

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

Ministère de l'Enseignement
Supérieur et de la Recherche
Scientifique Université Ibn
Khaldoun de Tiaret
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Science biologique



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du diplôme de Master
académique Filière : Sciences de la nature et de la vie
Spécialité : Ecosystème steppique et
saharien

THEME :

Effet de l'application des engrais azotés sur les
microorganismes de sol dans la région de Tiaret

« Cas de la région de Rechaiga »

Présenté par :

M^r. BARDED Khaled

M^r. TIRES Abdelkader

Membres du jury :

Président : M^r M'OUADAH D Sahraoui

Promoteur : M^rMELLIANI Kadour

Examinatrice : M^{me}DELLAL Nadia

Année universitaire : 2016 -2017

Remerciements

Merci avant tout au bon dieu, le clément, le miséricordieux, le plus puissant....

En préambule, je souhaite adresser tous mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur soutien de près ou de loin tout au long de mon travail.

*Je n'aurai jamais suffisamment de mots pour exprimer ma reconnaissance à mon promoteur Mr **MELLIANI Kadour** pour m'avoir accordé sa confiance en acceptant de m'encadrer. Ses qualités humaines, ses conseils judicieux ont été pour moi une source inestimable de réconfort et d'encouragements pour mener à terme ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.*

Je voudrai remercier les membres du jury : Monsieur qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce Jury, et Madamepour avoir accepté d'être l'examinatrice de notre thèse.

*nous tenons également à remercier Monsieur **SAID Abdelkader** et Monsieur **BENAHLIMA Ahmed**, ainsi que tous les ingénieurs des laboratoires de microbiologie, de géologie, d'écologie, de technologie alimentaire et de biochimie, pour leurs conseils pratiques, et pour nos avoir aidée à mener à bien mes travaux de mémoire.*

Je remercie également toute l'équipe de l'institut national des sols, de l'irrigation et du drainage (INSID) de Ksar Chellala.

Nous remercions nos famille pour son support, et particulièrement pour aller de l'avant.

A nos ami(e)s qui ont tenté de me porter de l'aide et du soutien. A tous ceux que je n'ai pas cité, qu'ils trouvent ici l'expression de nos sincère gratitude.

Merci

Dédicace

*Du profond de mon cœur, je dédie ce travail à tous ceux qui
me sont chers,*

A nos chères parents...

*Aucune dédicace ne saurait exprimer nos respect, nos amour
éternel et nos considération pour les sacrifices que ils ont
consenti pour nos instruction et nos bien être.*

Nous les remercions pour tout le soutien et l'amour qu' ils
nos porté depuis nos enfance, et nous espérons que la
bénédiction nos accompagnera toujours.

Nous espérons que, du monde qui est sien maintenant, il
apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance.
Puisse Dieu, le plus puissant l'avoir en sa sainte miséricorde.

A nos enfants

A nos familles

A nos amis

Table des matières

Liste des abréviations.	
Liste des figures.	
Liste des tableaux.	
Liste des photos	
Introduction.....	01

Première partie

Synthèse Bibliographique

Chapitre I : Généralités sur le sol

I.1. Le sol, un écosystème complexe.....	03
I.2. Les composantes du sol.....	03
I.2.1. La phase solide.....	04
I.2.1.1. La fraction minérale	04
I.2.1.2. La fraction organique	04
I.2.2. La phase liquide.....	04
I.2.3. La phase gazeuse.....	05
I.3. Organisation du sol.....	05

Chapitre II : généralité sur les engrais

II-1- Généralité sur les engrais.....	07
II-2- Les fertilisants, environnement, et la santé.....	07
II-2-1- Environnement et sécurité alimentaire.....	07
II-2-1-1- L'air.....	07
II-2-1-2 -Le sol.....	09
II-3- Les éléments trace métallique (ETM).....	11
II-3-1-Biodisponibilité des métaux	11
II-3-1-1- Exemple de cadmium.....	12
II-3-2-Nitrate et eau.....	13
II-3-3-Nitrate et santé.....	14
II-4-Azote et environnement.....	15

II-5-Le code de bonne pratique agricole.....	16
--	----

Chapitre III: Les microorganismes de sol

III-1-Les microorganismes de sol.....	18
III-2-Quelques microorganismes utiles vivants dans le sol.....	19
III-2-1-Actinomycètes.....	19
III-2-2-Azotobacters.....	19
III-2-3-Azospirillum.....	19
III-2-4-Bacillus radicola.....	19
III-2-5-Mycorhizes (glomus intradiles et messeae).....	19
III-2-6-Trichoderma (hazrnium et atroviride).....	19
III-3-Types de microorganismes trouvent dans le sol.....	20
III-3-1-Les bactéries.....	20
III-3-2-Les champignons.....	20
III-3-3-Les biosphères.....	21
III-3-4-Edaphon.....	21
III-3-5-Les enzymes.....	21
III-3-6-Humusphères.....	21
III-3-7- Mucilage.....	22
III-3-8-Philosphères.....	22
III-3-9-Rhizosphères.....	22
III-4-L'activité microbienne.....	23
III-4-1-Conditions favorables à l'activité microbienne.....	23
III-4-1-1-La température.....	23
III-4-1-2-L'air et le sol.....	23
III-4-1-3-Nourriture des microbes.....	23
III-4-1-4-Base alcalino-terreuse.....	23
III-4-2-Optimiser l'activité microbienne.....	24

III-4-2-1-Miser sur les engrais vert pour optimiser l'activité microbienne.....	24
III-4-2-2-Les engrais vert et la stabilité structurale.....	24
III-5-Les vers de terre.....	26
III-5-1-Les vers de terre épigés.....	26
III-5-2-Les vers de terre endogés.....	27
III-5-3-Les vers de terre anéciques.....	27
III-6-Les champignons.....	28
III-6-1-Les mycorhizes.....	28
III-6-1-1-Les endomycorhizes.....	29
III-6-1-2-Les ectomycorhizes.....	29
III-7-Biologie de sol.....	30
III-7-1-L'oxydation.....	30
III-7-2- La chélation.....	30

Chapitre IV: Impact de la fertilisation sur le sol

IV-1-Impact de la fertilisation sur le sol.....	32
IV-2-Valeur de la fertilisation azotée.....	33
IV-3-Définitions et description de processus du cycle biogéochimique.....	34
IV-3-1- Définitions.....	34
IV-3-2-Déterminants de la valeur azotée d'une fertilisation.....	34
IV-4-Effet des apports de la fertilisation sur les teneurs en matière organique des sols...36	
IV-4-1-Méthodes et indicateurs pour évaluer la valeur amendant des fertilisants.....	36
IV-4-1-1-Essai sur le champ.....	36
IV-4-1-2-Les essais au champ de moyenne/longue durée.....	37
IV-4-2-Effet des apports de fertilisant sur la qualité de la matière organique des sols.....	38
IV-5-Impact sur l'abondance, la diversité et l'activité des organismes du sol.....	39
IV-5-1-L'abondance.....	40

IV-5-1-1- Effets court terme / effets long terme.....	40
IV-5-2-La diversité.....	40
IV-5-3-L'activité.....	41
IV-5-4-Les indicateurs.....	41
IV-6-Influence de l'épandage de la fertilisation sur la santé des plantes.....	42
IV-6-1-Protection des plantes contre les maladies par l'utilisation des fertilisants.....	43

Deuxième Partie :
La partie expérimentale

I.1. Objectif du travail.....	46
I.2. La région du prélèvement.....	46
I.2.1. Situation géographique.....	46
I.2.2. Le climat.....	47
I.3. Lieu du travail.....	48
I.4. Matériel et méthodes.....	49
I.4.1. Matériel.....	49
I.4.1.1. Verrerie, appareils et produits utilisés.....	49
I.4.2. Méthodes.....	50
I.4.2.1. Echantillonnage.....	51
I.4.2.2. Détermination du taux d'humidité.....	51
I.4.2.3. Préparation des échantillons.....	52
I.4.2.3.1. Séchage.....	52
I.4.2.3.2. Broyage et tamisage.....	52
I.4.2.4. Les analyses physiques.....	53
I.4.2.4.1. Analyse granulométrique.....	53
I.4.2.5. Les analyses chimiques.....	53
I.4.2.5.1. Mesure du pH.....	53
I.4.2.5.2. Mesure de la conductivité électrique.....	54
I.4.2.5.3. Détermination du calcaire total.....	55
I.4.2.5.4. Dosage du calcaire actif.....	55
I.4.2.5.5. Dosage du carbone organique.....	56
I.4.2.5.6. Dosage de l'azote total.....	57
I.4.2.6. Les analyses microbiologiques d'un sol non fertilisé.....	57

I.4.2.7. Les analyses microbiologie d'un sol fertilisé.....	58
---	----

Résultats et discussion

II.1. Résultats des analyses physico-chimiques.....	59
II.1.1. Discussion des résultats de la granulométrie.....	60
II.1.2. Discussion des résultats de l'humidité.....	60
II.1.3. Discussion des résultats du calcaire total.....	60
II.1.4. Discussion des résultats du calcaire actif.....	61
II.1.5. Discussion des résultats de la conductivité électrique.....	61
II.1.6. Discussion des résultats du pH.....	61
II.1.7. Discussion des résultats de la MO.....	62
II.1.8. Discussion des résultats de l'azote total.....	63
II.1.9. Discussion des résultats du rapport C/N.....	63
II.2. Résultats des analyses microbiologiques.....	64
II.2.1. Discussion des résultats des bactéries aérobies.....	64
II.2.2. Discussion des résultats des Azotobacters.....	65
II.2.3. Discussion des résultats des actinomycètes.....	65
II.2.4. Discussion des résultats des champignons.....	66
II.2.5. Discussion des résultats des ammonifiants.....	67
II.2.6. Discussion des résultats des nitrifiants et dénitrifiants.....	67
II.3. Résultats des analyses microbiologies de sol fertilisé.....	68
II.3.1. Discussion des résultats des bactéries aérobies.....	68
II.3.2. Discussion des résultats des bactéries azotobacters.....	69
II.3.3. Discussion des résultats des actinomycètes.....	70
II.3.4. Discussion des résultats des champignons.....	70
II.3.5. Discussion des résultats des ammonifiants.....	71
II.3.6. Discussion des résultats des nitrifiants et des dénitrifiants.....	71
Conclusion.....	72

Référence bibliographique

Annexe..... Annexe I

Annexe..... Annexe II

Annexe..... Annexe III

Liste des figures

Figure 01: La complexité externe et interne du sol.

Figure 02 : Classes des particules minérales du sol.

Figure 03 : exemples d'associations organominérales observé microscope électronique

Figure 04 : fixation du gaz carbonique par l'agriculture.

Figure 05 : CO₂ fixer par 01 ha de blé.

Figure 06 : la fertilité minérale des sols.

Figure 07 : biodisponibilité du cadmium.

Figure 08 : lessivage de nitrate.

Figure 09 : azote totale mobilisé annuellement en France.

Figure 10 : L'autoprotection des matières organiques.

Figure 11 : Les vers de terre épigés.

Figure 12 : Les vers de terre endogés.

Figure 13 : Relation entre sol / plante et champignon.

Figure 14 : Cycle de l'azote en milieu agricole.

Figure 15 : Augmentation des stocks de C organique dans les différents traitements du site Qualiagro.

Figure N°16:Situation géographique de la zone d'étude.

Figure N°17:Les zones de prélèvements.

Figure N°18:Protocol expérimental.

Liste des tableaux

Tableau 01 : calcul du flux moyen d'éléments traces.

Tableau 02 : Effets de divers fertilisants sur la santé des plantes.

Tableau N°03:Données climatiques de la zone de Rechaiga campagne 2017/2018.

Tableau N°04 : Matériel et produits.

Tableau n° 05 : résultats d'analyses physiques de sol.

Tableau n° 06 : résultats d'analyses chimiques de sol.

Tableau N°07:Résultats de l'analyse du taux d'humidité des sols étudiés.

Tableau N°08:Résultats des caractéristiques biochimiques des sols étudiés.

Tableau N°09: Résultats de l'analyse microbiologique des sols (milieux solides).

Tableau N°10: Résultats de l'analyse microbiologique des sols (milieux liquides).

Tableau N°11: Résultats de l'analyse microbiologique des sols (milieux solides).

Tableau N°12: Résultats de l'analyse microbiologique des sols (milieux liquides).

Liste des photos

- Photo N°01 :** prélèvement des échantillons de sols.
- Photo N°02 :** Echantillons de sol pesés et séchés à l'étuve.
- Photo N°03 :** Séchage des échantillons de sol.
- Photo N°04 :** broyage et tamisage des échantillons.
- Photo N°05 :** Analyse granulométrique par la méthode de la pipette de Robinson.
- Photo N°06 :** mesure du pH d'un échantillon de sol à l'aide d'un pH mètre.
- Photo N°07 :** mesure de la conductivité électrique du sol par le conductivimètre.
- Photo N°08 :** mesure du calcaire total par le calcimètre de Bernard.
- Photo N°09 :** Dosage du calcaire actif.
- Photo N°10 :** Dosage du carbone organique.
- Photo N° 11 :** Appareil Kjeldahl.
- Photo N°12 :** Aspect macroscopique des colonies des bactéries aérobies.
- Photo N°13 :** Aspect macroscopique des colonies des Azotobacters.
- Photo N°14 :** Aspect macroscopique des colonies d'actinomycètes.
- Photo N°15 :** Aspect macroscopique des colonies des champignons.
- Photo N°16 :** Détection de la présence des ammonifiantes par le réactif de Nessler.
- Photo N°17 :** Détection des nitrifiants et des dénitrifiants par le papier tournesol.
- Photo N°18 :** Aspect macroscopique des colonies des bactéries aérobies.
- Photo N°19:** Aspect macroscopique des colonies des Azotobacters.
- Photo N°20:** Aspect macroscopique des colonies d'actinomycètes.
- Photo N°21:** Aspect macroscopique des colonies des champignons.

Liste des abréviations

AFPP :	Association Française de Protection des Plantes.
µs :	Micro siemens.
AFES :	Association Française pour l'étude du sol.
CE :	Conductivité Electrique.
CEC :	Capacité d'échange cationique.
CIRAD :	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
CPVQ :	Conseil des productions végétales au Québec.
CRA :	Chambre régionale d'agriculture.
FAO :	Food and Agriculture Organization.
GIP :	Groupement d'intérêt public.
Ha :	Hectare.
INRA :	Institut Nationale de la Recherche Agricole.
INSID :	Institut national du sol et de drainage.
ITAB :	Institut technique de l'agriculture biologique.
ITGC :	Institut technique de grandes cultures.
MO :	Matière organique.
NPP :	Nombre le plus probable.
OGA :	Oxytetracyclique Glucose Agar.
PCC :	Précédent cultural céréales.
PCF :	Précédent cultural fourrage.
PCL :	Précédent cultural légumineuses.
pH :	Potentiel d'hydrogène.
T :	Tonne.
UFC :	Unité formant une colonie.
UNIFA :	Union des Industries de la Fertilisation.

Eléments chimiques

C :	Carbone.
CaCO₃ :	Carbonates de calcium.
CO₂ :	Dioxyde de carbone.
CuSO₄ :	Sulfate de cuivre.
Fe₂(SO₄) :	Sulfate ferrique.
H :	Hydrogène.
H₂O :	Molécule d'eau.
HCl :	Acide chlorhydrique.
K₂HPO₄ :	Hydrogénophosphate de potassium.
K₂SO₄ :	Sulfate de potassium.
KCl :	Chlorure de potassium.
MgCl₂ :	Chlorure de magnésium.
MgSO₄ :	Sulfate de magnésium.
MnSO₄ :	Sulfate de manganèse.
N :	Azote.
N₂ :	Diazote.
Na₂CO₃ :	Carbonate de sodium.
Na₂HPO₄ :	Hydrogénophosphate de sodium.
NaCl :	Chlorure de sodium.
NaNO₃ :	Nitrate de sodium.
NaOH :	Hydroxyde de sodium.
NH₄(SO)₄ :	sulfate d'ammonium.
NH₄⁺ :	Ammonium.
NO₂⁻ :	Nitrites.
NO₃⁻ :	Nitrates.
O :	Oxygène.
P :	Phosphore.
PO₄³⁻ :	Phosphate.
S :	Soufre.
SO₄²⁻ :	Sulfate.

