemieux G et Tétreault, J.P., 1994.** Seule la vie du sol est le siège de la fertilité: le bois raméal en est la clef. Faculté de Foresterie et Géomatique, UNIVERSITÉ LAVAL, Québec, 37 p.
- Lemieux, G., 1986.** Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol. Publié par le Ministère de l’Énergie et des Ressources et la Faculté de Foresterie de l’Université Laval, Québec, 20 p.
- Leveau J.Y et Bouix M., 1993.** Les moisissures. In florent J Microbiologie industrielle. Les microorganismes d’intéret industrielle. (edn) Tec et Doc- Lavoisier.

Références Bibliographiques

- Levitt J., 1982.** Responses of plants to environmental stresses. Academic Press. New York San Francisco – London: 607p.
- Li P., Cheng X., Xue B., Zhang L et Sun D., 2013.** Evaluation of composted sewage sludge application to soil. *IERI. Procidia.* **5** : 202–208.
- Lock K., et Dekoninck W., 2001.** Centipede communities on the inland dunes of eastern Flanders (Belgium). *Eur. J. Soil Biol.* **37**: 113–116.
- Loué A., 1982.** Le potassium et les céréales. Dossier K₂O, SCPA, N° 22, 1-40 p.
- Louis J., et J. Fouarge, 1953.** Essences forestières et bois du Congo. Pub. INEAC, fascicule 1, Tervuren, Bruxelles, 42p.
- Lutz F.E., 1948.** “Field Book of Insects of the United States and Canada” (3rd edition). G. P. Putnam’s Sons, New York.
- Maachi L., 2005.** Etude de comportement d’une céréale à grains sous centre pivot dans la région de Ouargla : Evaluation de l’efficacité de l’irrigation et de la fertilisation azotée, Thèse., Ing, agro, Sah. ITAS, Ouargla, 91p.
- Mahmood T., Azam F., Hussain F et Malik K.A., 1997.** Carbon availability and microbial biomass in soil under an irrigated wheat-maize cropping system receiving different fertilizer treatments. *Biol. Fert. Soils.* **25**: 63–68.
- Mando A., 1997.** Effect of termites and mulch on the physical rehabilitation of structurally crusted soils in the Sahel. *Land. Degrad. Dev.* **8** : 269-78.
- Massoud Z et Najt J., 1976.** Importance des techniques pour l’étude du régime alimentaire des Collembolés. *Rev. col. Biol. Sol.* **13**: 147-153.
- Massoud Z., 1976a.,** Essai de synthèse relatif à l’action des insecticides sur les Collembolés et les Acariens. *Rev. Écol. Bwl. Sol.* **13** : 35-42.
- Massoud Z., et Pinot M.C., 1973.** Comportement de ponte chez les Collembolés. *Rev. Ecol. Biol. So.* **10**: 197-210.
- Mathieu C. et Pielain F., 2009.** Analyse chimique des sols. LA VOISIER, Paris, 387p.
- Mathiew R., 1995.** Biologie Campbell, (edn) ISBN Canada.
- Mazouyer M., 2002.** Larousse agricole. 270p.
- Mazouz L., 2006.** Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans l’adaptation du blé dur (*Triticum durum Desf.*) dans l’étage bioclimatique semi –aride .Mémoire de Magistère.Déprt.Agronomie. Université Hadj Lakhdar, Batna ,70p.
- Mbarki S., Labidi N., Mahmoudi H., Jedidi N et Abdelly C., 2008:** Contrasting effects of municipal compost on alfalfa growth in clay and in sandy soils: N, P, K content and heavy metal toxicity. *Bioresource. Technol.* **99**: 6745–6750.

Mckey D., 1978. Phenolic content of vegetation in two African rain forests : ecological implications. *Sci.* **202**: 61-64.

Meena M.D., Joshi P.K., Jat H.S., Chinchmalatpure A.R., Narjary B., Sheoran P et Sharma D.K., 2016. Changes in biological and chemical properties of saline soil amended with municipal solid waste compost and chemical fertilizers in a mustard–pearl millet cropping system. *Catena*.**140**: 1–8.

Mekhlouf A., Bouzerzour H, A. Benmahammed, A. HadjSahraoui, N. Harkati. 2006. Adaptation des variétés de blé dur (*Triticum durum* Desf.) au climat semi-aride. *Sécheresse*. **17**, 507-513.

Melero S., Madejon E., Ruiz J.C et Herencia J.F., 2007. Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization. *Eur. J. Agr.* **26** : 327–334.

Merikhi R et Ghemara F., 2009. Les troubles métaboliques chez la vache laitière en fin de gestation et en début de lactation. Mémoire Docteur Vétérinaire. Constantine. 99 p.

Miller H.G., 1984. Dynamics of nutrient cycling in plantation ecosystems. In : G.D. Bowen et E.K.S Nam biar (éds.), *Nutrition of Plantation Forests*. Academic Press, London. 53 - 78 pp.

Mohammad M.J et Athamneh B.M., 2004. Changes in soil fertility and plant uptake of nutrients and heavy metals in response to sewage sludge application to calcareous soils. *J. Agron.* **3**: 229–236.

Mohsin A.U., Ahmad J., Ahmad A.U.H., Ikram R.M et Mubeen K., 2012. Effect of nitrogen application through different combinations of urea and farm yard manure on the performance of spring maize (*Zea mays* L.). *J. Anim .Plant Sci.* **22**: 195–198.

Montaigne W., DeBon H., Domenach A.M et Roggy J.C., 2018. Gestion durable de la fertilité des sols par l'utilisation de matières organiques : retours d'expérience en Guyane française .*Innovations Agronomiques.* **64** : 71-82.

Moore J.C., et De Ruiter P.C., 2000. Invertebrates in detrital food webs along gradients of productivity. In “Invertebrates as Webmasters in Ecosystems” (D. C. Coleman and P. F. Hendrix, eds.), CABI Publishing, Wallingford, U.K. 161–184.

Mouellef A., 2010. Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*T. durum*Desf.) au stress hydrique. Mémoire magister Université Constantine 82 p.

Moule C., 1980. Les céréales. Ed. La maison rustique. Paris. 318 p.

Muame L et Dulac J., 1936. Echantillonnage rationnel de la plante de blé en vue des analyses chimique comparatives. *C.R.Acad Agri.fr.* **26** : 906-913.

Références Bibliographiques

- Muller R.N., Kalisz P.J et Kimmerer T.W., 1987.** «Intraspecific variation in production of astringent phenolics over a vegetation-ressource availability gradient». *Oecologia* **72**: 211-215.
- Münch J.C., et Ottow J.C.G., 1997.** Modell Untersuchungen zum Mechanismus der bakteriellen Eisen-reduktion in hydromorphen Böden. *Z. Pflanze. Bödenk.* **140**: 549-562.
- Mundel P., 1990.** Chilopoda. In “Soil Biology Guide” (D. L. Dindal, ed.), Wiley, New York. 819–833.
- Mustin M., 1987.** Le compost: gestion de la matière organique. Éd. F. Dubusc, Paris, France. 954 p.
- Mutonkole S.P., 2013.** Caractérisation chimique de bois tiges et de branches de *Trema orientalis* (L.) Blume et de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. Faculté de Foresterie, de Géographie et de Géomatique, Département des Sciences du Bois et de la Forêt Université Laval Québec. 79p.
- N’Dayegamiye A et Angers D.A., 1990.** Effets de l’apport prolongé de fumier de bovins sur quelques propriétés physiques et biologiques d’un loam limoneux Neubois sous culture de maïs. *Can. J. Soil Sci.* **70**: 259-262.
- N’Dayegamiye A., Drapeau A et Laverdière. M.R., 2005.** Effets des apports de composts de résidus ménagers sur les rendements des cultures et certaines propriétés du sol. *Agrosol.* **16**: 135-144.
- N’dayegamiye A et Dubé A. 1986.** L’effet de l’incorporation de matières ligneuses sur l’évolution des propriétés chimiques du sol et sur la croissance des plantes. *Can. J. Soil. Sci.;* **66** : 623-31.
- N’dayegamiye A, Angers DA. 1993.** Organic matter characteristics and water-stable aggregation of a sandy loam soil after 9 years of woodyresidue applications. *Can J Soil Sci.* **73** : 115-22.
- Nagar R.K., Goud V.V., Kumar R et Kumar R., 2016.** Effect of organic manures and crop residue management on physical, chemical and biological properties of soil under pigeonpea based intercropping system. *Inter. J Farm Sci.* **6**: 101-113.
- Nasini Li., Gigliotti G., Balduccini M.A., Federici E., Cenci G et Proietti P., 2013.** Effect of solid olive-mill waste amendment on soil fertility and olive (*Olea europaea* L.) tree activity. *Agr. Ecosyst .Environ.* **164**: 292– 297.
- Naturland., 2010.** Vermikompost hochwertiger Dünger zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, Naturland, Germany. 23 p.
- Nelson E.E., 1972.** Effect of urea and wood shavings on populations of soil microfungi, especially *Trichoderma* species. *Microbios* **5**: 69–72.
- Nicklin J., Greame-Cook K., Paget T et Killington R., 1999.** Essentiel en microbiologie, (edn) BERTI. Paris.

Nordström S et Rundgren S., 1974. Environmental factors and lumbricid associations in southern Sweden. *Pedobiologia*. **14** : 1-27.

Nosek J., 1973. “The European Protura: their taxonomy, ecology and distribution with keys for determination.” Muséum d’Histoire Naturelle, Genève.

Olasantan F.O., 1999. Effect of time of mulching on soil temperature and moisture regime and emergence, growth and yield of white yam in western Nigeria. *Soil .Till.Res.* **50**: 215-221.

Ollier C et Poirée M., 1981. Irrigation, les réseaux d’irrigation théorie, technique et économie des arrosages. 5ème .Ed .Erolles.Paris, 503p.

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., Mucchi, *Modena*. 235-250.

Omodeo P., Rota E et Baha M., 2003. The megadrile fauna (Annelida :Oligochaeta) of Maghreb: a biogeographical and ecological characterization. *Pedobiologia*. **47**: 458 – 465.

Ostryko B., et F. Pagé, 2001. Effet d’apports de bois raméaux fragmentés (BRF) et d’un composte combiné à des rotations avec engrais verts sur les rendements en pommes de terre et l’incidence de la gale. *Agrosol*. **12**: 108 - 117.

Ouahrani G., 2003. Lombritechniques appliquées aux évaluations et aux solutions environnementales. Thèse de Doc. Etat. Université Mentouri. 230 p.

Ouahrani G., Gheribi-Aoulmi Z et Benziane A., 2012. Apport des lombriciens à la valorisation des déchets d’Olives. Colloque Adebiotech / ARD / IAR / VEOLIA Bioraffinerie des sous-produits de l’industrie et de l’environnement. Biocitech, PARIS Communication Orale.

Ouahrani G., Gheribi-Aoulmi Z et Chenouf S., 2009 . Apport des lombriciens à la valorisation des déchets organiques. Colloque ResMO2009 25 au 28 janvier Ste Maxime (France) Communication Orale.

Ouni Y., Albacete A., Cantero E., Lakhdar A., Chedly A., Pérez-Alfocea F et Barhoumi Z., 2014.Influence of municipal solid waste (MSW) compost on hormonal status and biomass partitioning in two forage species growing undersaline soil conditions. *Ecolo Eng.* **64**: 142–150.

Packer H.L., et Thomas C.R., 1990. Microbiological measurements on filamentous microorganisms by fuely automatic image analysis *.Biotechnol- Bioeng.* **35**: 870-881.

Padmavathiamma PK., Li L.Y et Kumari U.R 2008. An experimental study of vermibio-waste composting for agricultural soil improvement. *Bioresource. Technol.* **99**: 1672–1681.

Références Bibliographiques

- Papafilippaki A., Paranychianakis N et Nikolaidis N.P 2015.** Effects of soil type and municipal solid waste compost as soil amendment on *Cichorium spinosum* (spiny chicory) growth. *Scientia. Horticulturae*. **195**: 195–205.
- Parisi V., 1974.** Soil biology and ecology, techniques of researches. Boringhieri, Torino (in Italian).
- Parisi V., 2001.** The biological soil quality, a method based on microarthropods. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense*. **37**: 97– 106.
- Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C et Mozzanica, E. 2005.** Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agr. Ecosyst. Environ*. **105**: 323-333.
- Parkinson D., Visser S et Whittaker J.B., 1979.** «Effects of collembolan grazing on fungal colonization of leaf litter». *Soil. Biol. Biochem*. **11**: 529-535.
- Parmentier I., 2007.** L'or et l'ordure. Les initiatives du pouvoir central dans la gestion des déchets urbains au XVIIIe siècle en Belgique, *Histoire urbaine*, no **18** : 65-70p.
- Passioura J. B., 1996.** Drought and drought tolerance » *Plant. Growth. Regul*. **20**: 79- 83.
- Pesson, P. 1971.,** La vie dans les sols. Gauthier-Villars, Paris.
- Petersen H.A et Luxton M., 1982.** A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos*. **39** : 287–388.
- Petersen, H. 2002.,** Collembolan ecology at the turn of the millennium. *Pedobiologia*. 46, 246–260.
- Petit J et Jobin p., 2005.** La fertilisation organique des cultures. FABQ, Québec, 49p.
- Pfiffner L., Messerli N., Bauchhenss J., 2007- Bodenfruchtbarkeit Bodenlebewesen Regenwurm – so lebt er, FiBL & Liebegg, Gränichen. 2p.
- Prats H., 1960 .**Vers une classification des graminées .Revue d'Agrostologue .Bull. Soc Bot. France ,32- 79.
- Prats J et Graldcourt C., 1970.** Les céréales. Édition Baillière. 54-58.
- Prats J., 1966.** La fertilisation raisonnée. Ministère de l'agriculture. Direction générale de production et de marchés. 7 édition. Paris. 87 p.
- Price D.W., 1975.** Vertical distribution of small arthropods in a California pine forest soil. *Ann. Ent. Soc. Amer*. **68**: 174–180.
- Quintern M., Lein M et Joergensen R.G., 2006.** Changes in soil – biological quality indices after long-term addition of shredded shrubs and biogenic waste compost. *J. Plant. Nutr. Soil. Sci*. **169** : 488–493.

Références Bibliographiques

- Rached-Mosbah O., 1977.** Contribution à l'élaboration de la carte pédologique de la station expérimentale des grandes cultures d'El-Baaraouia, Constantine. Mém. DES Ecopédologie, Univ. Constantine, 66 p.
- Randriamamonjizaka, J.L.,1981.**Recherche sur les fèces fraîche de vers de terre étude chimique et évolution microbienne. Mémoire DES de Sc.Nat. INRA Dijon. 78p
- Rapior, S et Fons F., 2006.** La classification des champignons. Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault. **146**: 81-86.
- Rehman M.Z.U., Rizwan M., Ali S., Fatima N., Yousaf B., Naeem A., Sabir M., Ahmad H.R., 2016.** Contrasting effects of biochar, compost and farm manure on alleviation of nickel toxicity in maize (*Zea mays* L.) in relation to plant growth, photosynthesis and metal uptake. *Ecotox. Environ. Safe.* **133**: 218–225pp.
- Richard D.O., 2011.**Waste management and peri-urban agriculture in the early modern Scottish burgh », *Agr.Hist. Rev.* 1-17p.
- Robert N., Tanguy M., Riss J., et R. Gallois., 2014.** Effects of Ramial Chipped Wood Amendments on Weed Control, Soil Properties and Tomato Crop Yield. Ist IS on Organic Matter Management and Compost in Horticulture. Institut Agronomique néo-calédonien. 8p.
- Robert L., 1992.** Caractérisation et variabilité des engrais de ferme. Colloque sur la gestion des fumiers. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec, Canada.
- Rome S., Bigot S., Chaffard V et Biron P.E., 2008.** relation entre les temperatures de l'air et les temperatures du sol : l'exemple des hauts plateaux du vercors. XXIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie Montpellier.555-560.
- Roy G., Sauvesty A., Pagé F et Van Hulst R., 2001.** Etude de quatre érablières du Québec en relation avec le milieu pédologique : I. microrélief, fertilité des sols et dépérissement ; II. Paramètres physiologiques et dépérissement. *Agrosols.* **12** : 13 - 20.
- Sabir M et Zia-ur-Rehman M., 2015.**Phytoremediation of metalcontaminated soils using organic amendments. In: Hakeem K, Sabir M, Ozturk M, Mermutt A (eds): Soil remediation and plants: prospects and challenges. Academic Press, Cambridge, 503–523.
- Salau O.A., Opara-Nadi O.A et Swennen R., 1992.**Effects of mulching on soil properties, growth and yield of plantain on a tropical ultisol in southeastern Nigeria. *Soil. Till. Res.* **23** : 73-93.
- Samson R.A., et Hoekstra E.S., 1988.** Indroduction to food –born fungi , 3rd edn . Centra Albureau Voor .Schimelcultures. Baane. The Netherlands.
- Santorufu L., Van-Gestel C., Rocco A et Maisto G., 2012.** Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality, *Environ. Poll.* **161**: 57-63.

Sarah Erman., 2012. The Noisome Product of the Town Returned in Golden Grain': The Market for the 'Town's Manure' in Dundee and the Carse of Gowrie 1820-1870", Unpublished Masters Dissertation, University of St Andrews.

Satchell J.E., 1958. Earthworm Biology and soil fertility. *Soil.Fert.* **21**: 209-219.

Satchell, J.E., 1967.Lumbricidae. In : Burges A. & Raw F. (eds.) “ Soils Biology ”, Academic Press, 259 – 322.

Scheffer T et Cowling E.B., 1966. Natural resistance of wood to microbial deterioration. *Annu. Rev. Phytopatho.* **4** : 147-170.

Scheller U., 1988. The Pauropoda of the Savanna River Plant, Aiken, South Carolina. SRO–NERP 17, 1–99.

Scheller U., 1990. Pauropoda. In “Soil Biology Guide” (D. L. Dindal, ed.), Wiley, New York. 861–890 p.

Scotti R., Pane C., Spaccini R., Palese A.M, Piccolo A., Celano G et Zaccardelli M., 2016. On-farm compost: a useful tool to improve soil quality under intensive farming systems. *Appl. Soil. Ecolo*, **107**: 13–23.

Seastedt T.R.,1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Ann. Rev. Entomol.* **29**: 25-46.

Senal J., Fraselle J., Impens R., Kummert J., Lepoivre Ph., Meulmans M., Seilleur P., Vandevéken J., et Viseur J., 1993. Traité de pathologie végétale. Gembloux. Belgique.

Sétémé A. et Mey P., 2007.Valorisation agricole des ordures ménagères en zone soudano-sahélienne : cas de la ville de Bobo Dioulasso. *Sciences et Médecine.* **05** : 64-71.

Sharma N et Madan M., 1988. Effects of Various Organic Wastes Alone and with Earthworms on the Total Dry Matter Yield of Wheat and Maize. *Biol. Wastes* **25**: 33—40.