Liste des tableaux

Tableau 01 : calcul du flux moyen d'éléments traces.

Tableau 02 : Effets de divers fertilisants sur la santé des plantes.

Tableau N°03:Données climatiques de la zone de Rechaiga campagne 2017/2018.

Tableau N°04 : Matériel et produits.

Tableau n° 05 : résultats d'analyses physiques de sol.

Tableau n° 06 : résultats d'analyses chimiques de sol.

Tableau N°07:Résultats de l'analyse du taux d'humidité des sols étudiés.

Tableau N°08:Résultats des caractéristiques biochimiques des sols étudiés.

Tableau N°09: Résultats de l'analyse microbiologique des sols (milieux solides).

Tableau N°10: Résultats de l'analyse microbiologique des sols (milieux liquides).

Tableau N°11 : Milieu de culture pour les champignons (Milieu OGA).

Tableau N°12: Milieu de culture pour les Azotobacter (Milieu ASHBY).

Tableau N°13 : Milieu de culture pour les Actinomycètes.

Tableau N°14 : Milieu de culture pour les bactéries aérobies

Tableau N°15 : Solution saline standard.

Tableau N°16 : Milieu de culture pour les ammonifiants.

Tableau N°17 : Milieu de culture pour les nitrifiants.

Tableau N°18 : Milieu de culture pour les dénitrifiants.

Tableau N°19 : Classes de la qualité des sols selon leur CE.

Tableau N°20:Le pH du sol.

Tableau N°21 : Le calcaire total.

Tableau N°22 : La matière organique.

Tableau N°23 :L'azote total.

Tableau N°24:Classement des sols en fonction de leur rapport C/N.

Tableau N°25:Table de Mac Grady.

Introduction

La wilaya de Tiaret est à caractère Sylvo-Agro-pastoral dispose d'un vaste territoire agricole, qui représente 80% de la superficie totale, et d'une superficie agricole utile de 705.650 ha représentent 44% de la superficie agricole total (DSA 2016).

Les conditions climatiques déterminant la production céréalière de la wilaya qui représente plus de 10% de la production national (**HALITIM, 1985**). Les sols sont généralement riche en éléments nutritifs, la fertilisation reste à l'heure actuelle le moyen le plus efficace pour l'obtention d'une productivité optimale (**HALILAT, 2004**).

En effet, l'utilisation des fertilisants minéraux y compris l'engrais azoté est devenue actuellement indispensable, ceci pour avoir une bonne production aussi bien quantitative que qualitative. L'azote est un élément qui est largement distribué dans la nature ; il est considéré, avec le phosphate (P) et le potassium (K), comme un constituant fondamental de la vie des plantes. Les multitudes recherches à travers le monde sur la fertilisation ont montré le rôle primordial de l'azote dans la nutrition minérale des plantes ; il constitue l'élément fondamental agissant sur la croissance et le développement des plantes, sachant que le phosphore rentabilise au maximum la fumure azoté.

L'application des engrais minéraux dans le sol a plusieurs effets sur les propriétés du sol, parmi les plus souvent la salinité et le pH du sol. C'est dans ce contexte là que les recherches actuelles s'orientent vers l'obtention d'une dose d'engrais optimale qui permette aux plantes d'exprimer leurs potentialités de productives tout en surveillant l'environnement chimique du capital sol pour éviter la salinisation du sol et la pollution des nappes souterraines.

La wilaya de Tiaret a connu durant ces dernières années une véritable diversification de la production agricole avec le développement des cultures maraichères (oignon et pomme de terre) (**CHELOUFI et BOUAMMAR, 2010**).

La fertilisation minérale des cultures irriguées notamment celle des céréales restent à maîtrise; c'est dans cette perspective que s'inscrit notre recherche qui portera essentiellement sur la dynamique de l'azote dans le système sol-plante en conditions pédoclimatiques.

Ceci impliquerait, d'une part un maximum de connaissances du mécanisme qui régit le comportement de cet élément nutritif dans le sol, et d'autre part disposer de références suffisantes au niveau de la plante afin d'interpréter correctement le résultat.

De ce fait, l'étude que nous allons menée va permettre essentiellement de juger dans des Conditions climatiques de la région de tiaret (cas de Rechaiga) l'influence de la fertilisation azotée sur le comportement, la productivité et l'alimentation minérale de sol cultivée dans cette région. Parallèlement, en conditions semi-contrôlées, il sera procédé à une analyse cinétique de sol fertile avec des engrais azotés et leurs influences sur l'évolution de quelques paramètres microbiologique du sol.

Partie I

Synthèse bibliographie

Chapitre I
Généralité sur le sol

I- Généralités sur le sol

I-1-Le sol, un écosystème complexe

Le sol est la formation superficielle qui recouvre l'écorce terrestre. Il se forme sous l'effet de l'altération de la roche mère (ou minéraux primaires) soumise à des agressions physicochimiques, mécaniques, climatiques (température, humidité...) et biologiques (RAHAOUI ,2009). Il occupe une position clé dans la biosphère continentale car il contribue de manière primordiale aux cycles biogéochimiques des éléments majeurs et des éléments traces. Le sol est donc un écosystème complexe, un bioréacteur et un filtre indispensable à la vie sur terre (LOCATELLI, 2013). Le sol est un corps naturel de constitution minérale et organique, différencié en horizons d'épaisseur variable, qui diffère du matériau sous-jacent par sa morphologie, ses propriétés physiques et chimiques, sa composition et ses caractéristiques biologiques (CALVET, 2013).

I-2-Les composantes du sol

Un volume de sol est constitué d'éléments solides, liquides et gazeux (MOREL, 1996). (fig.01).

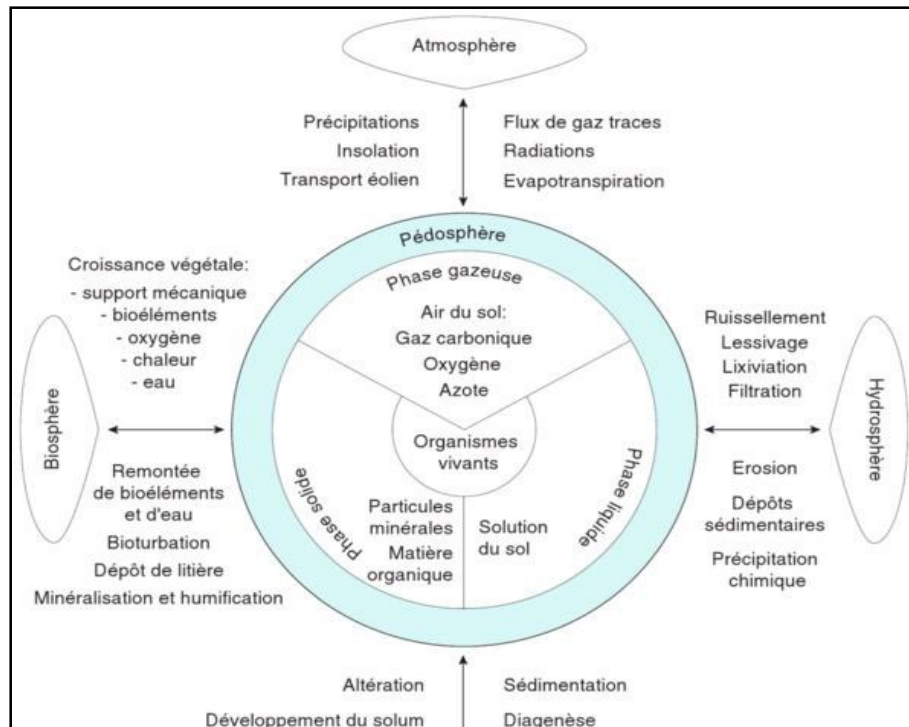


Figure 01: La complexité externe et interne du sol (GOBAT et al, 2010).

I-2-1-La phase solide

I-2-1-1-La fraction minérale

Les constituants minéraux du sol sont primaires, hérités directement de la roche mère, ou secondaires issus de la transformation chimique des précédents et réunis alors dans le complexe d'altération. Celui-ci comporte des sels (ex. carbonates de calcium ou de magnésium) ou des silicates (ex. micas et argiles) ; ces dernières sont des colloïdes, comme les hydroxydes de fer ou d'aluminium, ou d'autres minéraux secondaires. Si l'altération est totale, elle libère des ions isolés ou des micromolécules (**GOBAT et al, 2010**).

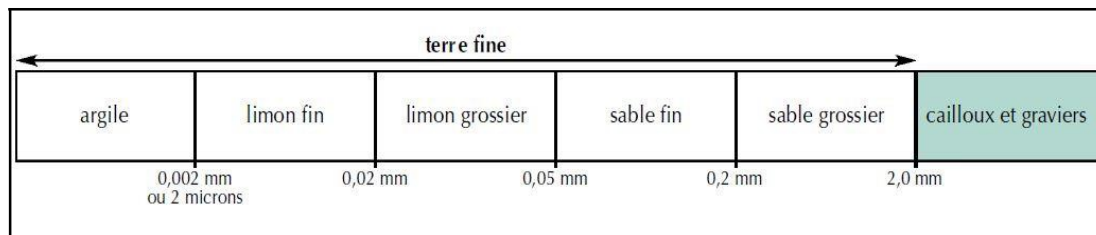


Figure 02 : Classes des particules minérales du sol (**MOREL, 1996**).

I-2-1-2-La fraction organique

Elle comporte tous les organismes vivants et toutes les matières organiques mortes contenus dans le sol.

- **Organismes vivants du sol** : tous les tissus vivants animaux et végétaux; cela comprend donc toute la faune du sol, les microorganismes du sol et les racines vivantes des végétaux (**CALVET, 2013**)
- **Matières organiques mortes** : toutes les substances organiques particulières et moléculaires contenues dans le sol. Autrement dit, il s'agit de tous les constituants organiques non vivants. Les résidus végétaux font partie de la matière organique du sol quand ils lui sont incorporés mécaniquement, soit par l'action de la faune et de la microfaune pour les litières, soit par les travaux du sol pour les sols cultivés (**CALVET, 2013**)

I-2-2-La phase liquide

C'est une solution dans l'eau d'ions minéraux et de petites molécules organiques, qui varie dans sa composition et sa mobilité ; une partie en effet de cette solution du sol est plus ou moins intensément fixée sur la phase solide. La phase liquide remplit partiellement ou en totalité les espaces libres (lacunes) compris entre les particules solides qu'elle imprègne plus ou moins complètement (**MOREL, 1996**).

I-2-3-La phase gazeuse

Elle est composée de gaz (azote, oxygène, dioxyde de carbone) et de vapeur d'eau. Elle occupe les espaces libres laissés entre les particules solides et qui ne sont pas remplis par la phase liquide (**MOREL, 1996**).

I-3- Organisation du sol

La structure du sol résulte de la façon dont sont associés les constituants élémentaires de la terre. Cette association aboutit à des éléments structuraux. Ceux-ci sont formés par les particules élémentaires du sol (matière organique, calcaire, argile) agglomérées par un liant. Pour caractériser une structure, il faut étudier l'agencement des éléments structuraux sous trois aspects : La forme et la taille des éléments structuraux, l'importance relative des parties creuses (vides) et des parties pleines, qui détermine la porosité structurale du sol et l'intensité des liaisons (résistance à la rupture, à la pénétration,...) au sein des éléments structuraux et entre eux (**CEDRA, 1993**).

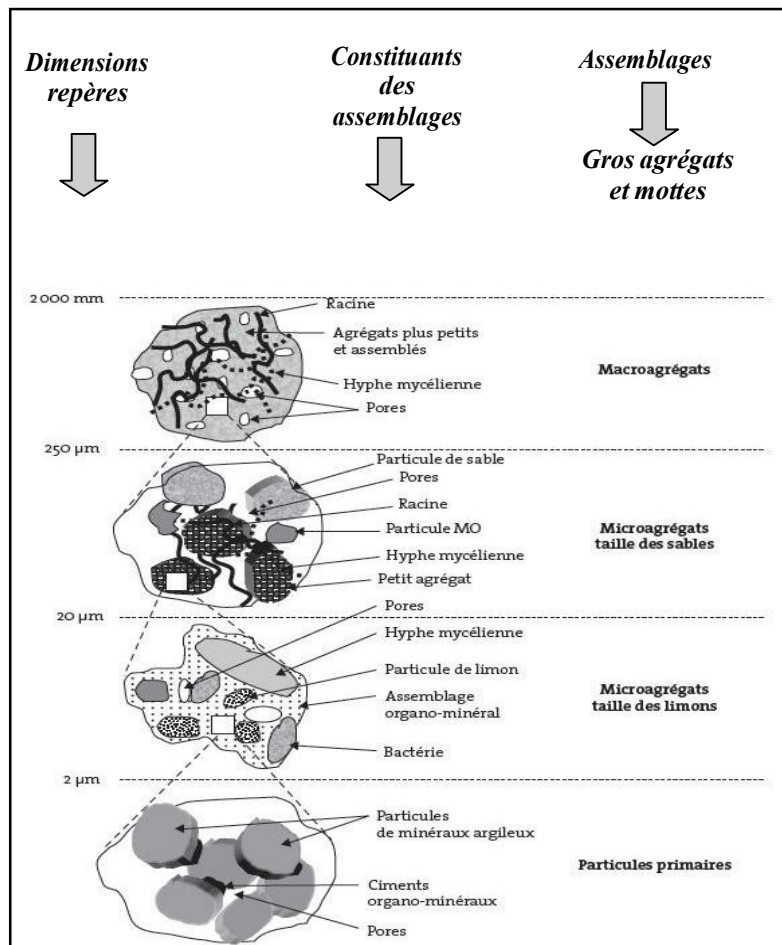


Figure 03 : exemples d'associations organominérales observées au microscope électronique (CALVET et al, 2011).

Chapitre II
Généralité sur les engrais

II-1-Généralité sur les engrais

Un engrais est un produit inorganique ou organique qui est apporté pour fournir les quantités suffisantes de un ou de plusieurs éléments essentiels pour les plantes. Les récentes préoccupations sur les effets des engrais sur l'environnement, la faible efficacité des engrais, leurs prix élevés montrent du urgent le développement d'une approche rationnelle pour choisir les engrais à utiliser (**MOUGHLI, 2000**).

Les engrais azotés peuvent être nocifs pour l'environnement quand ils sont soumis à un épandage excessif. En effet, on assiste alors à une non-assimilation d'une bonne partie de l'azote, qui est ainsi rejetée dans l'atmosphère, les rivières et les océans.

II-2-Les fertilisants, environnement et santé

II-2-1-Environnement et sécurité alimentaire

La protection de l'environnement et la sécurité alimentaire sont depuis plus de dix ans deux préoccupations majeures des pays développés. Comme toute activité humaine, utilisation inconsidérée de fertilisants peut avoir un impact sur l'environnement.

Par ailleurs, la fertilisation raisonnée a des effets positifs sur la qualité des produits agricoles et contribue a en revanche un impact certain sur la qualité des produits agricoles et contribue à l'offre d'une alimentation variée, saine et équilibrée.

Découvrons les interactions N, P, K avec l'air, le sol et l'eau (**Alexandra Maltas et al. 2012**).

II-2-1-1-L'air

L'activité agricole contribue par ses émissions gazeuses, à certaines formes de la pollution Atmosphérique (**EMEP/EEA, 2009**) :

- pluies acides par la volatilisation de l'ammoniac venant des déjections animales et consécutif à l'épandage de certains engrais azotés uréiques ou ammoniacaux,
- effet de serre par l'émission de méthane liée à l'élevage et par celle du protoxyde d'azote N₂O liée aux processus microbiens complexes de nitrification / dénitrification dans les sols.