Sharma U.K et Meshram K., 2015. Evaluate the effect of mulches on soil temperature, soil moisture level and yield of capsicum (*Capsicum annum*) under drip irrigation system. *Inter. J. Agr. Eng.* **8**: 54–59.

Shelley R.M., 2002.A Synopsis of the North American Centipedes of the Order Scolopendromorpha (Chilopoda).Memoir 5, Virginia Museum of Natural History, Martinsville.

Snider R.J., 1967. An annotated list of the Collembola (Springtails) of Michigan. *Michi. Entomt.* **1**: 178–234.

Snider R.J.,1969. New species of Deuterostminthurus and Sminthurus from Michigan (Collembola: Sminthuridae). *Rev. Ecol. Biol. Sol.* **3** : 357–376.

Soltner D., 1988. Les grandes productions végétales. 16ème édition. *Coll. Sci.* 16-21.

Références Bibliographiques

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.

Soremi A.O., Adetunji M.T., Adejuyigbe C.O., Bodunde J.G et Azeez J.O., 2017. Effects of Poultry Manure on Some Soil Chemical Properties and Nutrient Bioavailability to Soybean. *J.Agr. Ecol* **11**: 1-10.

Soremi A.O., Adetunji M.T., Adejuyigbe C.O., Bodunde J.G., et Azeez J.O., 2017. Influence of Organic Manure on Phosphorus and Potassium Fractions in Soil Planted with Soybean. *Inter. J. Plant. Soil. Sci.* **14**: 1-11.

Soumare M.D., Mnkeni P.N.S et Khouma M., 2002. Effects of Casuarina equisetifolia composted litter and ramial-wood chips on tomato growth and soil properties in Niayes, Senegal. *Biol. Agric. Hort.* **20** : 111-23.

Stahli R., Suter E et Cuendet G., 1997.Peuplements lombriciens des prairies permanentes du Plateau suisse. Cahier de l'environnement, OFEFP-Berne, n° 291, 90 pp.

Stewart Ph., 1969.Quotient pluviométrique et dégradation atmosphérique. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord*, **59** : 23-36.

Sturm H.,1959.Die Nahrung des Proturen. Beobachtungen an Acerentomon doderoi Silv. Und Eosentomon transitorium Berl. Die Natumiss, **46**: 90-91.

Swift M.J., Heal O.W et Anderson J.M., 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems. Studies in ecology, volume 5, University of California Press, Bekerley, 372 p.

Taylor B.R., Parkinson D et Parsons W.F.J., 1989. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates : a microcosm test. *Ecology*. **70**: 97-104.

Tejada M., Moreno J.L., Hernandez M.T et Garcia C., 2007.Application of two beet vinasse forms in soil restoration: Effects on soil properties in an arid environment in southern Spain. *Agr. Ecosyst. Environt.* **119**: 289–298.

Teskey H.J., 1990. Insecta: Diptera Larvae. In “Soil Biology Guide” (D. L. Dindal ed.). Wiley, New York. 1253–1276 p.

Thomson G., 1980. Simple control and measurement of relative humidity in museums/G. Thomson, L. Bullock.- IN: Museums Association Information Sheet, 24,6p.

Tissaux J.C., 1996. Une revue bibliographique des principaux mécanismes pédogénétiques pour caractériser le rôle du bois raméal fragmenté (BRF) dans le processus d'humification. Mémoire de fin d'étude. Département des Sciences du Bois et de la Forêt, Université Laval, Québec.

Tissaux J.C., 2001. Caractérisation de bois raméaux fragmentés et indices de décomposition. Mémoire de Maitrise, Ulaval, Québec, St-Foy, 136p.

Références Bibliographiques

- Tomati U., Grappelli A et Galli E., 1986.** The Alternative “Earthworm” in the Organic Wastes Recycle. In: L’Hermite P. (eds) Processing and Use of Organic Sludge and Liquid Agricultural Wastes. *Springer, Dordrecht*. pp 510-516.
- Tortora J., Funk B.F. et Case Ch.I., 2003.,** Introduction à la microbiologie , (edn) ISBN.Canada.
- Tremblay J et Beauchamp C.J., 1998.** Fractionnement de la fertilisation azotée d’appoint à la suite de l’incorporation au sol de bois rameaux fragmentés : modifications de certaines propriétés biologiques et chimiques d’un sol cultivé en pomme de terre. *Can. J. Soil. Sci.* **78** : 275-82.
- Tullgren A., 1918.**Ein sehr einfacher Auslesgeapparat fur terricole Tierformen. *Z. Angew. Ent.* **4** : 149-150.
- Van den D.F., 1984.** Nutrient storage, retranslocation and relationship of stress to nutrition. In: G.D. Bowen et E.K.S Nambiar (éds.), Nutrition of Plantation Forests. Academic Press, London, 181 - 209.
- Waksman S.A., 1922.** A Method of Counting the Number of Fungi in Soil. *J.Microbiol.* **7**: 339-341.
- Wallwork J.A., 1976.**The Distribution and Diversity of Soil Fauna. Academic Press, London.
- Walter D.E., Hunt H.W et Elliott E.T., 1987.,** The influence of prey type on the development and reproduction of some predatory soil mites. *Pedobiologia.* **30**: 419–424.
- Wang J., Zhu B., Zhang J., Muller C et Cai Z., 2015.** Mechanisms of soil N dynamics following long-term application of organic fertilizers to subtropical rain-fed purple soil in China. *Soil Biol.Biochem.* **91**: 222–231.
- Wardlaw I.F., Dawson I.A et Munibi P.M., 1989.** Tolerance of wheat to high temperature during reproductive stage. *Aust. J. Res.* **46**: 15-24.
- Werquin R., 2006.** L’impact du BRF et des pratiques culturales sur les communautés édaphiques. Mémoire présenté pour l’obtention du grade de bachelier, Faculté d’Agronomie, Haute Ecole Provinciale du Hainot Occidental, Belgique, 77p.
- Whitford, W.G., 2000.**Keystone arthropods as webmasters in desert ecosystems. In“*Invertebrates as Webmasters in Ecosystems*” (D. C. Coleman and P. F. Hendrix, eds.), CAB International, Wallingford, U.K. 25–41.
- Wilkinson G.E., 1975.** Effects of grass fallow rotations on the infiltration of water into a savannazone soil of northern Nigeria. *Trop. Agric.* **52**: 97-103.
- Williams S.T et Gray T.R.G., 1974.** «Decomposition of litter on the soil surface». In: C.H. Dickinson & G.J.F. Pugh (eds.), *Biology of plant litter decomposition*, Volume II, Academic Press, London, 611-632.
- Wilson E.O., 1987.** Causes of ecological success: the case of the ants. *J. Anim. Ecol.* **56** : 1–9.

Références Bibliographiques

- Yaakoubi A., Chahlaoui A., Rahmani M., Elyachioui M et Oulhote Y.,2009.** Effet de l'épandage des margines sur la microflore du sol. *Agrosolutions*. **20**: 9.
- Yang S.M., Malhi S.S., Li F.M., Suo D.R., Xu M.G., Wang P., Xiao G.J., Jia Y., Guo T.W et Wang J.G., 2007.** Long-term effects of manure and fertilization on soil organic matter and quality parameters of a calcareous soil in NW China. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **170**: 234–243.
- Yazdanpanah N., Mahmoodabadi M et Cerda A.,2016.** The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. *Geoderma*. **266**: 58–65.
- Yazdanpanah N., Pazira E., Neshat A., Mahmoodabadi M et Sinobas L.R., 2013.** Reclamation of calcareous saline sodic soil with different amendments (II): impact on nitrogen, phosphorous and potassium redistribution and on microbial respiration. *Agr. Water. Manage.* **120** : 39–45.
- Youcef N., 2009.** Effets de la durée de prétraitements sur la vigueur de la semence du blé dur (*Triticum durum*) variété MBB. Mem. ING. Batna. 12-26 p.
- Zaater A., Kaci F., Mehda S., Belmessaoud R et Ouastani M., 2018.** Effects of the rameal wood technique on sandy soil grown in potatoes in souf (ALGERIAN SAHARA). *J. Fund. Appl. Sci.* **10**: 193-208.
- Zhang M., Heaney D., Henriquez B., Solberg E et Bittner E., 2006.**A four-year study on influence of biosolids/MSW co-compost application in less productive soils in Alberta: nutrient dynamics. *Compost. Sci. Util.* **14**: 68–80.

Article

Article :

Influence de l'apport du bois raméals fragmentés et du fumier sur l'indice de la qualité biologique du sol, sur un sol inculte, dans une région semi-aride méditerranéenne, Algérie.

Journal : African Crop Science Journal.

Classe : B.

Editeur : AJOL : African Journals Online.

Index: CABI, African Journal Online (AJOL), Bioline International and TROPAG.