La part de l'agriculture dans ces émissions diffuses de gaz à effet de serre est difficile à quantifier. Elle est très variable selon les régions. On estime que cette part est de 17% pour la moyenne française, mais elle pourrait atteindre 50% en Bretagne du fait de l'importance des

élevages. A l'inverse, l'agriculture utilise l'énergie solaire pour produire les végétaux et fixer le gaz carbonique CO₂, 1^{er} responsable de l'effet de serre. Les végétaux forment la base de l'alimentation, source d'énergie pour les êtres humains et les animaux. Ils procurent également de la biomasse, source d'énergie thermique, de biocarburants ou encore des matériaux ou des fibres à partir de ressources renouvelables.

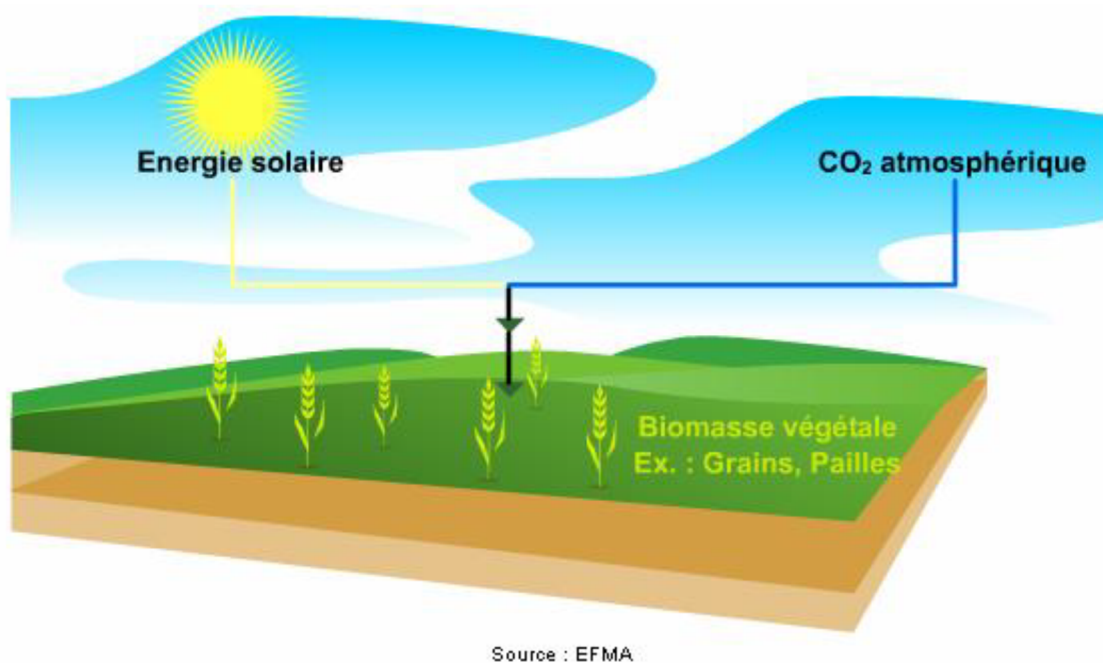


Figure 04 : fixation du gaz carbonique par l'agriculture (Alexandra Maltas et al. 2012).

La fertilisation permet de produire plus de biomasse et de fixer davantage d'énergie solaire et de CO₂ à l'hectare. Son bilan d'utilisation est très nettement positif avec 5 fois plus de gaz à effet de serre fixés par rapport à l'émission provoquée par la production, le transport et l'utilisation des engrais.

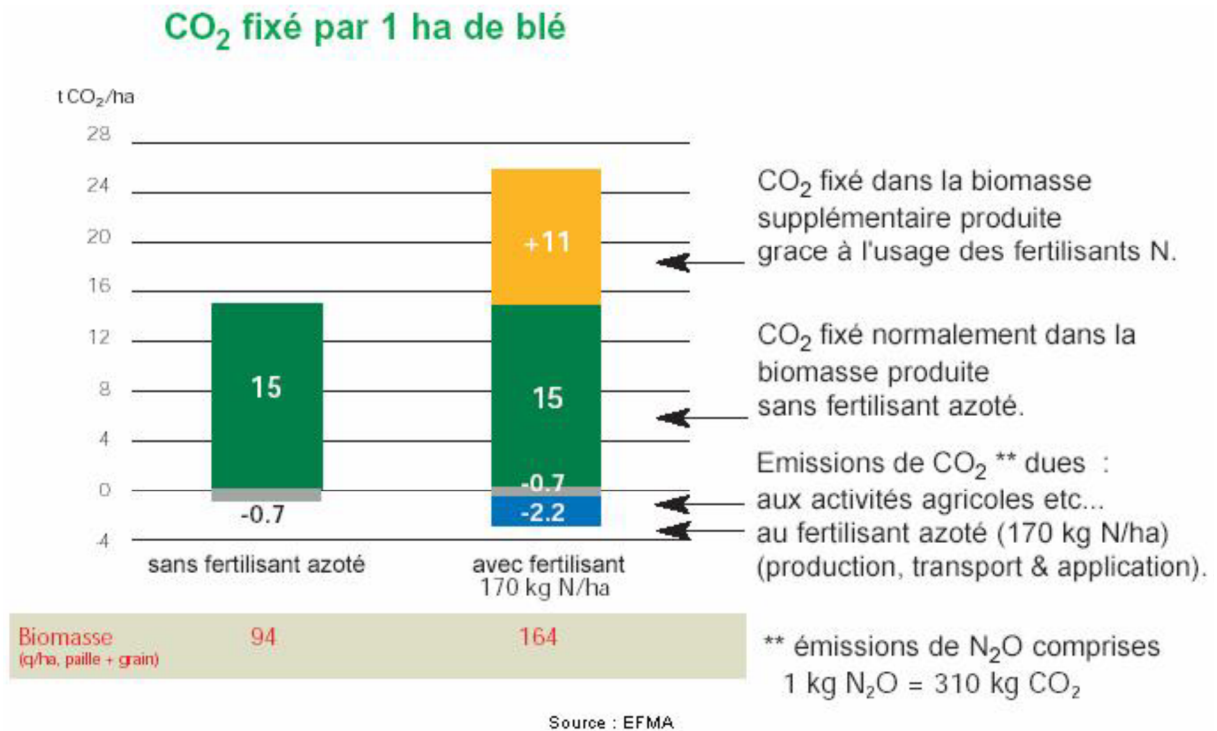


Figure 05 : CO₂ fixer par 01 ha de blé (GOBAT et al, 2010).

II-2-1-2-Le sol

L'agriculteur corrige la fertilité chimique du sol grâce à la fertilisation minérale. En favorisant l'augmentation de la production végétale, les engrais permettent une restitution plus importante de résidus organiques au sol, source d'humus. La diminution du taux de matière organique dans certains sols sous grandes cultures n'est pas due à l'utilisation des engrais, mais le plus souvent à un labour trop profond ou à de trop faibles quantités de résidus restitués (Sims, T.J et al, 1995).

L'entretien de la fertilité des sols, à transmettre aux générations futures, passe également par des 0apports d'éléments minéraux, en particulier phosphore, potassium et magnésium qui viennent compenser les exportations des cultures.

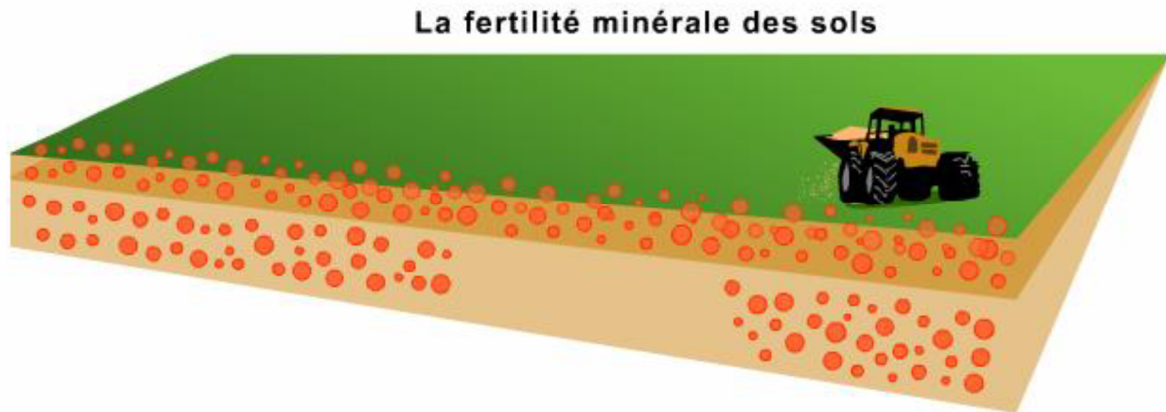


Figure 06 : la fertilité minérale des sols (Sims, T.J et al, 1995).

II-3-Les éléments traces métalliques (ETM)

L'apport possible de certains éléments traces métalliques (ETM), dans les sols même à des concentrations très faibles fait l'objet d'une réglementation précise pour l'épandage des boues (Bierman, P.M et al, 1994).

Calcul du flux moyen d'éléments traces par l'épandage de boues d'épuration :

Nature des éléments	Concentration moyenne (g/t MS)	Flux en g/ha/an (pour 2 tonnes MS)
Cadmium	25	5
Chrome	50	100
Cuivre	330	660
Mercure	2.5	4.6
Nickel	40	80
Plomb	90	180
Sélénium	10	20
Zinc	800	1600

Tableau 01 : calcul du flux moyen d'éléments traces.

Les éléments traces sont naturellement présents dans les roches mères. C'est pourquoi certains fertilisants minéraux phosphatés peuvent contenir du cadmium.

II-3-1-Biodisponibilité du cadmium

D'après une étude de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) " la biodisponibilité du Cd contenu dans les engrais phosphatés est inférieure à celle du métal préexistant dans le sol "(Boniface. R et al, 1988).

Le risque supposé de contamination de la chaîne trophique doit être relativisé, d'autant plus que l'apport de fertilisant phosphatés a diminué de 70% depuis 30 ans.

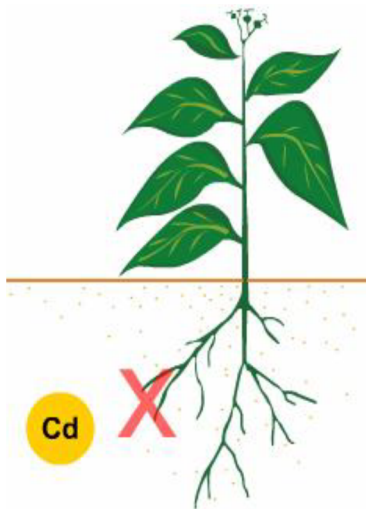


Figure 07 : biodisponibilité du cadmium (Boniface. R et al, 1988).

II-3-1-1-Exemple cadmium

L'analyse des transferts de métaux lourds vers les plantes est très complexe, mais il est connu que les plantes à croissance rapide accumulent davantage les métaux; L'aptitude à l'accumulation dépend donc des espèces et de la variété :

- plantes fortement accumulatrices : carotte, laitue, épinard,
- plantes moyennement accumulatrices : chou, céleri,
- plantes faiblement accumulatrices : betterave, poireau,
- plantes très faiblement accumulatrices : céréales, maïs.

Les apports atmosphériques absorbés par inhalations sont considérés comme négligeables, sauf dans le cas des fumeurs qui absorbent, via le tabac, deux fois plus de cadmium que les non fumeurs.

Le cadmium inhalé est retenu à 50% par les bronches puis transféré pour une grande partie dans le sang. Le cadmium ingéré est quant à lui rejeté à 95% par les voies naturelles et le reste est aussi transféré dans le sang puis fixé dans les tissus des organes filtres du sang. Ce sont donc le rein et le foie qui sont susceptibles d'accumuler le plus de cadmium et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime que les lésions sont irréversibles dans le rein à partir d'une accumulation supérieure à 200 µg.

Pour conclure, en dehors de quelques expositions professionnelles ou accidentelles éventuellement possibles, les doses de cadmium diffuses dans l'air ou l'alimentation, et donc absorbées par l'homme dans la vie courante, sont très inférieures aux seuils de toxicité préconisés par l'OMS.

II-3-2-Nitrates et eau

Le sol retient mal la forme nitrate de l'azote. En raison de leur solubilité dans l'eau, les pertes du sol en nitrates peuvent être importantes. Elles dépendent des quantités et des dates d'apport des fertilisants minéraux et organiques, de la transformation microbienne de l'azote du sol par la minéralisation et la nitrification et enfin de la capacité d'absorption des plantes (Bouthier, A et al, 2009).

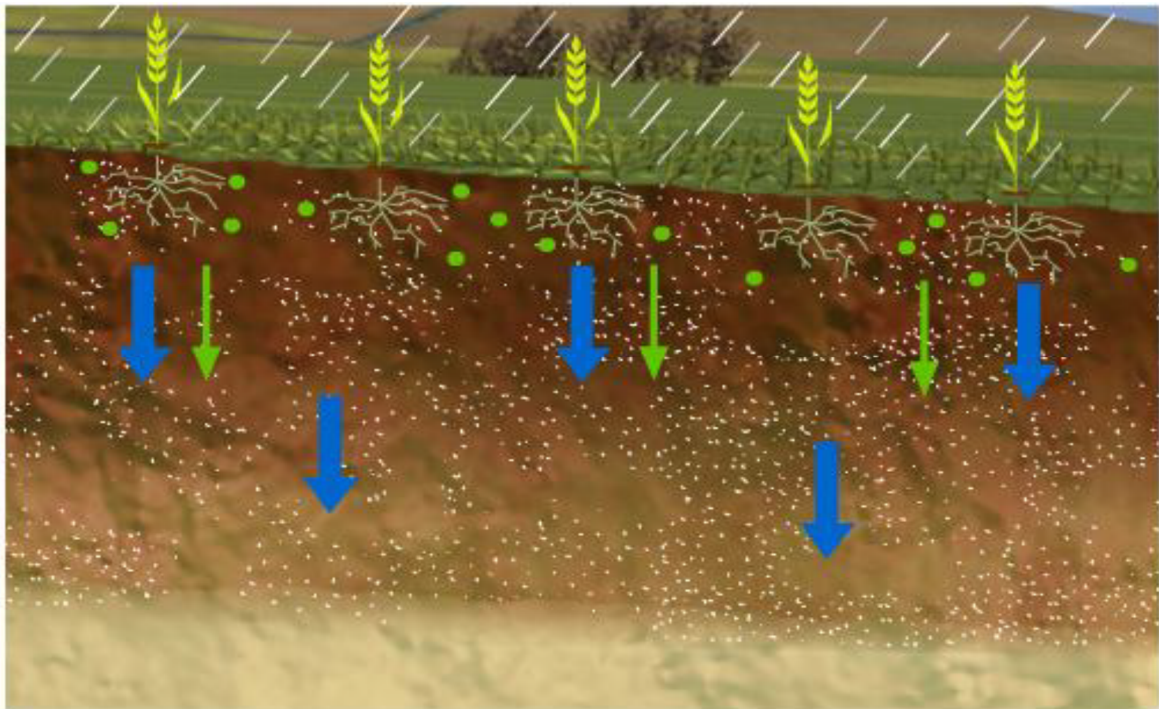


Figure 08 : lessivage de nitrate (Bouthier, A et al, 2009).

Le phénomène du lessivage des nitrates est naturel. Quand le sol est saturé, le drainage de l'excès d'eau entraîne les nitrates vers la nappe phréatique. Il se produit même en l'absence de fertilisation, par exemple sous une jachère. Il peut être amplifié par certaines pratiques culturales : par exemple des apports excessifs de lisiers ou d'engrais minéraux en dehors des périodes de besoins importants des plantes. L'intensité du lessivage dépend aussi de la pluviométrie et du type de sol.

Le ruissellement peut aussi entraîner des quantités significatives de nitrates vers les cours d'eaux. La présence de bandes enherbées ou de haies avec des arbres au bord des cours d'eaux a démontré son efficacité pour réduire ces pertes de nitrates.

II-3-3-Nitrates et santé

Les apports en nitrates par l'alimentation se situent entre 30 et 185 mg par jour selon le régime alimentaire.

Les aliments les plus riches sont les légumes : laitue, épinard, céleri, betterave... qui contiennent plus de 1000 mg de nitrates par kg.