African Crop Science Journal by African Crop Science Society is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 Uganda License. Based on a work at www.ajol.info/ and www.bioline.org.br/cs
DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/acsj.v26i4.6>



INFLUENCE DE L'APPORT DU BOIS RAMEALS FRAGMENTES ET DU FUMIER SUR L'INDICE DE LA QUALITE BIOLOGIQUE DU SOL, SUR UN SOL INCULTE, DANS UNE REGION SEMI-ARIDE MEDITERRANEENNE, ALGERIE

I. KERROUCHE, M. BENDJABALLAH¹, K.E.D. BAZRI, M. GUTIRREZ LOPEZ², ZELTNI ABD ESSALEM³ et OUAHRANI GHANIA

Laboratoire d'écologie Dép.Eco .FSNV. Université Constantine1, Constantine, Algérie
¹Laboratoire de Biosystématique et Ecologie des Arthropodes, Université de Constantine1, Constantine, Algérie

² Dép. de Zoologie et Anthropologie physique, Faculté de Biologie, Université de Complutense de Madrid, Ciudad Universidad, 28040 Madrid, Espagne

³ Institut Technique des Grandes Cultures, Constantine, Algérie

Auteur correspondant: kerroucheibrahim@gmail.com

(Received 2 January, 2018; accepted 23 November, 2018)

RÉSUMÉ

La faune du sol est considérée comme un élément important des écosystèmes. Il peut être utilisé comme un élément d'évaluation de la qualité du sol et reflète l'état d'un sol. Il contribue à la régulation et à l'équilibre des caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques, et exprime mieux les variations et les changements écologiques pouvant affecter le sol. Le but de ce travail est de déterminer l'Indice de Qualité Biologique (QBS) d'un sol inculte amendé de BRF (Bois Raméal Fragmentés) et de fumier et en présence ou absence de vers de terre anécique (*Octodrilus complanatus*). La station d'étude est située en zone semi-aride (Constantine, Algérie). Ainsi, nous avons identifié 12 groupes de microarthropodes ou les acariens et les collembolés sont les plus abondants (82%). La moyenne estimée du QBS est de [16,7±0,8] ; [31,4±1,0] ; [32,3±0,8] ; [32,9±1,4] et [32,7±1,4] respectivement dans T (Témoin), BRF (Bois Raméal Fragmenté), BRFF (Bois Raméal Fragmenté et Fumier), BRFFV (Bois Raméal Fragmenté et Vers de terre) et BRFFV (Bois Raméal Fragmenté, Fumier et Vers de terre), la différence est très significative entre les placettes étudiées. Par ailleurs, le QBS varie très significativement d'un mois à un autre. En outre, il existe un effet température très significatif sur le QBS. En effet plus la température s'élève et plus le QBS diminue. D'un point de vue pratique, nos résultats contribuent à l'application du QBS et fournissent des valeurs de référence pour cet indice pour des sols situés dans les zones semi-arides méditerranéennes.

Mots Clés: Indice de la qualité biologique du sol, bois raméal fragmentés, fumier, déchets organiques, microarthropodes et agroécologie

ABSTRACT

Soil fauna is an important part of ecosystems. It can be used as an element to assess soil quality and reflects the state of soil, it also contributes to the regulation and balance of physical, chemical and microbiological characteristics, and expresses the variations and ecological changes that affect soil. The objective of this study was to determine the organic quality index (QBS) of an unincubated soil of Ramial Chipped Wood (RCW) and manure. This study was carried out on uncultivated soil of an experimental farm of the Technical Institute of Field Crops (ITGC) in

the region of El Khroub, Constantine, Algeria. The QBS method required the search for the most suitable soil morphological form (morpho-type) avoiding classification at the species level. Microarthropods were separated from the soil and weighed using the biological form approach to assess their level of adaptation to the soil environment. Twelve groups of microarthropods were identified, whereby mites and collembolans were the most representative (82%). The estimated average QBS was $[16.7 \pm 0.8]$; $[31.4 \pm 1.0]$; $[32.3 \pm 0.8]$; $[32.9 \pm 1.4]$ and $[32.7 \pm 1.4]$, respectively, in T (Control with no amendments), BRF (Rameal Chipped Wood), BRFF (Rameal Chipped Wood and Manure), BRFFV (Rameal Chipped Wood and Earth worms) and BRFFV (Rameal Chipped Wood, Manure and Earth worms). The difference was very significant between different types of plots. In addition, the QBS varied significantly from one month to another. The effect of temperature was significant on the quality of the QBS, the higher the temperature, the lower the QBS. From a practical point of view, the information reported contributes to the application of the QBS and provides reference values for this index in a soil of a semi-arid Mediterranean region, Constantine in Algeria.

Key Words: Agroecology, microarthropods, ramial chipped wood, soil biological index

INTRODUCTION

La faune du sol est considérée comme un élément important des écosystèmes (Davis, 1961; Edwards et Lofty, 1982; Hedlund et Öhrn, 2000; Wolters, 2000; Osler et Sommerkorn, 2007). En effet, elle est prise comme un bioindicateur indispensable pour évaluer la qualité des sols elle reflète l'état d'un sol (Stork et Eggleton, 1992; Buckerfield *et al.*, 1997; Paoletti et Hassal, 1999; Yeates, 2003). En effet, la diversité de la pédofaune est un indice important pour la régulation et l'équilibre des caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques, et exprime mieux les variations et les changements écologiques qui peuvent affecter le sol (Eijsackers, 1983; Ekschmitt *et al.*, 2001; Menta *et al.*, 2008; Paolo *et al.*, 2010). Ainsi, la faune du sol est le meilleur indicateur de la qualité du sol (Yan *et al.*, 2012). Récemment, Parisi *et al.* (2005) ont introduit un indice simplifié basé sur les types des microarthropodes présents dans le sol. Cet indice ne nécessite pas une identification au niveau des espèces. « L'Indice de la Qualité Biologique du Sol » ou « Qualità Biologica del Suolo ». La méthode QBS nécessite la recherche de la forme biologique (morpho-type) la plus adaptée au sol. Ce type recevra un score éco-morphologique (EMI) proportionnel à son niveau d'adaptation. En règle générale, les formes eu-édaphique (c'est-à-dire les formes qui vivent en profonde du

Sol-vivant) obtiennent une EMI égale à 20, les formes hémi-édaphiques (c'est-à-dire intermédiaires) reçoivent un indice proportionnel à leur degré de spécialisation, tandis que les formes épi-édaphique (qui vivent en surface) reçoivent un EMI = 1. Ainsi, pour calculer le QBS d'un échantillon, il suffit de faire la somme des EMI de cet échantillon (Parisi *et al.*, 2005).

Par ailleurs, la présence de matière organique dans les sols agricoles est un facteur important pour évaluer l'état du sol. Le BRF et le Fumier sont des entrants énergétiques qui peuvent améliorer le sol. Le Bois Raméal Fragmenté (BRF) désigne l'ensemble de branches qui ont un diamètre inférieur à 7 cm (Lemieux, 1986). Ces branches se caractérisent par une teneur en composés phénoliques faible et une teneur en nutriments relativement élevée (Hendrickson, 1987; Edmonds, 1987). En outre, les BRF constituent une source importante de carbone pour les sols agricoles dégradés (Allison 1973). N'Dayegamiye et Angers (1993) ont observé une augmentation du carbone du sol à la suite de l'apport de BRF au sol. En générale, les amendements organiques riches en carbone, favorise la vie du sol (Tremblay et Beauchamp, 1998). Le fumier est une matière organique résultant des déjections (excréments et urine) d'animaux mélangées avec la litière, après compostage, on l'utilise comme fertilisant en agriculture, les fumiers contribuent au maintien de la fertilité des sols (Hiraoka *et al.*, 2005).

Les vers de terre lombriciens sont considérés comme très importants dans le recyclage de la matière organique du sol. Certaines espèces tels les vers de terre anécique comme *Octodrilus complanatus*, enterrent les résidus organiques superficiels, les dégradent et libèrent les éléments chimiques (N,P,K, etc.) qui y sont contenus (Gates, 1972). Les vers de terre anéciques sont de gros vers de terre, de couleur brune qui constituent le troisième type écologique (épigés, anéciques et endogés). Ce sont eux que l'on trouve lorsqu'on retourne la terre. S'il n'y a pas de vers de terre dans le sol ce n'est pas bon signe. Ainsi, la faune lombricienne est connue pour son importance capitale pour la "formation de la terre végétale". Le rôle mécanique des lombriciens est considérable ; il s'apparente à un labour, remarquable par ses qualités bien supérieures à celles des travaux aratoire classique (Bouche, 1974).

Notre travail, s'intéresse aux QBS d'un sol inculte auquel nous avons ajouté des entrants énergétiques du Bois Raméal Fragmentés (BRF) et/ou du Fumier et en présence/absence de vers de terre anécique de l'espèce *Octodrilus complanatus*. Nous avons introduit

des lombriciens car ils permettent d'augmenter la vitesse de dégradation du BRF et du fumier. Ainsi, la présence de lombriciens, et d'entrants énergétiques (BRF et fumier) devraient influencer positivement le QBS du sol étudié. Enfin, nous avons déterminé le QBS car il est méconnu en zone semi- aride méditerranéenne en générale et en Algérie en particulier.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Ce travail est réalisé, sur l'une des terres incultes d'une ferme expérimentale de l'Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) dans la région d'El Khroub (Constantine, Algérie). La station d'étude est située en zone semi-aride, dont la moyenne des précipitations annuelles est de 450 mm/an, une altitude de 594 m, une latitude de 6.40 Est et une longitude de 36.16 Nord (Fig. 1).

Dans la station, il a été choisi une parcelle de 100 m². Nous l'avons subdivisée en 15 placettes de 2 m² chacune. La Figure 2, montre, 5 modalités des parcelles témoins (T), des parcelles avec que du Bois Raméal fragmenté (BRF), des parcelles avec un mélange de Bois Raméal fragmenté et du

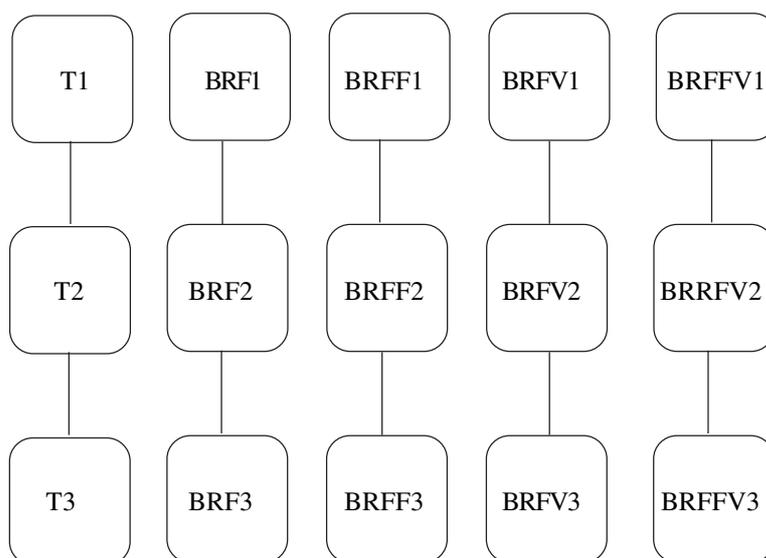


Figure 1. Plan expérimental.

fumier (BRFF), des parcelles avec Bois Raméal fragmenté et vers de terre (BRFV) et des parcelles avec un mélange de BRF et de fumier et en présence de vers de terre (BRFFV). En outre pour chaque observation, 3 répétitions ont été faites.

Calcul des apports énergétiques (BRF et fumier) et présentation des placettes.

Pour chaque placette étudiée à l'exception du témoin, un volume $0,03 \text{ m}^3/\text{m}^2$ a été apporté de BRF ou de fumier, ce qui équivaut à une quantité de $4 \text{ kg}/\text{m}^2$ soit une hauteur de 4 cm d'apport. En effet, le volume qu'il s'agit d'ajouter dans un hectare pour une épaisseur de 4 cm est de 40 t ha^{-1} (Caron et Lemieux, 1999). Il a été mis ainsi 8 kg d'entrant énergétique pour chaque parcelle. Le Tableau 1 donne la composition des différentes placettes étudiées dans notre expérimentation.

Choix du BRF. Nous avons choisi des petites branches inférieures à 7 cm de diamètre du nectarinier (*Prunus persica* var. *nucipersica*, C'est un Angiospermes et d'après Hendrickson, (1987) le contenu total en nutriments dans les rameaux est plus élevé chez les Angiospermes que chez les Gymnospermes.

Choix du fumier. Nous avons choisi comme fumier celui des bovins. Il a été incorporé au sol en automne après compostage.

Choix des vers de terre. Dans les parcelles BRFV et BRFFV, des vers de terre anéciques

de l'espèce (*Octodrilus complanatus*) ont été introduits (Tableau 1). Leur introduction permet une meilleure décomposition des entrants énergétiques (Gates, 1972) et favorisent une plus grande porosité (Edwards et Bohlen, 1996).

Paramètres étudiés

Les paramètres physico-chimiques. Les paramètres physico-chimiques du sol déterminés sont le pH, la conductivité électrique ($\text{CE}_{\mu\text{S cm}^{-2}}$), le % calcaire totale (% CaCO_3), la porosité (%P) le % carbone total (%C), le taux d'azote totale (%N). Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés par des méthodes standards.

Les paramètres biotiques. Le Qualité Biologique du Sol indice (QBS) a été suivi mensuellement de mars 2016 jusqu'au mois de février 2017 sauf les mois de juin juillet et aout soit 9 mois de suivi. Les échantillons du sol ont été collectés à partir des différents types de parcelles étudiées (Fig. 2). Ces échantillons du sol ont été collectés à partir des différents types de placettes étudiées. Les prélèvements des échantillons ont été effectués dans les 10 premiers centimètres du sol et ils ont été mis dans des sachets de plastique pour les étudier au laboratoire.

Détermination de l'indice de la qualité biologique du sol (QBS)

Les principales étapes pour obtenir les valeurs QBS sont :

TABLEAU 1. Composition des placettes étudiées

Placettes	Composition	Symboles
Témoin	Terrain nu	T1, T2 ; T3
BRF	8 kg de BRF.	BRF1, BRF2, BRF3
BRFF	6 kg de BRF, 2 kg de fumier,	BRFF1, BRFF2, BRFF3
BRFV	8 kg de BRF, et 120 vers de terre <i>Octodrilus complanatus</i>	BRFV1, BRFV2, BRFV3
BRFFV	6 kg de BRF, 2 kg de fumier, et 120 vers de terre <i>Octodrilus complanatus</i>	BRFFV1, BRFFV2, BRFFV3

- (i) **Échantillonnage.** Dans le site d'étude, on délimite une zone représentative pour l'échantillonnage du sol. Pour le calcul du QBS les échantillons doivent être collectés lorsque l'humidité du sol se situe entre 40 et 80%. Les échantillons sont placés dans des sacs en plastique étiquetés et fermés (Parisi *et al.*, 2005).

reçoivent un IEM= 1. Pour calculer le QBS d'un échantillon, il suffit de faire la somme des EMI de cet échantillon (Parisi *et al.*, 2005) (Tableau 2).

TABLEAU 2. Indices Eco-Morphologiques (IEM) des groupes de microarthropodes édaphiques (Parisi *et al.*, 2005)

Groupe	EMI score
Protura	20
Diplura	20
Collembola	1-20
Microcoryphie	10
Zygentomata	10
Dermaptera	1
Orthoptères	1-20
Embioptera	10
Blattaria	5
Psocoptera	1
Hemiptera	1-10
Thysanoptères	1
Coleoptera	1-20
Hyménoptères	1-5
Diptères (larves)	10
Autres insectes holométaboles (larves)	10
Autres insectes holométaboles	1
Acariens	20
Aranéide	1-5
Opilion	10
Palpigrade	20
Pseudoscorpions	20
Isopode	10
Chilopode	10-20
Diplopode	10-20
Paupode	20
Symphyles	20

- (ii) **Extraction des microarthropodes.** Selon Bachelier (1978), les microarthropodes sont extraits par plusieurs méthodes, dont la plus simple et la plus utilisée à nos jours est celle connue sous le nom «extraction par voie sèche» décrite par Berlez-Tullgren (1918). La durée d'extraction (jamais inférieure à 5 jours) sera proportionnelle à la teneur en eau de l'échantillon de sol, telle que déterminée par (Parisi, 1974). Les échantillons extraits sont observés sous un stéréo-microscope à faible grossissement (45 fois, habituellement 20 à 40 fois suffisant) dans le même liquide conservateur (Parisi *et al.*, 2005).

- (iii) **Détermination des formes biologiques et calcul de l'indice QBS.** Définir les formes biologiques présentes dans un échantillon signifie reconnaître les différents niveaux d'adaptation à l'environnement du sol pour chaque groupe systématique. La méthode QBS nécessite la recherche de la forme biologique (morpho-type) la plus adaptée au sol. Ce type recevra un score écomorphologique (EMI) proportionnel à son niveau d'adaptation (Tableau 2). En règle générale, les formes eu-édaphique (c'est-à-dire les formes qui vivent en profondeur du Sol-vivant) obtiennent une EMI= 20, les formes hémi-édaphiques (c'est-à-dire intermédiaires) reçoivent un d'indice Proportionnel à leur degré de spécialisation, tandis que les formes épi-édaphique (qui vivent en surface)

RÉSULTATS

- (i) Nature du sol : Le Tableau.3, montre que la porosité est de $[34 \pm 1,51\%]$; le pH de $[7,84 \pm 0,10]$, le taux de CaCO_3 a une valeur de $[31,72 \pm 0,75\%]$; pour la conductivité la moyenne est de $[34,1 \pm 3,12 \mu\text{S/cm}]$, le taux d'azote de $[0,18 \pm 0,00\%]$, le taux de MO est de $[3,43 \pm 0,31\%]$, quant au C/N la moyenne est de $[12,71 \pm 0,88]$.

TABLEAU 3. Moyenne \pm intervalle de confiance à 95%, des principales propriétés du sol de la station d'étude et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses

	pH	CE _p S/cm	% N	% C	% M.O	C/N	%CaCo ₃	% P
Mean	[7,84 \pm 0,10]	[34,1 \pm 3,12]	[0,18 \pm 0,00]	[1,99 \pm 0,18]	[3,43 \pm 0,31]	[12,71 \pm 0,88]	[31,72 \pm 0,75]	[34 \pm 1,51]
Min-Max	(7,43-8,03)	(28,3-46,2)	(0,16-0,19)	(1,64-2,53)	(2,82-4,35)	(9,77-14,94)	(30,2-34,2)	(31-39,)

(ii) **Les groupes de microarthropodes identifiés.** Nous avons identifié 12 groupes de microarthropodes (Tableau 4) dont les Acariens, Collemboles, Coléoptères, Hyménoptères, Araignée, Diptères, Hemiptera, Symphytes, Psocoptera, Blattaria, Chilopode et Diplopode. Ainsi, pendant la période d'étude, les acariens (49%) et les Collemboles (34 %) sont les plus fréquemment présents, par contre les Coléoptères (5,8%), les hyménoptères (4,4 %), les araignées (3,5 %) et larve de diptère (1,5%) sont faiblement représentées et les Hemipteres, Symphytes, Psocopteres, Blattare, Chilopode et Diplopode sont franchement rare (Tableau 4).

(iii) Détermination de l'indice de la qualité biologique (QBS) des sols étudiés. Le Tableau 5, montre que la moyenne estimée du QBS est de [16,7 \pm 0,8] ; [31,4 \pm 1,0] ; [32,3 \pm 0,8] ; [32,9 \pm 1,4] et [32,7 \pm 1,4] respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. La différence est très significative (Fobs= 10,905 ; ddl= 4 P<0,000) (Tableau 6, Fig. 2). Le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 3,937) indique 2 modalités de QBS soit BRFFV, BRFFV, BRFF et BRF (a)>T (b).