L'apport par l'eau de boisson est plus variable et ne représente pas plus de 30% de l'apport total.

Les nitrates ne sont pas toxiques en tant que tels. C'est leur transformation par certaines bactéries qui aboutit à la formation de nitrites, susceptibles d'inactiver l'hémoglobine du sang chez le bébé de moins de 6 mois. La méthémoglobinémie du nourrisson a été considérée aux USA comme une conséquence de l'ingestion de nitrates présents dans l'eau des biberons.

Des recherches ultérieures ont montré que des infections gastro-intestinales liées à une contamination bactérienne de l'eau étaient la vraie origine de la maladie, aujourd'hui disparue. C'est cependant sur la base de cet accident que la valeur limite des 50 mg/l dans l'eau de boisson a été fixée aux USA, étendue au niveau international et reprise en Europe (Gilmour, J.T et al,1988).

II-4-Azote et environnement

On n'estime que les quantités d'azote minéral mises en jeu annuellement dans les différents cycles en France sont proches de 9 millions de tonnes. La quantité d'engrais azoté d'origine industrielle, considérée souvent comme seule cause de la pollution, représente le quart de cette quantité totale.

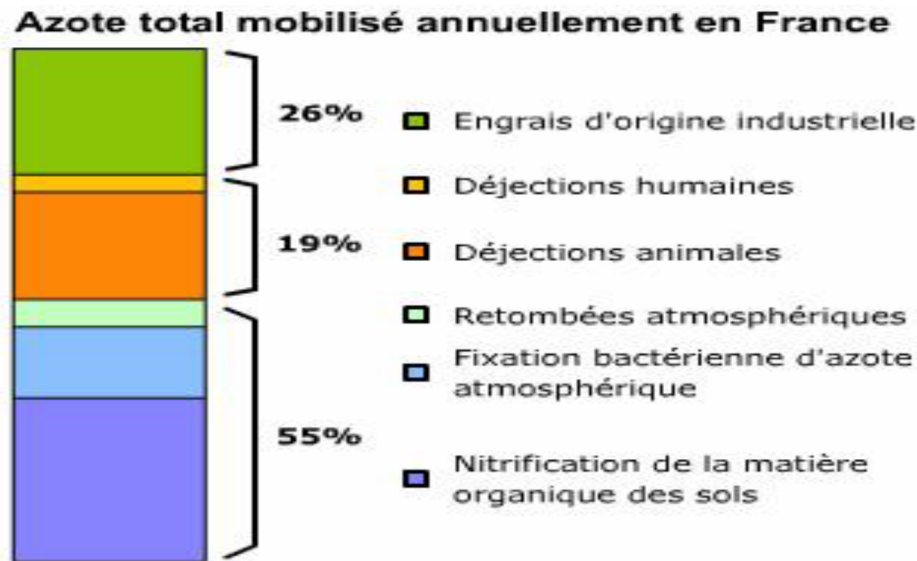


Figure 09 : azote totale mobilisé annuellement en France (Gilmour, J.T et al, 1988).

Toutes les activités humaines, urbaines, industrielles et agricoles, contribuent à la pollution des eaux par les nitrates, principale forme azotée que la plante peut absorber.

Approximativement, un tiers des " fuites de nitrates " peut être attribué à l'industrie et aux agglomérations urbaines, un tiers aux déjections animales et un tiers aux sols cultivés.

Les nitrates, en se retrouvant dans les eaux, constituent un problème global car ils provoquent un enrichissement en éléments nutritifs, non souhaité, du milieu aquatique (Gilmour, J.T et al, 1988).

II-5- Le Code de bonnes pratiques agricoles

Le Comité d'Orientation Pour les Bonnes Pratiques Respectueuses de l'Environnement (CORPEN) a identifié les risques de fuites des nitrates liées au sol, au climat, aux successions culturales et a édicté des règles de bonne conduite (FAO, 2003).

1. Eviter d'épandre des fertilisants au cours des périodes de lessivage sur des sols dont la couverture végétale ne permet pas d'absorber les nitrates : des périodes ou l'épandage est inapproprié sont définies par département selon les types de fertilisants.

2. Réaliser l'épandage des fertilisants sur les sols en forte pente de telle sorte que le ruissellement en dehors du champ d'épandage soit supprimé : sens d'implantation de la culture, localisation de bandes enherbées, haies ou talus en bas de pente.

3. Eviter les épandages de fertilisants sur les sols détremés, inondés, gelés ou couverts de neige aggravant le risque de ruissellement ultérieur.
4. Epandre les fertilisants en respectant des distances minimales par rapport aux eaux de surface et en prenant en compte les types de fertilisants : 35m pour les effluents d'élevage, 2m pour les autres types.
5. Eviter les rejets directs d'effluents venant des bâtiments d'élevage vers le milieu naturel : récupération de tous les écoulements et évacuation vers des ouvrages de stockage dont la capacité est suffisante pour couvrir la période où l'épandage est inapproprié.
6. Equilibrer les besoins prévisibles de la culture et les fournitures d'azote par le sol et la fertilisation : fractionner les apports afin de répondre au mieux aux besoins des cultures à différents stades, veiller à l'uniformité de l'épandage de la dose déterminée en contrôlant le réglage du matériel.
7. Réaliser des plans de fumure prévisionnels à la parcelle et tenir un cahier d'épandage des fertilisants précisant par culture, les dates d'épandage, les volumes et quantités d'azote de toutes origines.
8. Combiner au mieux les apports d'eau par l'irrigation et les fertilisants : fractionner, éventuellement localiser l'apport de fertilisant pour assurer une mobilisation régulière par les cultures.

Chapitre III

Les microorganismes de sol

III-1-Les microorganismes de sol

Le sol n'est pas simplement le support dans lequel les plantes s'enracinent et puisent les éléments nutritifs indispensables à leur développement. Le sol est un fantastique réservoir de microorganismes (champignons et bactéries), en termes de diversité et de densité.

En effet, un gramme de sol végétal contient environ 1 milliard de bactéries réparties en 5 à 25 000 espèces dont la plupart ne sont pas encore connues, ni même cultivables en laboratoire.

Les communautés microbiennes telluriques, qui jouent un rôle primordial dans les cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote et d'autres éléments, exercent également des effets bénéfiques ou délétères sur la croissance et la santé des plantes. Rares sont les microorganismes pathogènes. En revanche, nombre d'entre eux favorisent la croissance des végétaux, assurent la dégradation de polluants, et fournissent des composés d'intérêt tels des enzymes, des antibiotiques ou d'autres molécules (antiviraux, antitumoraux).

Parmi les microorganismes bénéfiques, il y a les champignons mycorhiziens, qui entretiennent des relations très intimes avec la plante. Ils apportent à la plante des éléments nutritifs, essentiellement le phosphore, utiles à sa croissance, et d'autre part ils renforcent ses défenses naturelles vis-à-vis de stress d'origine biotique ou abiotique.

D'autres microorganismes, en particulier les bactéries du genre *Bacillus* ou *Pseudomonas* qualifiées, sont également capables de stimuler la croissance des plantes et de s'opposer à l'activité d'agents pathogènes (**Schlegel et al, 2001**).

Pendant de nombreuses années, la lutte contre les organismes pathogènes d'origine tellurique a fait appel à la désinfection des sols, par emploi de molécules biocides, telles que le bromure de méthyle, extrêmement dangereuses pour l'homme et l'environnement.

Aujourd'hui, ces molécules étant heureusement interdites, l'objectif est de contrôler les équilibres microbiens dans la rhizosphère grâce à des pratiques culturales adaptées.

L'apport d'amendements organiques compostés peut se révéler extrêmement bénéfique pour limiter l'incidence de certaines maladies. L'emploi d'agents de lutte biologique appartenant aux genres *Trichoderma* spp. *Bacillus* ou *Pseudomonas* est encore limité mais tend à se développer (Vargas. P, 1992).

III-2-Quelques micro-organismes utiles vivants dans le sol

III-2-1-Actinomycètes : groupe de bactéries appartenant à la flore du sol, qui jouent un rôle important dans la décomposition des matières organiques.

III-2-2-Azotobacter : bactérie aérobie stricte et libre dans le sol qui fixe l'azote atmosphérique chez la plupart des végétaux et le transforme en ammonium (20 à 40 kilos par hectare).

III-2-3-Azospirillum : bactérie aérobie stricte et libre dans le sol qui fixe l'azote atmosphérique chez la plupart des végétaux et le transforme en ammonium (20 à 40 kilos par hectare).

III-2-4-Bacillus Radicola: bactérie aérobie stricte et libre dans le sol qui s'associe au *Rhizobium*. Cette bactérie est productrice de phytohormones ce qui permet de développer le système racinaire du végétal.

III-2-5-Mycorhizes (*glomus Intraradices* et *mosseae*) : la mycorhize est une association entre les racines des plantes et des champignons. Elle existe chez 95% de toutes les plantes à fleurs et à graines. Dans la nature, elle est essentielle à la survie des deux partenaires. Chez la plante, elle augmente sa capacité d'absorber les minéraux essentiels et sa résistance aux maladies des racines. Et elle permet au champignon de tirer les glucides directement de son partenaire, sans la compétition des autres micro-organismes.

III-2-6-Trichoderma (*hazarnium* et *atroviride*) : champignon filamenteux qui crée une barrière physique et stimule le développement racinaire par libération d'éléments nutritifs et minéraux. Elle détruit les champignons pathogènes par production d'enzymes cellulolytiques et grâce à la production de molécules à activité biocide.

III-3-Types de microorganismes trouve dans le sol

III-3-1-Bactéries : organismes unicellulaires, aérobies (besoin d'oxygène) ou anaérobies (oxygène facultatif ou prohibitif). Taille < 1 micromètre. Environ 100 000 000 bactéries par gramme de sol soit 1 500 kg/ha. Elles représentent 25% de la biomasse vivante (hors racines).

Elles sont réparties en 4 groupes fonctionnels principaux :

- **Les décomposeurs.**
- **Les mutualistes** (en relation étroite avec les plantes).
- **Les pathogènes.**
- **Les lithotrophes ou chimioautotrophes** (ne tirent pas leur énergie du carbone mais du fer, de l'azote, du soufre, de l'hydrogène).

Leur rôle :

- Décomposition de la matière organique et recyclage des éléments. Stabilisation des agrégats par la synthèse de polysaccharides.
- Formation des sols par hydrolyse acide des roches. Stimulation de la croissance des plantes et régulation des autres microorganismes (synthèse des facteurs de croissance et d'antibiotiques).
- Dégradation de certains pesticides et polluants. Source d'alimentation pour d'autres membres de la chaîne alimentaire.

III-3-2-Champignons : organismes pluricellulaires, parfois unicellulaires, aérobie, plus résistants que les bactéries aux conditions difficiles. Taille très variable (hyphes : 1µm). Environ 3 500 kg/ha. Elles représentent 50 à 60% de la biomasse vivante (hors racines).

Elles sont réparties en 4 groupes selon leur régime alimentaire :

- **Les décomposeurs** (matière organique fraîche).
- **Les prédateurs** (nématodes notamment).
- **Les pathogènes et parasites** (occasionnent des dégâts sur les cultures).
- **Les symbiotiques** (champignons trichoderma ou mycorhiziens).

Leur rôle :

- Décomposition de la matière organique et recyclage des éléments.
- Cohésion des particules minérales entre elles et stabilisation des agrégats.
- Amélioration de la nutrition des plantes par la solubilisation et le transport actif d'éléments minéraux (surtout phosphore et microéléments) et d'eau via les mycorhizes.
- Régulation des populations nuisibles pour les cultures (trichoderma). Dégradation des certains pesticides et polluants. Source d'alimentation pour d'autres membres de la chaîne alimentaire.

III-3-3-Biosphère : est l'ensemble que constitue l'atmosphère (air), l'hydrosphère (eau) et l'humusphère.

III-3-4-Edaphon : ensemble des organismes vivants dans le sol = environ 10 tonnes de biomasse vivante.

III-3-5-Enzyme : substance protéique qui accélère une réaction biologique. Nombre d'enzymes spécifiques jouent un rôle important dans les processus métaboliques..

III-3-6-Humusphère : définit la vision dynamique du sol avec son mélange de minéraux, d'eau, d'air, de matières organiques et d'organismes vivants.

Elle intègre des sous-ensembles comme la rhizosphère, périphérie des racines où la microflore est la plus concentrée, et la minéralosphère, microflore "silencieuse" qui vit sur les particules minérales du sol. Humusphère = 65% de substances organiques + 20% de petits organismes + 15% de minéraux (argile, sable).

III-3-7-Mucilage : substance contenant des polysaccharides sécrétée par les bactéries du sol permettant de coller les particules du sol entre elles (bio-film).

III-3-8-Phyllosphère : écosystème présent à la surface des feuilles. Elle se compose d'une grande variété d'organismes vivants. L'équilibre entre ces communautés conditionne le fonctionnement de la plante et sa capacité de résistance aux agressions extérieures.

III-3-9-Rhizosphère : région du sol directement formée et influencée par les racines et les micro-organismes associés. C'est un lieu d'intenses échanges entre le végétal et le substrat minéral.

III-4- L'activité microbienne

Une seule et même source organique ne peut permettre d'assurer l'ensemble des fonctions recherchées (physiques, chimiques et biologiques). De plus, un produit stable ne sera valorisé que s'il est utilisable par le sol. Cette utilisation est principalement dépendante des conditions de sol (aération, humidité, vie microbienne).

L'activation de la vie microbienne nécessite la présence de matière organique facilement dégradable qui lui servira de nourriture. Ce sont les interactions entre les différentes propriétés du sol qui lui donnent sa capacité de nourrir la plante sur le long terme. Le sol est une structure vivante et dynamique. Les apports organiques favorisent la vie microbienne.

En retour ceux-ci permettent la transformation, le stockage et la libération des éléments nécessaires à la plante (**liang.B et al, 2011**).

III-4-1-Conditions favorables à l'activité microbienne

III-4-1-1-Température

- Le froid et le sec limitent l'activité microbienne.
- Le vent modifie les vitesses de transfert humide/sec.

III-4-1-2-Air et sol

- Porosité du sol : les alternances des niveaux d'eau (ressuyage) fonctionnent comme une pompe à oxygène ; trop d'eau est plutôt négatif ; trop d'air est souvent limitant.
- L'équilibre est réglé par la structure du sol plus que par la texture.

III-4-1-3-Nourriture des microbes

Elle doit comprendre de l'énergie et de l'azote. L'énergie vient soit des racines (molécules rélargies), soit du sol (matières organiques). L'azote vient de la minéralisation des MO, de la fixation directe pour certaines espèces, plus rarement des échanges avec les plantes (acides aminés, peptides).

III-4-1-4-Bases alcalino-terreuses

Les organismes vivants construisent des acides et cela demande une neutralisation en flux discontinu. Les bases sont le calcium et le magnésium.

III-4-2-Optimiser l'activité microbienne

III-4-2-1- Miser sur les engrais verts pour optimiser l'activité microbienne

Les engrais verts contiennent du sucre, c'est-à-dire de l'énergie nécessaire aux microbes, et de l'azote. Ils prélèvent dans le sol les éléments dont ils ont besoin pour se développer, puis libèrent en se décomposant. Une crucifère, par exemple, est capable de mobiliser une quantité importante du phosphore du sol. Si l'activité biologique est suffisante, les éléments libérés ne vont pas se précipiter (**LOPEZ-BUCIO J et al, 2000**).

Afin de bénéficier des éléments prélevés par les engrais verts/cultures intermédiaires pour la culture suivante, il faut enfouir :

- lorsque l'activité biologique est présente, c'est-à-dire au début du printemps quand les micro-organismes reprennent leur activité, plutôt qu'en hiver car à ce moment 70 % des micro-organismes sont morts.
- à un jeune stade. Ils doivent être détruits avant la floraison, stade auquel ils contiennent du sucre et de l'hémicellulose. S'ils sont détruits trop tardivement, ils se lignifient. Ils vont alors donner en se dégradant des matières organiques stables.

Ils ne doivent pas être détruits avec un herbicide total type glyphosate. C'est en effet un produit systémique qui empêche la formation des agrégats lors de la dégradation de l'engrais vert. Les plantes détruites par le glyphosate sont très difficilement décomposables et de plus prennent de l'azote pour se dégrader.