TABLEAU 4. Fréquence (%) des groupes des microarthropodes récoltés pendant la période d'étude

Microarthropodes	Fréquence (%)
<i>Acari</i>	49,4
<i>Collembola</i>	34,4
<i>Coleoptera</i>	5,8
<i>Hyménoptèrea</i>	4,4
<i>Araneae</i>	3,5
<i>Diptera</i> (larvae)	1,5
<i>Hemiptera</i>	0,5
<i>Symphyla</i>	0,2
<i>Psocoptera</i>	0,2
<i>Blattaria</i>	0,1
<i>Chilopoda</i>	0,1
<i>Diplopoda</i>	0,1

TABLEAU 5. Intervalle de confiance à 95% pour les moyennes estimées pour la variable QBS et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses pour les parcelles étudiées

T	BRF	BRFF	BRFFV	BRFFV
[16,7±0,8] (0-40)	[31,4±1,0] (0-61)	[32,3±0,8] (0-50)	[32,9±1,4] (0-75)	[32,7±1,4] (0-71)

TABLEAU 6. Anova pour la variable QBS

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Parcelles	4	5295,407	1323,852	10,905	< 0,0001
Mois	8	15124,133	1890,517	15,573	< 0,0001
Parcelles*mois	32	7171,793	224,119	1,846	0,013

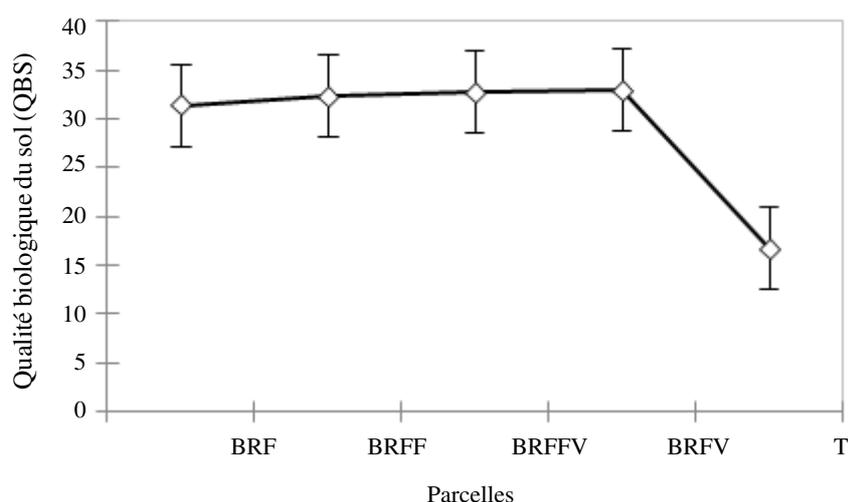


Figure 2. Variation moyenne du QBS dans les parcelles étudiées.

(iv) **Détermination de QBS selon les mois.**

Les QBS calculé pour les mois étudiés la moyenne estimée est de [23,4±1,6]; [7±1,6]; [23,2±0,8]; [33,0±1,7]; [44,4±2,4]; [24,1±1,6]; [31,3±1,7]; [39,8±2,5] et [36,5±1,1] respectivement pour le mois de Mars; Avril; Mai; Septembre, Octobre, Novembre, Décembre, Janvier et Février (Tableau 7). La différence est très significative (Fobs= 15,573 ; ddl= 8 P<0,000) (Tableau 6, Fig. 3). Le test de Tukey (Valeur critique du d

de Tukey :4,495) indique 8 modalités de QBS soit : Octobre (a)>Janvier (ab)> Février (abc)>Septembre (abcd) > Décembre (bcd) >Novembre (cd) >Mars, Mai (d) > Avril (e) . Par ailleurs, il y a un effet Parcelles*Mois (Fobs=1,846 ; ddl=32 P<0,013) (Tableau 7, Fig. 4) cela signifie que le QBS est influencé par la qualité de la parcelle mais aussi par les facteurs climatique tels que les précipitations et les températures.

TABLEAU 7. Intervalle de confiance à 95% pour les moyennes estimées pour la variable QBS pendant les mois d'étude et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses

Mars	Avril	Mai	Sep	Oct	Nov	Déc	Janv	Fév
[23,4±1,6] (0-43)	[7±1,6] (0-49)	[23,2±0,8] (12-34)	[33,0±1,7] (10-48)	[44,4±2,4] (6-73)	[24,1±1,6] (0-40)	[31,3±1,7] (6-55)	[39,8±2,5] (1-75)	[36,5±1,1] (20-50)

TABLEAU 8. Intervalle de confiance à 95% pour les moyennes estimées pour la variable T°C sol pendant les mois d'étude et leurs valeurs extrêmes entre parenthèses

Mars	Avril	Mai	Sep	Oct	Nov	Déc.	Jan	Fév.
[13,4±0,1] (10,0-16,2)	[14,0±0,1] (12-16)	[12,4±0,3] (0,4-22,5)	[24,4±0,1] (20,4-29,7)	[21,7±0,1] (17-25)	[18,5±0,1] (15,3-20,9)	[10,0±0,1] (7,8-12,5)	[6,6±0,1] (3,7-9,2)	[7,5±0,1] (3,4-11,5)

- (v) **Effet de la T°C sol sur le QBS.** Le Tableau 8, montre que les moyennes estimées de la T°C sol sont de [13,4±0,1]; [14,0±0,1]; [12,4±0,3]; [24,4±0,1]; [21,7±0,1]; [18,5±0,1]; [10,0±0,1]; [6,6±0,1] et [7,5±0,1] °C respectivement pour Mars, Avril, Mai, Septembre, Octobre, Novembre, Décembre, Janvier et Février. La différence entre les moyennes des températures du sol est très significative (Fobs= 151,144 ; ddl = 8 et P<0,000) (Tableau 9). Cela signifie que les températures varient mensuellement. Par ailleurs le test de Tukey (Valeur critique du d de Tukey : 4,411) indique 6 modalités de T°Csol soit Sep (a)> Oct (b)> Nov (c)> Avr; Mar; Mai (d)> Dec (e)>Fev; Jan (f) (Fig. 5).

DISCUSSION

Le sol étudié (Tableau 4) a en moyenne une très mauvaise porosité (Baize *et al.*, 1995). Le pH est alcalin (Baize, 2000), puis qu'il est fortement calcaire (Baize, 2000). Ce sol est non salin (Durand, 1983). Par contre il est bien pourvu en M.O et riche en azote (Soltner, 1992). Par ailleurs, le rapport C/N étant supérieur à 12 (Tableau 4), traduit une mauvaise minéralisation (Baize, 2000). Quant à La texture du sol, elle est en moyenne sablonneux-limoneuse.

Dans notre étude nous avons collecté 1303 individus et identifié 12 groupes de microarthropodes (Tableau 5), Parisi *et al.*, 2005, ont trouvé 18 et 13 groupes de microarthropodes respectivement dans une étude à Parma (nord de l'Italie) et une autre à Crémone (nord de l'Italie). Ainsi les microarthropodes collectés sont dominés par la présence d'acariens (49%) et des collemboles (34%) (Tableau 5). Ces résultats sont corroborés avec ceux du Madej *et al.*, 2011 qui ont trouvée dans une étude sur l'évaluation de l'indice de la qualité biologique du sol que la présence des microarthropodes est dominée par les acariens suivi par les collemboles. D'après Spencer (1951) in

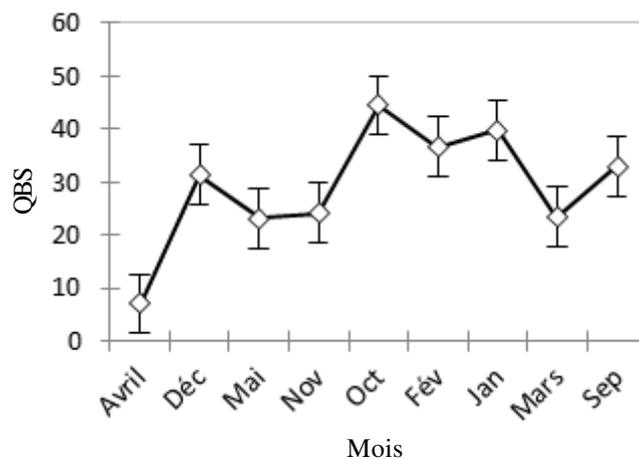


Figure 3. Variation du QBS dans les mois étudiés.

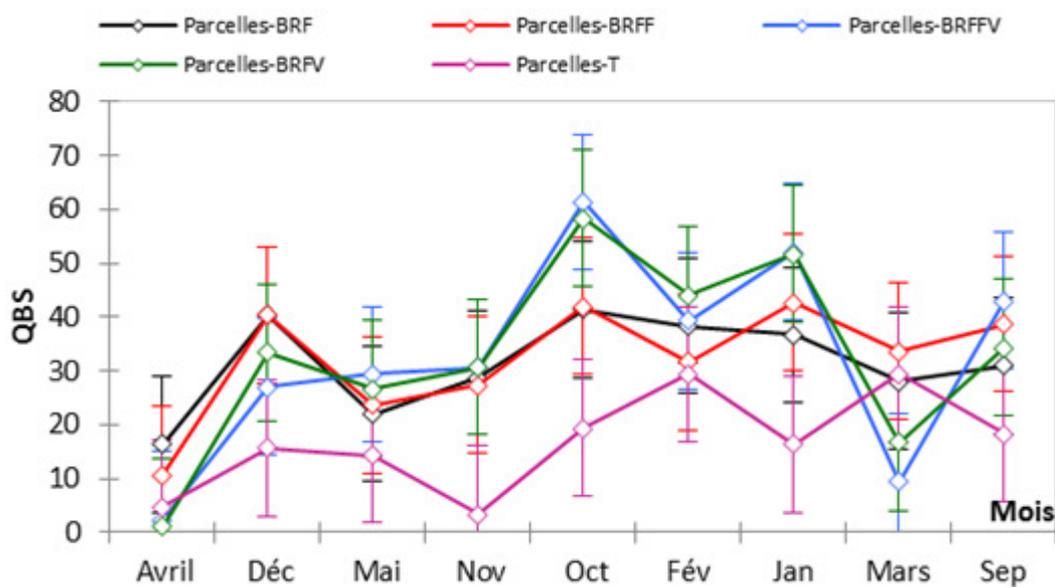


Figure 4. Variation du QBS dans les mois et les parcelles étudiés.

TABLEAU 9. Anova pour la variable température du sol

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Mois	8	13660,210	1707,526	151,144	< 0,0001

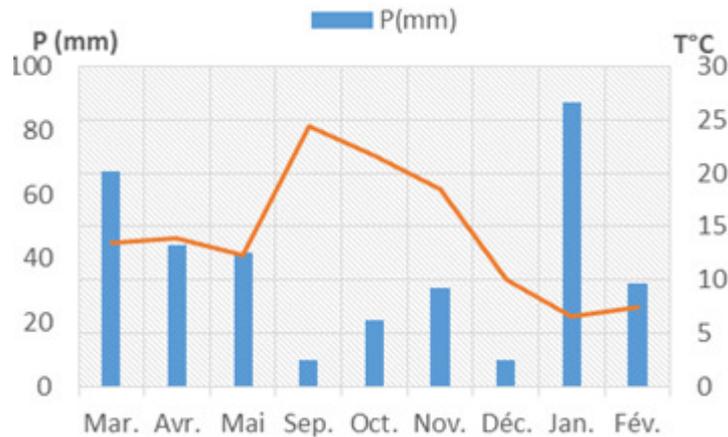


Figure 5. Variation de la T°C sol et des Précipitations dans les mois prospectés.

Bachelier (1963) après les acariens, les collemboles sont les arthropodes les plus nombreux du sol.

Concernant la détermination du QBS (Tableau 5) nous avons obtenu $[16,7 \pm 0,8]$; $[31,4 \pm 1,0]$; $[32,3 \pm 0,8]$; $[32,9 \pm 1,4]$ et $[32,7 \pm 1,4]$ respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV. Parisi *et al.*, 2005 ont trouvé des valeurs du QBS de 125, 98 et de 96 dans 3 différentes études en Italie. En outre, Santorufo *et al.*, 2012 ont trouvé une moyenne de QBS de 106 dans des sols de jardins et de parcs à Naples (Sud de l'Italie). Dans notre expérimentation, l'apport du BRF et de fumier a influencé positivement les populations des microarthropodes et donc sur le niveau du QBS calculé dans les différents types de placettes étudiées (Tableau 6). En effet, le QBS est multiplié par 2 par rapport au témoin dans les différentes placettes étudiées (Fig. 8). L'apport du BRF a favorisé l'implantation d'une microflore plus diversifiée dont la faune du sol aurait profité, et plus particulièrement les acariens et les collemboles (Larochelle, 1994). Nos résultats sont corroborés par ceux de Parisi *et al.*, 2005, qui ont trouvés que l'apport des eaux usées sur des sols de Crémone (Italie) améliorent significativement la biologie du sol. en effet le QBS passe d'une moyenne de 82 (sols non traités) à 113 (sols traités aux eaux usées) (Parisi *et al.*, 2005). Par ailleurs,

Larochelle, 1994, a noté que l'apport du BRF influence les microarthropodes du sol, ils étaient 5 fois plus abondantes que dans le témoin.

Concernant, l'effet de la T°C sol sur le QBS nous avons prélevé une température de $[13,4 \pm 0,1]$; $[14,0 \pm 0,1]$; $[12,4 \pm 0,3]$; $[24,4 \pm 0,1]$; $[21,7 \pm 0,1]$; $[18,5 \pm 0,1]$; $[10,0 \pm 0,1]$; $[6,6 \pm 0,1]$ et $[7,5 \pm 0,1]$ °C respectivement pour Mars, Avril, Mai, Septembre, Octobre, Novembre, Décembre, Janvier et Février, soit un QBS moyen de 28, pendant les 9 mois d'étude. Par contre, au nord de l'Italie (région humide) et pour les mois de Mars, Avril, Novembre et Décembre 2010 (Aspetti *et al.*, 2010), ont obtenu une moyenne du QBS de 74,0 dans des champs cultivés. En outre (Andrés *et al.*, 2011) ont trouvé une moyenne de 166 dans une étude à Vallmitjana (Taradell, Espagne). Ainsi le QBS, des régions nord du bassin méditerranéen (Italie (74) et Espagne (166)) sont supérieures à celui du QBS que nous avons estimé dans une région sud méditerranéenne. Ceci peut être expliqué par les faiblesses des pluviosités pendant la période d'étude. En effet, Il est à observer (Fig. 6) la sécheresse pendant la saison automnale de la période d'étude. Le manque de pluies a dû certainement jouer sur la diversité et l'abondance des microarthropodes et donc sur le niveau du QBS

calculé (29). En effet l'humidité a un grand rôle sur la croissance des organismes. En fait, les fortes températures agissent surtout indirectement en desséchant le milieu, ce qui, pour les téguments fragiles et la respiration cutanée de la plupart des animaux du sol, est catastrophique. L'humidité est très importante pour les acariens, dont de nombreuses espèces supportent très bien les inondations temporaires du sol. Les collemboles supportent d'autant plus mal les fortes températures qu'ils sont soumis à un climat sec qui les déshydratent (Bachelier, 1963). L'humidité du sol demeure le facteur essentiel ayant une influence directe sur la pullulation et le comportement de la faune du sol (Ferrahi et Djema, 2004).

CONCLUSION

Cette étude s'intéresse à l'apport d'entrants énergétique (BRF et fumier) sur un sol inculte et à leurs influences sur l'indice biologique des sols (QBS). La station d'étude est située dans une région semi-aride méditerranéenne (Algérie). Par ailleurs, le QBS de 5 placettes (T, BRF, BRF, BRFFV et BRFFV) a été déterminé. L'expérimentation a duré 9 mois (Mars, Avril, Mai, Septembre, Octobre, Novembre, Décembre 2016 et Janvier et Février 2017). Les résultats montrent que le sol étudié a en moyenne une très mauvaise porosité, un pH alcalin il est fortement calcaire et le rapport C/N traduit une mauvaise minéralisation. En outre, sur un effectif de 1303 individus de microarthropodes récoltés, nous avons identifié 12 groupes de microarthropodes dont les Acariens, Collemboles, Coléoptères, Hyménoptères, Araignée, Diptère Diptères, Hemiptera, Symphyle, Psocoptera, Blattaria, Chilopode et Diplopode. Dont les acariens et les collemboles représentent 84% de l'effectif. Concernant le QBS, nous avons obtenu pour les parcelles étudiées la moyenne de [16,7±0,8] ; [31,4±1,0] ; [32,3±0,8] ; [32,9±1,4] et [32,7±1,4] respectivement dans T, BRF, BRFF, BRFFV et BRFFV, la différence est très

significative et cela indique clairement que l'apport du BRF et de fumier influencent positivement les populations des microarthropodes et donc sur le niveau du QBS. En effet, le QBS est multiplié par 2 par rapport au témoin T. Concernant les QBS calculé pour les mois étudiés la moyenne estimée est de [23,4±1,6]; [7±1,6]; [23,2±0,8]; [33,0±1,7]; [44,4±2,4]; [24,1±1,6]; [31,3±1,7]; [39,8±2,5] et [36,5±1,1] respectivement pour le mois de Mars; Avril; Mai; Septembre, Octobre, Novembre, Décembre, Janvier et Février. La différence est très significative (Fobs= 15,573 ; ddl= 8 p<0,000). Par ailleurs, il y a un effet Parcelles et Mois (Fobs=1,846 ; ddl=32 P<0,013), cela signifie que le QBS est influencé par la qualité de l'apport mais aussi par les facteurs climatique tels que les précipitations et les températures. En effet, les températures du sol mensuelles (T°C sol) varient très significativement d'un mois à un autre. Le QBS moyen estimé pour le sol inculte étudié est de 29. En revanche, le QBS, des régions nord du bassin méditerranéen Italie (74) et Espagne (166) sont supérieurs à celui du QBS que nous avons estimé (29). La sécheresse de la période d'étude a impacté la diversité et l'abondance des microarthropodes et donc sur le faible QBS estimé dans notre station d'étude située en zone semi-aride méditerranéenne.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allison, F. E. 1973. Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier Scientific Publishing Co, Amsterdam. 637pp.
- Andrés, P., Mateos, E., Tarrasón, D., Cabrera, C. and Figuerola, B. 2011. Effects of digested composted and thermally dried sewage sludge on soil microbiota and mesofauna. *Applied Soil Ecology* 48: 236–242.
- Aspetti, G., Boccelli, R., Ampollini, D., Del Re Attilio, A.M. and Capri, E. 2010. Assessment of soil-quality index based on microarthropods in corn cultivation in