III-4-2-2- Les engrais verts pour la stabilité structurale

Lorsqu'un débris végétal atteint le sol, c'est le cas lors de l'enfouissement d'un engrais vert, il est rapidement colonisé par des bactéries et champignons. Les bactéries sécrètent des exsudats, qui jouent un rôle de colle pour les particules du sol, notamment les argiles (bâtonnets noirs). Au cours de la dégradation de l'engrais vert, on a ainsi formation de micro-agrégats, qui vont donner une structure grumeleuse à la terre. Si aucun autre apport de matières organiques n'est effectué, petit à petit les populations bactériennes vont décliner et les micro-agrégats vont disparaître, faute de bactéries pour produire la colle nécessaire à leur maintien (Claire Chenu et al, 2003).

L'autoprotection des matières organiques
(Claire Chenu et Jérôme Balesdent)

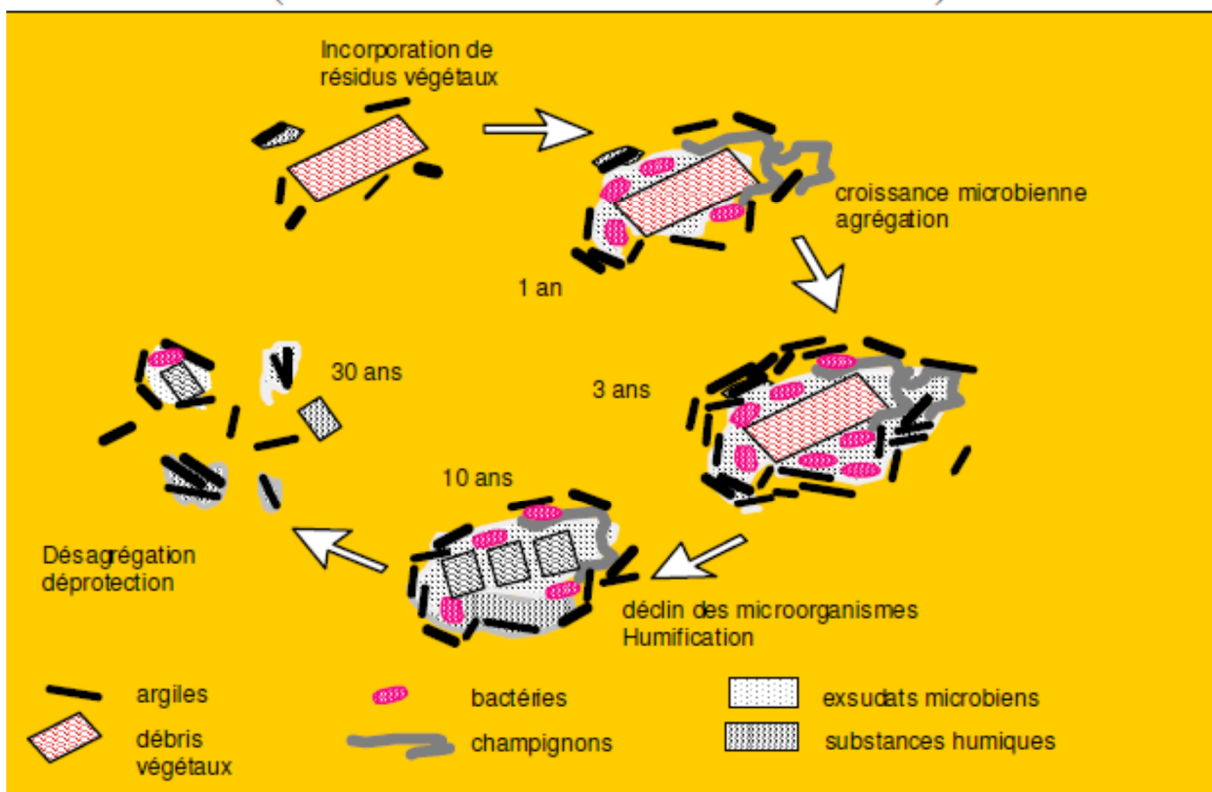


Figure 10 : L'autoprotection des matières organiques (Claire Chenu et al, 2003). es.

On assiste alors à une désagrégation, se traduisant à l'échelle du terrain par une baisse de stabilité structurale, une diminution de la porosité, un tassement du sol. L'effet des engrais verts est très intense sur l'agrégation, mais plus fugace (quelques semaines à quelques mois) que celui d'un fumier ou d'un compost, car les tissus végétaux de l'engrais vert sont rapidement dégradés. L'agrégation provoquée par un enfouissement d'engrais verts est donc forte mais de courte durée.

III-5- Les vers de terre

En fonction de leur mode de vie les vers de terre se répartissent en trois grandes catégories : Épigés, anéciques et endogés. Actuellement, la quantité de vers de terre s'élève à environ 100 kg par hectare alors qu'en conditions optimales il devrait y avoir plus de 2 tonnes (**Alain Dehaye et al, 1987**).

III-5-1- Les vers de terre épigés

Ils vivent à la surface du sol, au niveau de la litière et dans les matières organiques en décomposition. On les trouvera également dans les excréments des grands herbivores ou dans le bois humide en cours de décomposition. Peu protégés ils subissent une forte prédation qu'ils compensent par une fertilité élevée : 42 à 106 cocons par adulte et par an.

Les vers de terre épigés jouent un rôle important dans le recyclage de la matière organique. On les utilise parfois de façon industrielle pour produire du « lombricompost » et pour traiter les ordures ménagères.

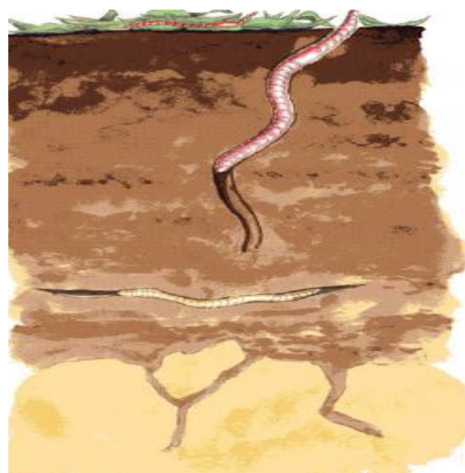


Figure 11 : Les vers de terre épigés (Alain Dehaye et al, 1987).

III-5-2- Les vers de terre endogés

Ils représentent 20 à 50 % de la biomasse des terres fertiles et vivent en permanence dans le sol où ils creusent des galeries horizontales. Ils ne sont pas pigmentés. Ils ont une fécondité moyenne 8 à 27 cocons par adulte et par an.

Certains sont filiformes et s'installent le long des racines, d'autres forment des pelotes dans les couches profondes du sol, à proximité des drains, et filtrent l'eau dont ils séparent les particules organiques. On en connaît aussi qui sont prédateurs d'autres vers de terre.



Figure 12 : Les vers de terre endogés(Alain Dehaye et al, 1987).

III-5-3- Les vers de terre anéciques

Ils vivent dans des galeries verticales et viennent « faire leurs provisions » à la surface du sol tout en restant prudemment accrochés par la queue à l'entrée de leur terrier. Les feuilles et les débris organiques qu'ils peuvent entraîner dans leurs galeries sont ingurgités avec de la terre.

Les excréments sont déposés à la surface du sol sous forme de tortillons appelés aussi turriculés. Des trois groupes ce sont eux qui ont la fécondité la plus réduite : 3 à 13 cocons par adulte et par an.

III-6-Les champignons

Les champignons ne sont pas les plus nombreux des micro-organismes du sol, mais leur poids est très important, du fait de leur grande taille, comparativement aux bactéries. Ainsi, on peut avoir de une à deux tonnes de champignons par hectare de sol agricole. Leurs rôles sont variés ; ils ont une action mécanique sur la structure du sol en enlaçant les particules du sol dans les mailles très fines du mycélium.

Ils assurent donc la stabilité structurale du sol. Mais leur rôle le plus déterminant vient du fait qu'ils sont les seuls organismes sur terre, hormis quelques rares bactéries, à être capable de décomposer la lignine des plantes. Or, la lignine est la principale source d'humus dans le sol. Il faut donc bien comprendre que sans les champignons, le cycle de l'humus ne peut se mettre en route (Ladd, J.N et al, 1996).

III-6-1-Les mycorhizes

95 % des plantes bénéficient d'une association avec des champignons du sol en formant des mycorhizes. Cette symbiose, qui concerne également les plantes cultivées, décuple leur volume d'exploration du sol et optimise l'absorption d'éléments nutritifs en route.

Lorsque les mycorhizes ont accès à des ressources limitées, comme l'eau, le phosphore ou les oligo-éléments, ils peuvent les faire passer aux plantes associées. Les mycorhizes peuvent accroître l'assimilation du phosphore et l'accès des plantes à d'autres nutriments comme l'ammonium, le potassium, le calcium, le fer, le cuivre, le manganèse, le zinc et le nickel.

La résistance à la sécheresse et la tolérance à la chaleur sont d'autres avantages attribués aux mycorhizes. . Ceux-ci permettent à la plante de conserver un meilleur équilibre de l'eau dans des conditions de sécheresse.

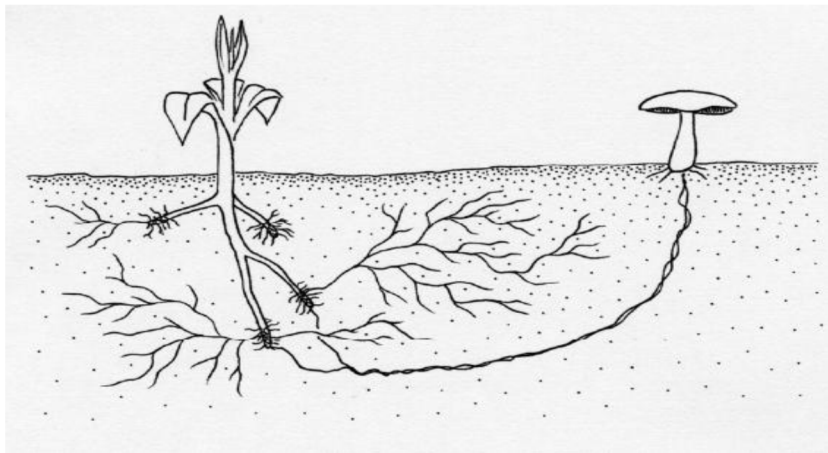


Figure 13 : Relation entre sol / plante et champignon (Ladd, J.N et al, 1996).

Beaucoup de pratiques agricoles courantes, comme le labour et l'utilisation d'engrais chimiques, peuvent sensiblement réduire le nombre et les types d'associations mycorhiziennes. Ces pratiques peuvent altérer les peuplements de champignons, réduisant encore plus les bénéfices des associations mycorhiziennes pour les plantes en cause. Par ailleurs, les molécules utilisées à l'encontre des agents pathogènes des cultures ont une action néfaste sur cette symbiose.

Il existe plusieurs types de mycorhizes en fonction du couple plante/champignon avec deux grandes catégories :

III-6-2- les endomycorhizes

où le champignon croît à l'intérieur des cellules de la plante et émet des hyphes à l'extérieur. De plus, il ne croît que dans le cortex primaire et l'épithélium des racines. Il n'envahit jamais les tissus vasculaires ou les autres parties de la plante.

Ce sont les mycorhizes présents sur les cultures annuelles.

III-6-3- les ectomycorhizes

où le champignon n'est jamais intracellulaire et reste à l'extérieur des cellules sous forme d'un réseau particulier (le réseau de Hartig). Il pénètre plus ou moins profondément la racine. Ce sont les mycorhizes présents sur les cultures pérennes.

III-7-La biologie du sol

La terre abrite la vie depuis 3 milliards d'années grâce au recyclage permanent des éléments atomiques qui constituent les êtres vivants. Sans les cycles, la terre aurait été rapidement épuisée. Or, les seuls organismes capables de récupérer les éléments de la litière organique ou de solubiliser les éléments des roches mères sont les micro-organismes du sol. Ils sont 1 milliard/g de sol et tous les autres organismes vivants dépendent de leur travail. Les plantes sont donc dépendantes des microbes pour leur besoin en nitrate qui est la seule forme assimilable par la plupart des végétaux (la forme ammoniacale de l'azote n'est utilisable qu'au stade jeune). Or, il en va de même pour l'ensemble des éléments du sol.

Le rôle des microbes est donc de transformer les éléments en formes assimilables par les Plantes (**Dr. Nelson, 1987**). Pour cela ; ils utilisent deux méthodes :

III-7-1- l'oxydation :

on connaît à l'heure actuelle, 6 éléments qui sont oxydés par les microbes : l'azote oxydé en nitrate, le phosphore en phosphate, le soufre en sulfate, le sélénium en sélérate et les deux cations doublement positifs que sont le calcium et le magnésium. Ces formes oxydées possèdent une ou plusieurs charges négatives. Elles ont de ce fait la particularité d'être solubles dans l'eau et d'être ensuite assimilables par les plantes.

III-7-2- la chélation :

La plupart des éléments, soit une vingtaine actuellement connus, sont insolubles à l'état d'oxyde et sont donc inassimilables par les plantes. Pour les rendre assimilables les microbes utilisent le processus de chélation qui consiste à attacher ces éléments sur des acides organiques qui sont solubles du fait de leur charge négative. Ces acides organiques servent alors de véhicule aux éléments vers la racine. Les plantes sont donc loin d'être des consommatrices exclusives de substances minérales comme le présente l'agronomie moderne, mais au contraire c'est sous forme organique qu'elles absorbent le plus grand nombre d'éléments. La relation sol-plante-microbe semble très complexe puisqu'il a été montré qu'une plante carencée en un élément, le manganèse par exemple, stimulait spécifiquement, à l'aide de ses exsudats racinaires, la microflore chélatante du manganèse.

Il y a donc un véritable dialogue plantes-microbes qui dépasse en complexité une simple absorption d'éléments minéraux. Cette approche biologique des sols nous permet de voir sous un angle nouveau l'alimentation des plantes.

Partie II

Etude expérimentale

Chapitre IV
Matériels et méthodes

IV-1-Impacts de la fertilisation sur le sol

Historiquement, certains engrais tels que les effluents d'élevage ont toujours été apportées au sol parce qu'elles permettaient une meilleure productivité des agro systèmes, à court ou long terme. Plus récemment, des fertilisants d'origines diverses (urbaines ou industrielles par exemple) sont proposées aux agriculteurs toujours avec un objectif similaire d'améliorer la fertilité des sols (**De Hann S.1981**).

Faisant suite au chapitre **II** et **III**, nous avons donc articulé le chapitre **IV** en sous-titres qui traitent des différents effets des fertilisants ; de ces effets à travers la bibliographie est liée au fait que les effets considérés ici sont de plus très dépendants des doses et des fréquences d'apport, on considère les pratiques relatives à l'épandage des fertilisants, qui sont par essence liées aux caractéristiques des fertilisants elles-mêmes : la dose ou la période d'apport par exemple seront dépendants du type de fertilisants apportée et de ses caractéristiques spécifiques.

IV-2-Valeur de la fertilisation azotée

Les fertilisants contiennent de l'azote, sous forme organique et/ou minéral, indispensable à la production végétale. La « valeur azotée » des fertilisants, capacité des fertilisants à contribuer à la nutrition azotée des cultures, est variable selon leur origine et d'autres facteurs qui vont la modifier. Cette valeur azotée est notamment diminuée par les pertes par volatilisation et par lixiviation, qui impactent l'économie de l'exploitation agricole et l'environnement.

La valeur azotée s'inscrit plus largement dans la valeur fertilisante des fertilisants, qui associent les autres macroéléments tels que le phosphore (P) et le potassium (K), également contenus dans les fertilisants. La minéralisation de l'azote organique, qui participe à la valeur azotée de la fertilisants, est intimement liée aux biotransformations du carbone lors de la décomposition de la matière organique dans le sol, on parle alors de couplage des cycles de C et N.

La valeur fertilisante azotée est le résultat de nombreux facteurs, aussi bien intrinsèques (liés aux fertilisants elles-mêmes) qu'extrinsèques (liés à leur modalité de gestion en agriculture ou au pédo-climat). L'analyse de ces différents facteurs doit permettre d'identifier les pistes permettant de choisir les fertilisants en fonction des effets attendus, et surtout de mieux gérer les fertilisants pour augmenter leur efficacité azotée, notamment en augmentant l'absorption par les cultures et en limitant les pertes vers l'environnement (**Beegle et al, 2008**).

IV-3-Définitions et description de processus du cycle biogéochimique de l'azote

IV-3-1-Définitions

On peut désigner comme valeur azotée ou valeur fertilisante azotée (N fertilising value) d'une fertilisant la contribution de l'azote qu'elle contient à la nutrition des cultures de la parcelle sur laquelle elle est apportée. A l'échelle parcellaire, l'efficacité de l'azote (N efficiency) est quant à elle la quantité d'azote valorisée par les cultures, rapportée à la quantité de N total apporté par la fertilisant. On parle également de l'azote disponible pour les cultures (plant available N, PAN) : c'est l'azote du sol à disposition pour la nutrition des cultures, donc sous forme minérale, à un moment donné ou sur une période donnée (qui peut provenir de l'apport de fertilisant).

Pour les fertilisants, ces 3 concepts sont liés avant tout à la quantité d'azote total contenu par les différents fertilisants, très variable d'un fertilisant à l'autre, ainsi qu'à la proportion de N sous forme minérale et sous forme organique. La fraction sous forme organique induit de plus une fourniture d'azote disponible variable en fonction du type de molécules azotées.

IV-3-2-Déterminants de la valeur azotée d'une fertilisant

La valeur azotée d'une fertilisant correspond à l'azote provenant de l'application de cette fertilisant qui va être disponible pour la nutrition des cultures sous forme d'N minéral (NO_3^- et NH_4^+). Lors d'un apport au sol de fertilisant l'azote minéral a deux origines (Figure 14) : soit il est contenu initialement dans la fertilisant (essentiellement sous forme NH_4^+ et plus rarement de NO_3^-), soit il provient du processus de minéralisation (et nitrification) de l'azote organique, dont le processus inverse est l'organisation (ou immobilisation, terme Anglo-saxon) de l'azote minéral. L'azote minéral disponible peut être absorbé par la culture, mais une partie peut aussi majoritairement être perdue vers l'environnement via deux processus :

la volatilisation de l'ammoniac (NH_4^+) et la lixiviation des nitrates (NO_3^-) ; ces deux processus contribuent ainsi à réduire la valeur azotée des fertilisants. L'émission de composés azotés gazeux tels que N_2O ou NO est traitée dans une autre section du rapport car elle n'affecte pas la valeur agronomique des fertilisants, les ordres de grandeurs étant très inférieurs à ceux des flux précédemment cités.

Impacts de la fertilisation sur le sol

A plus long terme (quelques années à quelques décennies), l'effet des fertilisants sur le cycle de l'azote est constitué de l'azote qui n'a pas été perdu (émissions vers l'environnement) ni exporté par les cultures et qui reste donc dans le sol. Une partie de l'azote organique restant dans le sol continue à se minéraliser les années suivant l'apport (appelé ici effet résiduel) et une autre partie est incorporée à la MO stable du sol, qui est elle-même minéralisée à faible vitesse. Les apports réguliers de fertilisant fournissent donc aussi aux cultures de l'azote sur le moyen et le long terme par la minéralisation progressive de l'azote incorporée dans la matière organique du sol.

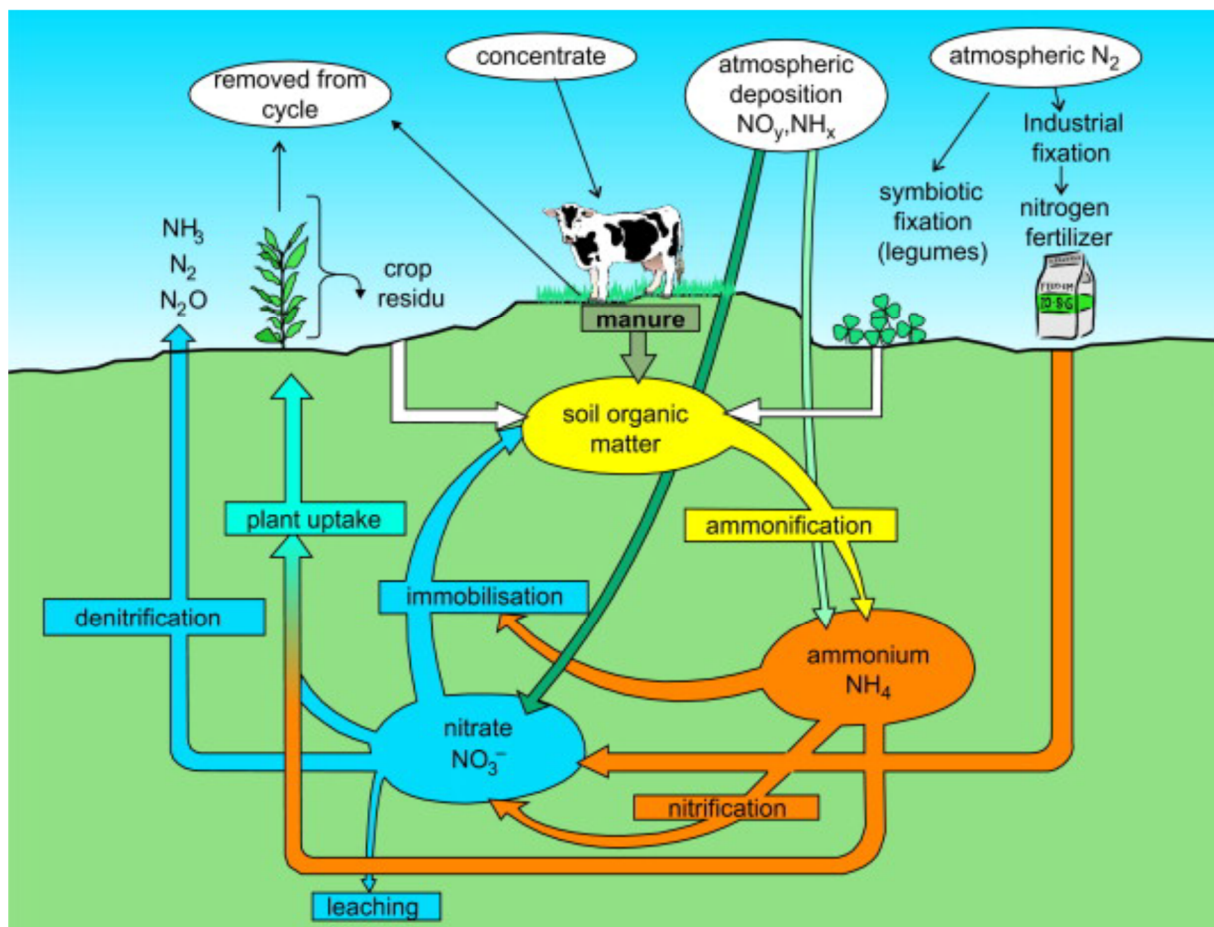


Figure 14 : Cycle de l'azote en milieu agricole (Erisman et al, 2007)

L'interaction entre les différents processus du cycle de l'azote implique que certaines pratiques agricoles peuvent limiter certains flux polluants mais avoir pour conséquence d'en aggraver d'autres, à différentes échelles ; c'est ce que l'on appelle les transferts de pollution.

A grande échelle, c'est le cas par exemple de l'interdiction des épandages d'automne en Europe qui a limité les pollutions de nitrate par lixiviation mais accentué la volatilisation au printemps car les effluents, en l'occurrence, ont dû être épandus à cette saison.

Les modèles de culture qui ont émergé dans les années 1980-1990, basés sur la modélisation des cycles de l'eau, du carbone et de l'azote dans le système sol-plante-atmosphère, ont permis de progresser dans l'estimation des flux d'azote consécutifs à l'apport de fertilisant sur les parcelles agricoles. En effet, ces modèles prennent en compte les interactions entre les différents flux : les plus mécanistes permettent de mieux comprendre les processus, comme par exemple Century (**Paustian et al 1992**), et les plus fonctionnels permettent d'estimer le flux et pertes vers l'environnement (et les transferts de pollution) dans des cas plus nombreux que l'expérimentation.

IV-4- Effet des apports de la fertilisation sur les teneurs en matière organique des sols

La plupart des fertilisants sont de nature organique. Leur apport est donc susceptible d'augmenter les teneurs en carbone (C) organique des sols. La valeur amendante des fertilisants est définie comme étant la capacité des fertilisants à augmenter la matière organique (MO) des sols.

La matière organique des sols est un déterminant majeur de la fertilité des sols, donc de la production végétale (**Loveland et Webb, 2003**). De nombreuses propriétés des sols qui conditionnent sa fertilité dépendent de la teneur en MO des sols.

Plus récemment, on considère que la gestion des stocks de MO dans les sols peut contribuer à l'atténuation du changement climatique.

IV-4-1- Méthodes et indicateurs pour évaluer la valeur amendant des fertilisants

IV-4-1-1- Essai au champ

IV-4-1-2- Les essais au champ de moyenne/longue durée

constituent des outils de choix pour évaluer les effets de pratiques culturales (Jenkinson, 1991 ; Janzen, 1995). Ils sont donc l'approche la plus adéquate pour évaluer la valeur amendant des fertilisants. Ces essais permettent de quantifier les effets d'apports réguliers d'un même type de fertilisant.

Une recherche bibliographique a été effectuée sur les essais au champ visant à évaluer les effets des apports de fertilisant sur la MO des sols. L'analyse des résultats fait l'objet du point suivant.

La plupart des essais recensés sont de moyenne durée (<30 ans) et montre des réponses quasiment linéaires des teneurs en C des sols au nombre d'apport (exemple du site Qualiagro dans la figure 15). Ces cinétiques « linéaires » seront utilisées pour calculer les efficacités des fertilisants à augmenter les stocks de C organique des sols au point suivant.

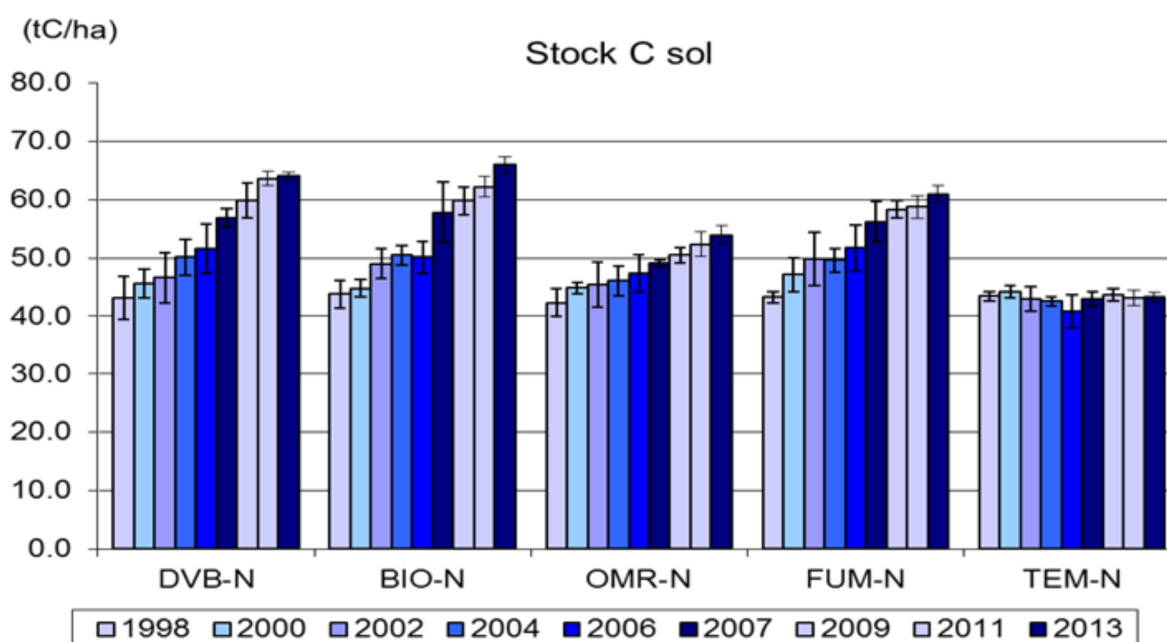


Figure 15 : Augmentation des stocks de C organique dans les différents traitements du site Qualiagro (Jenkinson, 1991 ; Janzen, 1995).

Différents types de fertilisant sont apportés tous les 2 ans à hauteur de 4tC /ha : compost de boue (DVB), compost de biodéchets (BIO), composts d'ordures ménagères résiduelles (OMR), fumier de bovins (FUM). Aucun apport organique n'est réalisé dans le traitement témoin (TEM).

Cependant l'augmentation des teneurs en C des sols n'est pas infinie. Après un certain temps, un équilibre est atteint représentatif des flux d'apport et de la dynamique des matières organiques dans des conditions pédoclimatiques données. Ces conditions d'équilibre ont permis de développer les modèles simulant la dynamique des MO dans les sols.

IV-4-2- Effet des apports de la fertilisation sur la qualité de la MO des sols

Les travaux sur la dynamique de la MO dans les sols s'accordent à dire aujourd'hui que la récalcitrance des fractions organiques n'explique pas leur stabilisation dans les sols. Elle résulte de différents processus de protection physique au sein des agrégats ou est liée aux interactions chimiques avec les surfaces des minéraux. Les fractions particulières de la MO sont en général jeunes et la dégradabilité de la MO dissoute est inversement corrélée à l'aromaticité des molécules en solution dans les horizons de surface (**Marschner et al. 2008**). L'accessibilité des MO serait plus importante que la récalcitrance dans la stabilisation des MO dans les sols (**Dungait et al. 2012**). La localisation des MO dans différentes tailles de particules ou agrégats est associée avec des dynamiques plus ou moins rapides. En général, les MO associées aux fractions grossières (MO particulaire) ou associées aux fractions limoneuses ont des âges plus récents que la MO associée aux fractions fines (<50 µm).

Il existe de nombreuses évidences que les apports de la fertilisation modifient les stocks de MO dans les sols mais également les caractéristiques des MO et leur distribution au sein des tailles d'agrégats, ceci ayant des conséquences sur la dynamique du C accumulé dans les sols.

De nombreux auteurs montrent que le C accumulé suite aux apports de la fertilisation se concentre préférentiellement dans les fractions particulières (**Sleutel et al. 2006**) limoneuses.

On peut observer un passage du C de la fraction <53µm vers les macro-agrégats en cas d'apport de fumier par rapport à un traitement sans apport organique (**Kong et al. 2005**).

Les apports de fumiers contribuent à l'accumulation de MO dans des macroagrégats (250-1000 μ m), ce qui n'est pas observé en cas d'apport d'engrais minéraux. Ces macroagrégats sont un moyen de protéger la MO labile dans les sols, ce que favorise les apports de fumier (Aoyama et al.1999a). La décomposition du fumier au sein des agrégats participe ensuite au développement d'interactions organo-minérales qui augmentent la protection des MO(Aoyama et al.1999b). Confirment cette augmentation du C dans les macroagrégats mais aussi dans les fractions fines en cas d'apport de fumier. Tous ces résultats tendraient à dire que la MO stockée après apport de la fertilisation aurait un temps moyen de résidence plus faible que la MO native du sol représentative de son mode d'occupation et des restitutions végétales qui y sont faites.

La saturation du sol en C est montrée dans plusieurs cas et se traduit par une accumulation du C dans les fractions particulières légères. Ceci est observé après apport de fumier par

(Heitkamp et al. 2011).

IV-5- Impacts sur l'abondance, la diversité et l'activité des organismes du sol

Le sol abrite une grande variété d'organismes tels que les animaux (faune), les végétaux (racines), les algues, les champignons, les protozoaires, les bactéries, les virus que l'on peut classer selon différents critères comme l'organisation cellulaire (eucaryotes vs procaryotes), la taille (macroorganismes vs microorganismes) (micrométrique à métrique pour certains vers de terre par exemple)...