- Northern Italy. Ecological Indicators 10: 129–135.
- Bachelier, G. 1963. *Lavie animale dans les sols*. 1^{éd}, O.R.S.T.O.M. Paris. 279pp.
- Bachelier, G. 1978. *La faune du sol, son action*, Initiation, Documentation technique, N°38, O.R.S.T.O.M. 391pp.
- Baize, D. 2000. *Guide des analyses en pédologie*. 2^{éd}, INRA, Paris. 257pp.
- Baize, D. et Jabiole, B. 1995. *Guide pour la description des sols*. Ed, INRA, Paris. 375pp.
- Bouche, M.B. 1974. *Les lombriciens* : Bul de Liaison. Centre Universitaire. Dijon: 27:13-18.
- Buckerfield, J.C., Lee, K.E., Davoren, C.W. and Hannay, J.N. 1997. Earthworms as indicators of sustainable production in dryland cropping in Southern Australia. *Soil Biology and Biochemistry* 29 : 547-554.
- Caron, C., Lemieux, G., 1999. *Le bois raméal pour la régénération des sols agricoles et forestiers*. Echo MO19: 2.
- Davis, B.N.K. 1961. Soil fauna in relation to soil formation and fertility. *Nature* 189 : 367-368.
- Durand, J.H. 1983. *Les sols Irrigables, Etude pédologique*. Presses Université de France, Agence de Coopération Culturelle et Technique. 338pp.
- Edmonds, R.L. 1987. Decomposition rates and nutrient dynamics in small-diameter woody litter in four forest ecosystems in Washington, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research* 17: 499- 509.
- Edwards, C.A. and Bohlen, P.J. 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*, Champon and Hall, London, UK.
- Edwards, C.A. and Lofty, J.R. 1982. Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry* 14: 515-521.
- Eijsackers, H. 1983. Soil fauna and soil microflora as possible indicators of soil pollution. *Environmental Monitoring and Assessment* 3: 307-316.
- Ekschmitt, K., Bakonyi, G., Bongers, M., Bongers, T., Boström, S., Dogan, H., Harrison, A., Nagy, P., O'Donell, A.G., Papatheodorou, E.M., Sohlenius, B. and Stamou, G.P. 2001. Nematode community structure as indicator of soil functioning in European grassland soils. *European Journal of Soil Biology* 37: 263-268.
- Hedlund, K. and Öhrn, M.S. 2000. Tritrophic interactions in a soil community enhance decomposition rates. *Oikos* 88: 585-591.
- Hendrickson, O. 1987. Winter branch nutrients in northern conifers and hardwoods. *Forest Science* 33: 1068-1074.
- Hiraoka, H. Misra, R.V et Roy R.N. 2005. *Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole*, FAO, Rome, Italy. 51pp.
- Larochelle, L. 1994. *L'impact du bois raméal fragmenté sur la dynamique de la mésofaune du sol*. M.Sc. Thèse. Université Laval, Canada. 78pp.
- Lee, K.E. 1985. *Earthworms: Their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press, Sydney. 411pp.
- Lemieux, G. 1986. *Le bois raméal et les mécanismes de fertilité du sol*, Publié par le Ministère de l'Énergie et des Ressources et la Faculté de Foresterie de l'Université Laval, Québec. 20pp.
- Madej, G., Barczyk, G. and Gdawiec, M. 2011. Evaluation of soil biological quality index (QBS-ar): Its sensitivity and usefulness in the post mining chronosequence – preliminary research. *Polish Journal of Environmental Studies* 5: 1367-1372.
- Menta, C., Leoni, A., Bardini, M., Gardi, C. and Gatti, F. 2008. Nematode and microarthropod communities: comparative use of soil quality bioindicators in covered dump and natural soils. *Environmental Bioindicators* 3, 35e46.
- Nortcliff, S. 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 161-168.
- N'Dayegamiye, A. and Angers, D. A. 1993. Organic matter characteristics and

- waterstable aggregation of a sandy loam after 9 years of wood-residue applications. *Canadian Journal of Soil Science* 73: 115–122.
- Osler, G.H.R., Sommerkorn, M. 2007. Toward a complete soil C and N cycle: Incorporating the soil fauna. *Ecology* 88: 1611-1621.
- Paoletti, M.G. and Hassal, M. 1999. Woodlice (Isopoda: Oniscidea): Their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 157-165.
- Paolo, A.G., Raffaella, B., Danio, A., Attilio, D.R.A.M. and Ettore, C. 2010. Assessment of soil-quality index based on microarthropods in corn cultivation in Northern Italy. *Ecological Indicators* 10: 129-135.
- Parisi, V. 1974. Soil biology and ecology, techniques of researches. Boringhieri, Torino (in Italian).
- Parisi, V. 2001. The biological soil quality, a method based on microarthropods. *Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense* 37: 97–106.
- Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C. and Mozzanica, E. 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105: 323-333.
- Santorufu, L., Van Gestel, C., Rocco, A. and Maisto, G. 2012. Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. *Environmental Pollution* 161: 57-63.
- 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.
- Stork, N.E. and Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7: 38-47.
- Tremblay, J. et Beauchamp, C.J. 1998. Fractionnement de la fertilisation azotée d'appoint à la suite de l'incorporation au sol de bois raméaux fragmentés: modifications de certaines propriétés biologiques et chimiques d'un sol cultivé en pomme de terre. *Canadian Journal of Soil Science* 78: 275 – 282.
- Tullgren, A. 1918. Ein sehr einfacher Auslesgeapparat für terricole Tierformen. *Z. Angew. Ent* 4 : 149-150.
- Wolters, V. 2000. Invertebrate control of soil organic matter stability. *Biology and Fertility of Soils* 31: 1-19.
- Yan, S., Singh, A.N., Fu, S., Liao, C., Wang, S., Li, Y., Cui, Y. and Huf, L. 2012. A soil fauna index for assessing soil quality. *Soil Biology and Biochemistry* 47: 158-165.
- Yeates, G.W. 2003. Nematodes as soil indicators: Functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils* 37 : 199-210.

Nom : KERROUCHE

Prénom : IBRAHIM

Doctorat 3^{ème} cycle

**Titre : BIOSTIMULATION DES SOLS CULTIVES PAR APPORT DE BOIS RAMEAL
FRAGMENTE (BRF) ET DE FUMIER.**

Résumé :

Une étude de biostimulation des sols cultivés a été menée pendant 4 ans (2014 à 2017) pour déterminer la valeur agricole de déchets verts le Bois Raméal fragmentés (BRF), le Fumier et l'épandage de vers de terre anécique (*Octodrilus complanatus*). Les résultats montrent : que le sol choisi, appartient à la classe limon sableux, la température du sol change d'un milieu à l'autre, d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre. L'humidité du sol change d'un milieu à l'autre, Elle varie notamment d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre. Le pH varie en fonction du milieu, entre saisons et années, au début l'expérimentation, le pH est en moyenne alcalin [7,63±0,06], puis en fin d'expérimentation il devient en moyenne peu alcalin [7,43±0,03]. La conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) change d'un milieu à un autre, d'une année à l'autre. Toutefois, l'apport du BRF et du fumier n'a pas affecté la classe de la CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) du sol, elle est restée en Classe I (non salé). Le sol étudié est fortement riche en calcaire. La moyenne globale % CaCO_3 pour les 3 années d'expérimentation est de [31,84±0,38] %, l'apport de BRF de nectarine et du fumier de bovins n'ont pas affecté le % CaCO_3 et le sol analysé reste dans la classe fortement calcaire. Il est à noter que la porosité (%) du sol étudié passe de la classe très mauvaise (34,0 %) à la classe moyenne (43,1 %) à la fin de l'étude. La moyenne du % C du sol en fin de processus (1,96 %C) est légèrement plus élevée par rapport au début de l'expérience (1,84 % C). Il y eu un enrichissement de carbone organique et de la M.O après apport de de BRF de nectarine et du fumier de bovins. Pour, le %Nt en fin d'expérience a augmenté significativement de 12 % par rapport au début de l'essai. Pour le compartiment biotique, nous avons noté une augmentation de la densité des champignons microscopiques, des microarthropodes (collemboles et acariens) dans les placettes amendées par rapport au témoin. En outre, l'indice de la qualité biologique du sol (QBS) est multiplié par 2 par rapport au témoin dans les différentes placettes étudiées. Par ailleurs, l'ajout de BRF du Nectarinier et du fumier de bovins, favorise la croissance et le développement d'*O. complanatus*. Aussi, le BRF de nectarinier (*Prunus persica* var. nucipersica) et le fumier de bovin, stimule significativement la productivité (g/m^2) du blé dur (*Triticum durum*) de la variété Hedba 3. En effet, la phytomasse fraîche et sèche aérienne (g/m^2), ont augmenté respectivement de 282 % et de 275 % par rapport au témoin. Toutefois, la présence de vers de terre avec BRF et fumier (BRFFV) favorise plus la production de la biomasse fraîche aérienne (pFa (g/m^2), Cette étude sur la contribution du bois raméal fragmenté(BRF) est très intéressante futuriste pour le développement durable des écosystèmes. En effet, elle a montré que le BRF est un entrant énergétique pour l'espèce *Octodrilus complanatus*.

Mots clés: Sol, Fertilité, Agroécologie, Gestion des déchets, Valorisation, Bois Raméals Fragmentés (BRF), Biologie du sol, Biostimulation, blé dur, Microarthropodes, Vers de terre anéciques.

Laboratoire de recherche : Développement et valorisation des ressources phytogénétiques

Directeur de thèse : Prof. OUAHRANI GANIA

Année universitaire : 2018/2019