Le nombre d'organismes diminue avec la profondeur sans que l'on puisse considérer que le sol soit stérile à partir d'une certaine profondeur. Leur distribution est essentiellement conditionnée par la distribution du C organique facilement assimilable, la plupart des consommateurs primaires étant hétérotrophes.

Bien qu'abondants, les organismes vivants ne représentent qu'une faible proportion de la matière organique du sol qui ne représente elle-même que quelques pourcents de la masse du sol. La matière organique d'un sol se subdivise en matière organique morte (~90 %) et vivante (~10 %).

Les sols sont également un réservoir de diversité qu'on a longtemps sous-estimé (**Torsvik et al., 1996**) et qui est aujourd'hui valorisé dans de nombreux procédés industriels. On estime par exemple que seulement 0,1 % à 10% des microorganismes sont cultivables.

Du fait de leurs activités très diverses, les organismes du sol sont impliqués dans de nombreux services écosystémiques et notamment la fertilité, la protection des cultures, la régulation du cycle de l'eau, la lutte contre érosion, la décontamination des sols et des eaux, ou encore la santé humaine.

IV-5-1- Abondance

De nombreux travaux se sont intéressés à l'impact des fertilisants sur les propriétés biologiques des sols en ciblant les microorganismes et/ou la faune, des organismes totaux ou des groupes plus spécifiques, dans des conditions très différentes : grande diversité des types de fertilisants étudiés, impact du traitement subi par les fertilisants avant apport au sol, apport unique et apports répétés, suivi terrain et incubations en conditions de laboratoire.

IV-5-1-1-Effets court terme - effets long terme

Les effets sur l'abondance microbienne après apport de fertilisant peuvent apparaître plus ou moins rapidement et persister plus ou moins longtemps, ce qui explique que les effets des fertilisants soient étudiés à différentes échelles de temps, de quelques jours à quelques dizaines d'années après apport.

Ces différences s'expliquent à la fois par des caractéristiques physico-chimiques différentes de la matière organique apportée en termes de quantités et de qualités, mais dépendent également des pratiques d'amendement mises en place avec des apports uniques ou répétés.

Au final, les travaux de la bibliographie présentent des effets à court terme après un seul apport et des effets à plus long terme à la suite d'un apport unique ou d'apports répétés.

IV-5-2- Diversité

La diversité des sols est à la base du fonctionnement des sols avec des organismes qualifiés "d'ingénieurs physiques tels que les vers de terre, les termites ou les fourmis qui renouvellent la structure du sol, créent des habitats pour les autres organismes du sol et régulent la distribution spatiale des ressources en matières organiques ainsi que le transfert de l'eau, des organismes régulateurs (nématodes, collemboles et acariens) qui contrôlent la dynamique des populations des microorganismes du sol et agissent sur leur activité et des organismes ingénieurs chimistes (principalement bactéries et champignons microscopiques) qui assurent la décomposition de la matière organique en éléments nutritifs facilement assimilables par les plantes ou qui dégradent les polluants" (**GESSOL, octobre 2010**). De manière générale, on peut considérer qu'une grande diversité confère aux sols des propriétés de résistance et de résilience à la suite de perturbations. La diversité des organismes du sol peut être abordée sous un angle structural (impact des fertilisants sur le nombre et le type d'espèces), métabolique (impact des fertilisants sur la capacité des microorganismes à utiliser certains substrats) ou fonctionnel (impact des fertilisants sur les populations impliquées dans une fonction donnée).

IV-5-3- Activités

Les activités des organismes du sol ciblées dans cette partie sont essentiellement la respiration du sol exprimée sous forme de minéralisation du carbone ou de respiration basale du sol (minéralisation du carbone / durée incubation) et les activités enzymatiques. Ces activités conduisent à la minéralisation de la matière organique du sol et à la libération d'éléments nutritifs (N, P, S...) disponibles pour les plantes.

IV-5-4- Indicateurs

Les paramètres décrits précédemment ont été pour certains identifiés comme étant des indicateurs biologiques pertinents pour évaluer la qualité d'un sol ou l'impact de différentes activités anthropiques sur la qualité d'un sol (pollution, apports organiques, travail-non travail du sol...) en complément des indicateurs physiques ou chimiques. En effet, les indicateurs biologiques sont sensibles (et peut être davantage que des indicateurs physiques ou chimiques) et permettent d'apprécier des changements de qualité des sols à court terme. Les plus utilisés ont été la respiration spécifique (minéralisation standardisée par rapport à la quantité de biomasse microbienne), la biomasse microbienne carbonée standardisée par rapport à la teneur en carbone et les activités enzymatiques (**Bastida et al. 2008**).

D'après les programmes "Bio-indicateurs" financés par l'Ademe (**Peres et al. 2004-2012**), les indicateurs les plus pertinents pour évaluer l'impact d'apports organiques sur la qualité des sols sont des indicateurs d'abondance, de diversité et d'activité et correspondent au niveau microbien, aux biomasses bactériennes et fongiques, à la diversité des communautés, aux activités laccases, β glucosidase et à la minéralisation du carbone et de l'azote. Pour la faune, les indicateurs retenus sont l'abondance des lombriciens et la diversité fonctionnelle des nématodes.

Toutefois ces indicateurs pris indépendamment les uns des autres, ne donnent des informations que partielles. C'est pourquoi il est important de considérer différents bioindicateurs. Dans certains cas, ces indicateurs ont été agrégés pour définir un index de qualité des sols, une des difficultés pouvant être la pondération des différentes composantes de l'index.

IV-6- Influence de l'épandage de la fertilisation sur la santé des plantes cultivées

L'épandage de la fertilisation peut, suivant la qualité de la fertilisant en question, représenter dans certains cas un risque pour la santé des cultures, mais dans d'autres cas protéger les plantes contre les maladies.

La qualité phytosanitaire des divers fertilisants (présence ou non d'agents phytopathogènes), on va mettre l'accent sur les potentiels suppressifs directs des divers fertilisants (action des microorganismes antagonistes des agents pathogènes apportés par le fertilisant). Outre les mécanismes impliqués dans ces aspects des fertilisants, l'influence des procédés de traitement de ces produits sur leurs effets sur la santé des plantes va être abordée.

IV-6-1- Protection des plantes contre les maladies par l'utilisation des fertilisants

Selon (**Bonanomi et al. 2007**), les composts sont les matières organiques les plus suppressives, avec plus de 50 % de cas montrant une protection effective des plantes. L'effet des résidus de culture ou de résidus organiques (fumiers, pulpe de papier, résidus d'olives) est plus variable, avec une réduction des symptômes dans 45 % des cas, mais une augmentation de la maladie dans 28 %.

La capacité des fertilisants à protéger les plantes dépend également de l'agent pathogène impliqué, certains comme *Verticillium*, *Thielaviopsis*, *Fusarium* ou *Phytophthora* étant contrôlé efficacement dans 50 % des cas, alors que l'incidence de *Rhizoctonia* n'est réduite que dans 26 % des essais (**Bonanomi et al. 2007**).

Les travaux sur l'emploi de divers composts pour protéger les plantes contre des agents pathogènes fongiques sont très nombreux, et l'effet de composts contre des champignons très variés, comme contre *Pythium ultimum* (**Alfano et al. 2011**), *Pythium aphanidermatum* (**Zmora-Nahum et al., 2008**), *Verticillium dahliae* (**Malandraki et al. 2008**).

L'effet bénéfique des composts pour la santé des plantes n'est pas seulement actif envers des agents pathogènes fongiques. Divers auteurs ont également démontré l'effet contre des nématodes phytopathogènes (**Lozano et al. 2009**) ou des bactéries.

L'effet suppressif des composts se retrouve avec divers types de composts, qu'ils soient produits à partir de boues d'épuration (**Zmora-Nahum et al. 2008**), de fumier, de marc de raisin, de déchets solides urbains, de déchets verts, d'écorce, de résidus de crabes, de déchets de moulins d'huile d'olive, déchets d'égrenage du coton, fumier de champignonnière ou déchets provenant de la transformation d'animaux marins (**Niisawa et al. 2008**).

Quand on enrichit les composts avec des antagonistes choisis, comme *Verticillium biguttatum* ou une souche non pathogène de *Fusarium oxysporum*, l'effet protecteur du compost peut être soit inchangé, soit augmenté (**Postma et al. 2003**) ; l'effet positif d'apports d'antagonistes est particulièrement évident dans les substrats très conductifs, (dans lesquels les agents pathogènes peuvent facilement se développer). L'amélioration de l'effet suppressif de composts avec un apport de souches de *Trichoderma harzianum* ou de *T. Vride* a également été observée par ; cet effet était plus important avec un compost moins suppressif, l'antagoniste pouvant probablement mieux s'installer dans ce substrat moins actif.

Fertilisant	Plante /Agent pathogène	Effets
Cendres.	Tomates /Meloidogyne incognito.	Diminue la production de galle et d'œufs sur les racines de tomates.
Boues de sucrerie de canne à sucre.	Bananes/Divers nématodes.	Réduction des nématodes phyto-pathogènes. Augmentation de la croissance des plantes.
Eaux usées de pressoir d'olives.	Amandes amères / Agrobacterium tumefaciens.	En pats, l'utilisation de 1% de ces eaux a significativement réduit l'incidence de la maladie.
Résidus de papeterie.	Haricot /Rhizoctonia solani.	Réduction des symptômes de maladie sur l'hypocotyle des plantes. Croissance réduit des plantes (blocage d'azote).
Résidus d'olives.	Verticilium dahliae.	Réduction invitro de la croissance du pathogène.
Substrat de champignonnière.	Concombre /Podosphaera xanthii, cladosporium aucumerinum.	Diminution des maladies foliaires (effet systémique).

Tableau 02 : Effets de divers fertilisants sur la santé des plantes.

Divers paramètres peuvent influencer l'effet suppressif des composts, la composition de départ utilisée lors de la production des composts joue certainement un rôle, mais probablement que secondaire. Par contre, la gestion du processus de compostage joue un rôle primordial sur sa capacité à protéger les plantes contre les maladies (**Boulter et al. 2000**).

D'autre part, le degré de maturité du produit influence également son potentiel à protéger les plantes.

La qualité du stockage des composts peut également influencer sa capacité à protéger les plantes contre les maladies.

Enfin, les conditions d'utilisation des fertilisants peut également conditionner l'effet de la fertilisation sur la santé des plante : le type de sol, l'agent phytopathogène incriminé et les plantes cultivées (**Larkin et al, 2008**).

Partie II

Etude expérimentale

Chapitre IV
Matériels et méthodes

Chapitre I: Matériel et méthodes

I.1. Objectif du travail:

L'objectif de ce travail consiste à juger dans des Conditions climatiques de la région de Tiaret (cas de Rechaiga) l'influence de la fertilisation azotée sur le comportement, la productivité et l'alimentation minérale de sol cultivée dans cette région. Parallèlement, en conditions semi contrôlées, il sera procédé à une analyse cinétique de sol fertile avec des engrais azotés et leurs influences sur l'évolution de quelques paramètres microbiologique du sol.

Ces différents précédents culturaux sont:

- Sol de fourrage Vesce-Avoine.
- Une céréale (blé tendre).

I.2. La région de prélèvement

I.2.1.Situation géographique

Située à 340 km de la capitale Alger au nord-ouest du pays, la wilaya de Tiaret se présente comme une zone de contact entre le Nord et le Sud. Le territoire de la wilaya est constitué de zones montagneuses au Nord, de hautes plaines au centre et des espaces semi-arides au Sud. Elle s'étend sur un espace délimité entre 1°à18.24° de longitude Est et 35°à24.29° de latitude Nord. Tiaret occupe une superficie de 20.673km², elle couvre une partie de l'Atlas tellien au Nord et les hauts plateaux au centre et au Sud (**NOUAR ,2015**).

L'échantillonnage a été fait à la région de Rechaiga de la commune de Hammadia wilaya de Tiaret.

Les coordonnées sont:

- x=1°36 "27',
- y=35°27"32.4'
- z=960m.

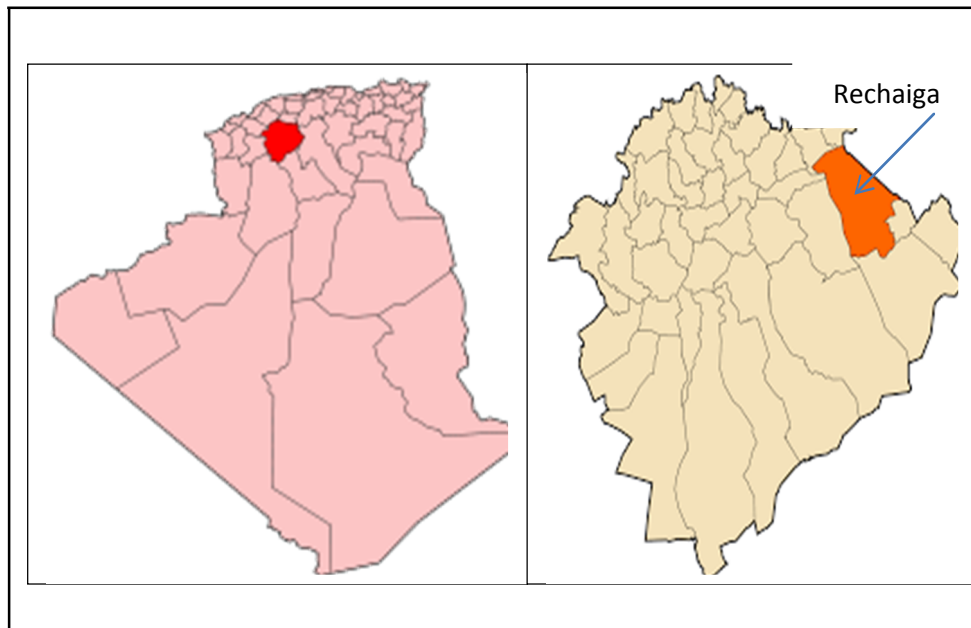


Figure N°16: Situation géographique de la zone d'étude (TAHANI, 2009).

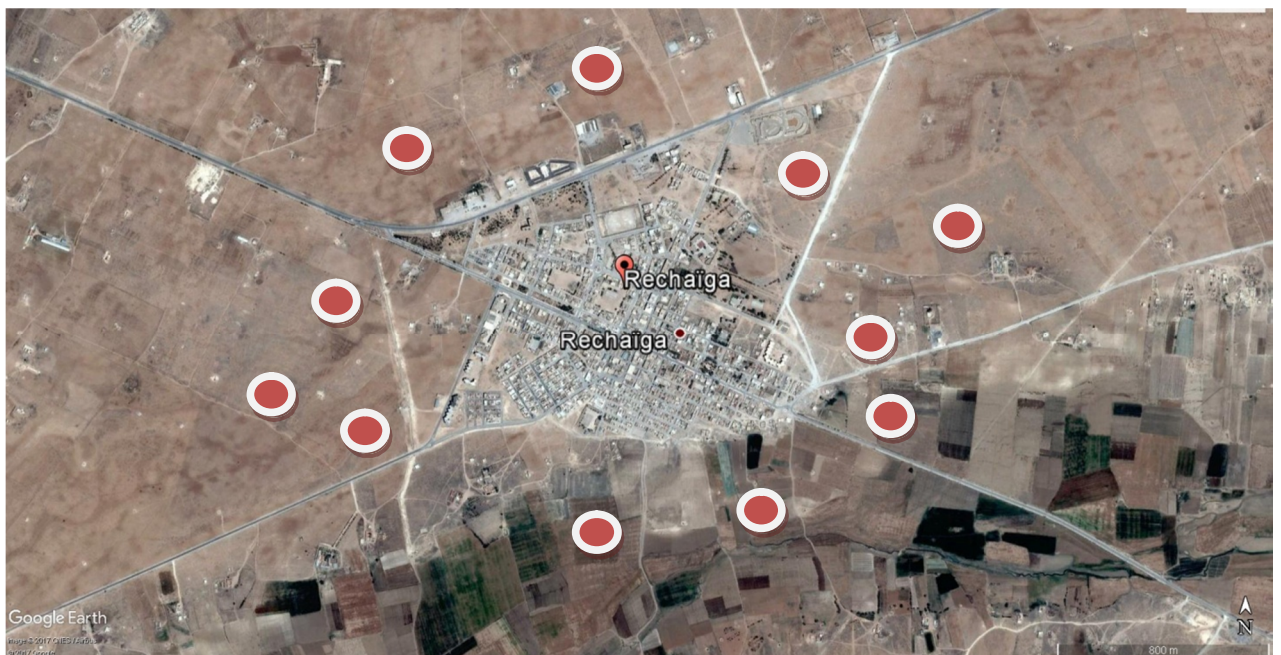


Figure N°17: Les zones de prélèvements (Google earth).

I.2.2. Le climat

Les données climatiques de la zone de Rechaiga sont données dans le tableau 03.

Tableau N°03:Données climatiques de la zone de Rechaiga campagne 2017/2018.

Mois	Pluviométrie mm		Températures°C			Phénomènes accidentels				
	cumul	Nbr jrs	Tmin	T max	T moy	Gelée	Neige	Grêle	Brd	Sirocco
Janv	39,60	7	2,18	14,88	8,53	8	0	0	0	0
Fev	62,70	8	3,41	13,87	6,54	6	0	0	0	0
Mars	38,30	10	2,32	13,68	8,00	1	0	0	0	0
Avril	0	0	4,12	20,55	13,34	0	0	0	0	0
Total	140.6	25	3.00	18,21	11,22	15	0	0	0	0

I.3. Lieu du travail

L'expérimentation a été effectuée au sein des laboratoires de microbiologie, de au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie, université Ibn Khaldoun de Tiaret.

Une partie a été réalisée au laboratoire de la station de l'institut national du sol et de drainage (INSID) de Ksar Chellala (Wilaya de Tiaret).

I.4. Matériel et méthodes

I.4.1. Matériel

I.4.1.1. Verreries, appareils et produits utilisés

Tout le matériel utilisé est réuni dans le tableau.04.

Tableau N°04 : Matériel et produits.

Matériel et produits	
Appareillage	Agitateur magnétique- Bec bunsen Etuves (180°C–28°C) -Balance de précision-Pipette de Robinson-Autoclave-Plaque chauffante-pH mètre - Conductimètre – Calcimètre de Bernard-Réfrigérant – Appareil Kjeldah l.
Verrerie	Tubes à essai -Béchers -Entonnoirs -Eprouvettes graduées -Erlenmeyer- Pipettes graduées -Verres à mesure -Seringue en verre -creusets-Pipettes pasteur - Flacons -Fiole jaugée - Burette graduée.
Produits	Milieu de culture OGA -Eau distillée -Glucose - Saccharose- Agar-agar -Asparagine -Fe ₂ (SO ₄) -CaCO ₃ -NaNO ₃ -MgSO ₄ .K ₂ HPO ₄ - Glutamate de sodium -Na ₂ HPO ₄ -NaCl -MnSO ₄ -NH ₄ (SO) ₄ -K ₂ SO ₄ -Zinc en poudre -Réactif de Nesle –Sélénium –Acide Borique -Acide sulfurique - Acide phosphorique -Bichromate de Potassium -Sel de Mohr -NaOH - Na ₂ CO ₃ -Thiosulfate de Sodium –KCl –Eau oxygénée -Oxalate d’ammonium -Hcl -Diphényle amine baryum sulfonâtes -Pyrophosphate de sodium- Méthaphosphate de sodium -permanganate de potassium -CuSO ₄ -K ₂ SO ₄ - Urée.
Autre matériel	Tarière -Sachets -Etiquetage -Pilon et mortier-Tamis (2mm, 0.2mm, 0.05mm) -Boites de pétri -Spatules -poire d’aspiration -Portoirs –Papier tourne sol –papier filtre -Papier joseph -Picette -Cylindres -Pinces en bois - Pinces en métal.

I.4.2. Méthodes

Le protocole expérimental est représenté dans la figure N°13 comme suite:

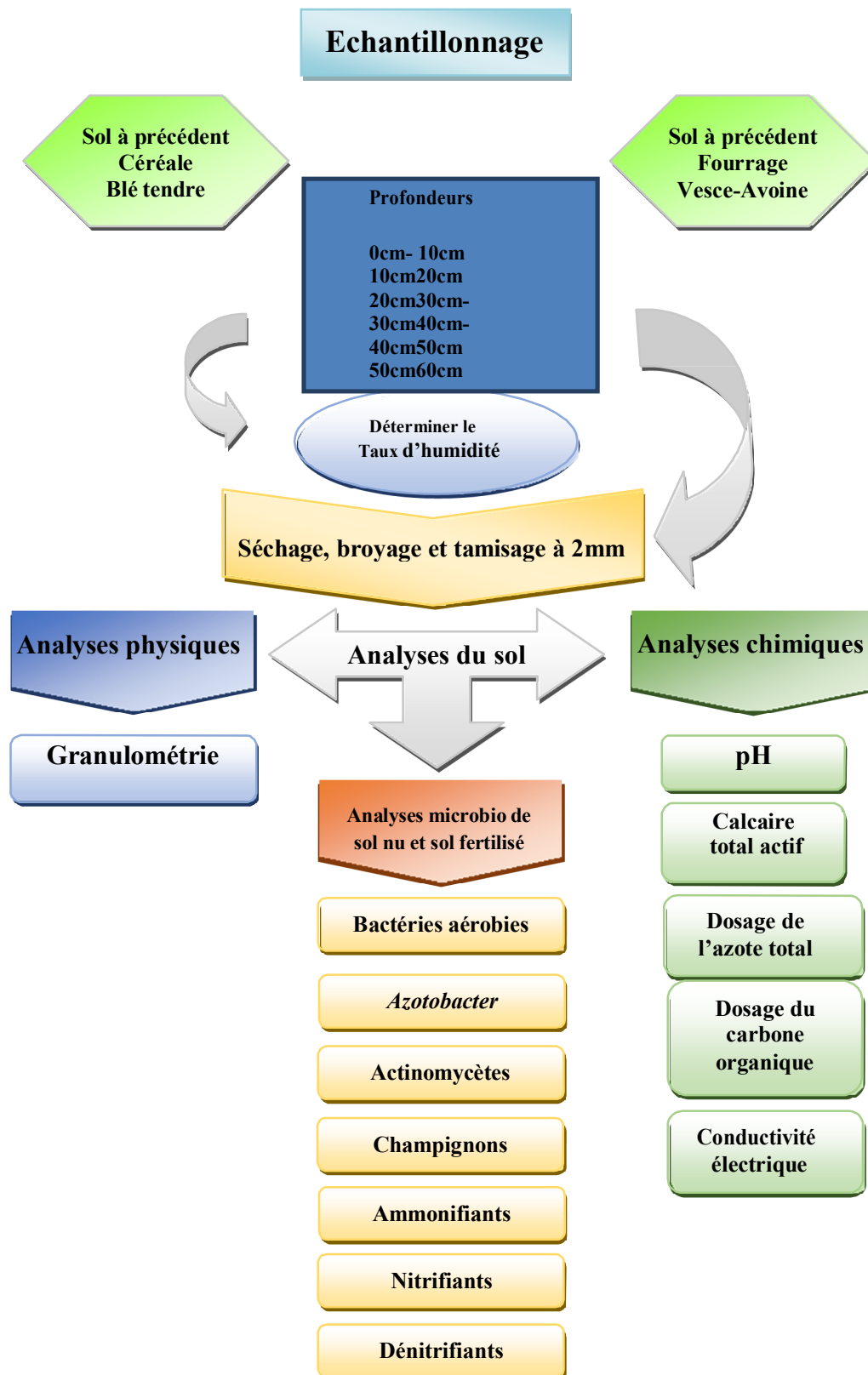


Figure N°18: protocole expérimental

I.4.2.1. Echantillonnage

Avant de commencer l'échantillonnage, nous devons examiner le terrain du point de vue de son uniformité (ex. l'uniformité de son niveau, de végétation, amendements appliqués, etc.). Il faut les prélever dans les mêmes conditions physiques (t°, humidité) et toujours le même jour (**DARI, 2013**). L'échantillon doit représenter le mieux possible le sol de la parcelle. Cela n'est pas facile mais nécessaire pour que les résultats soient corrects. Il faut déterminer les endroits d'échantillonnage de la manière la plus aléatoire possible, en se déplaçant dans l'entièreté de la parcelle et qui peut être arpentée en "W" successifs, en serpentant ou en diagonale ou en zigzag (**ES- SKALLI, 2015**). On a réalisé le prélèvement grâce à une tarière sur quatre points de la parcelle en forme de diagonale, ces échantillons ont été mélangés par la suite dans un même sac. Pour chaque type de parcelle le prélèvement a été effectué à trois niveaux de profondeurs successives (0cm-10cm), (10cm-20cm) et (20cm- 30cm). Chaque échantillon a été clairement identifié par une référence inscrites une étiquette accrochée sur le sac lui-même.



Photo N°01:prélèvement des échantillons de sol.

I.4.2.2. Détermination du taux d'humidité

L'humidité du sol est le facteur prioritaire du rendement. La première amélioration à apporter est donc l'irrigation ou le drainage, ou quelque fois les deux (**GUET, 2003**). L'humidité du sol est un facteur essentiel du régime d'infiltration, car les forces de succion sont aussi fonction du taux d'humidité du sol (**MUSY et HIGY, 2004**).

- **Principe**

C'est la perte de poids après séchage à 105°C exprimée en pourcentage (ou mille) par rapport à la terre séchée à l'air% (DARI, 2013).



Photo N°02: Echantillons de sol pesés et séchés à l'étuve.

I.4.2.3. Préparation des échantillons

I.4.2.3.1. Séchage

On met l'échantillon de terre dans un bac et on le laisse sécher à la température ambiante de la salle pendant une nuit.

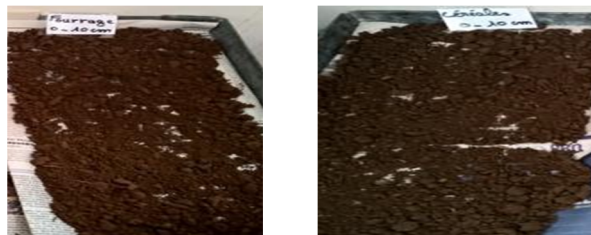


Photo N°03: Séchage des échantillons de sol.

I.4.2.3.2. Broyage et tamisage

Les échantillons ont été broyés à l'aide d'un pilon et un mortier, ils ont ensuite été passés dans un tamis de 2mm de diamètre. On a conservé les échantillons de terre fine dans des sachets pour pouvoir servir aux différentes analyses du sol.



Photo N°04: broyage et tamisage des échantillons.

I.4.2.4. Les analyses physiques

I.4.2.4.1. Analyse granulométrique

- **Principe**

La texture d'un sol est révélée par son analyse granulométrique dont le principe est basé sur la vitesse de sédimentation des particules séparées et dispersées par destruction de la matière organique par une attaque à l'eau oxygénée. Le fractionnement de ces particules se fait par l'intermédiaire de la pipette de Robinson qui permet la détermination des fractions argileuses et limoneuses fines. En suite, les sables fins et grossiers sont mesurés par tamisage (BENFARDIA et CHENINE, 2014). (Voir le protocole dans l'annexe).



Photo N°05: Analyse granulométrique par la méthode de la pipette de Robinson.

I.4.2.5. Les analyses chimiques

I.4.2.5.1. Mesure du pH

Généralement, pour mesurer le pH, on ajoute de l'eau au substrat dans un rapport volumique donné ; on définit ainsi le pH (H₂O). Dans la pratique des solutions de KCl ou de CaCl₂ peuvent aussi être utilisées pour l'extraction et la mesure de pH (KCl) ou pH (CaCl₂). Comme des réactions d'échange ont lieu entre les cations K⁺ ou Ca⁺ apportés et les ions H⁺ présents sur la capacité d'échange du substrat, il y'aura une quantité d'ions H⁺ plus grande dans la solution à l'équilibre et ainsi le pH sera plus faible. La différence entre les valeurs de pH (H₂O) et pH (KCl) est de l'ordre de 0,5 à 1 unité pH. Il est donc nécessaire de faire suivre l'indication pH par H₂O ou KCl. La connaissance du pH est intéressante pour la conduite de la fertilisation et la satisfaction des exigences des plantes (LEMAIRE et al, 2003).

- **Principe**

Le pH du sol est mesuré dans un rapport sol/solution=1/2.5. Une première mesure est faite avec de l'eau déminéralisée. La seconde est effectuée avec une solution molaire de chlorure de potassium (**PETARD, 1993**). (Voir le protocole dans l'annexe).



Photo N°06: mesure du pH d'un échantillon de sol à l'aide d'un pH mètre.

I.4.2.5.2. Mesure de la conductivité électrique

La phase liquide du sol est une solution contenant diversions qui confèrent au sol une certaine conductivité électrique. Elle dépend également des minéraux et des constituants organiques qui ont plutôt des propriétés isolantes. D'une façon générale, la conductivité électrique d'un matériau terreux dépend de sa composition, de sa structure, et de sa teneur en eau (**CALVET, 2003**).

- **Principe**

La détermination de la salinité d'un sol est fondée sur le principe de l'extraction d'un électrolyte dont on mesure la concentration en éléments dissous. Au laboratoire, l'électrolyte est extrait sous vide à partir d'un échantillon de sol préalablement séché à l'air, tamisé à 2mm et porté à une teneur en eau donnée, celle-ci variant selon le mode de préparation de l'extrait. Une des techniques d'extraction couramment utilisée est l'extrait dilué : le rapport entre la quantité de sol et la quantité d'eau peut varier selon les laboratoires, mais il est en général de 1/5: la masse d'eau ajoutée est égale à 5 fois la masse de sol (10g), soit un volume d'eau d'environ 50 ml (**MONTOROI, 1997**). (Voir le protocole dans l'annexe).



Photo N°07: mesure de la conductivité électrique du sol par le conductivimètre.

I.4.2.5.3. Détermination du calcaire total

Le calcaire est du carbonate de calcium; il se présente sous la forme de particules plus ou moins grosses ; du point de vue purement granulométrique ces particules sont Analogues aux autres grains de sable mais du point de vue chimique elles sont différentes. En effet, les plus fines et les plus poreuses d'entre elles peuvent libérer du calcium qui tend à neutraliser les acides et donc à rendre les terres plus basiques (POUSSET, 2002).

- **Principe**

Le calcaire total a été déterminé par la méthode volumétrique à l'aide du Calcimètre de Bernard. L'échantillon est attaqué à l'HCl 37%, on mesure le volume de CO₂ dégagé; un mol de CO₂ correspondant à un mol de CaCO₃. Le CO₂ dégagé est comparé à celui obtenu par le poids connu de carbonate de calcium pur (BEDJADJ, 2011). (Voir le protocole dans l'annexe).

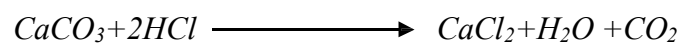


Photo N°08: mesure du calcaire total par le calcimètre de Bernard.

I.4.2.5.4. Dosage du calcaire actif

La fraction de calcaire d'un sol capable de libérer assez facilement du calcium est appelée calcaire actif. Notez bien que le lien entre calcaire total et calcaire actif n'est pas automatique : une terre peut être riche en calcaire total et relativement pauvre en calcaire actif. L'excès de calcaire actif nuit à certaines plantes (par exemple aux arbres fruitiers), mais une présence modérée de calcaire actif améliore la solidité du complexe argilo-humique et donc la stabilité de la structure (POUSSET, 2002).

- **Principe**

Le CaCO_3 actif (%) est déterminé par la méthode DROUINEAU-GALLET en utilisant l'oxalate d'ammonium qui se combine au calcium du calcaire facile à dissoudre (calcaire actif) pour former des oxalates de calcium insolubles. L'excès d'oxalate d'ammonium est en suite dosé par une solution de permanganate de potassium en milieu sulfurique (**BENSEGHIR, 2006**). (Voir le protocole dans l'annexe).

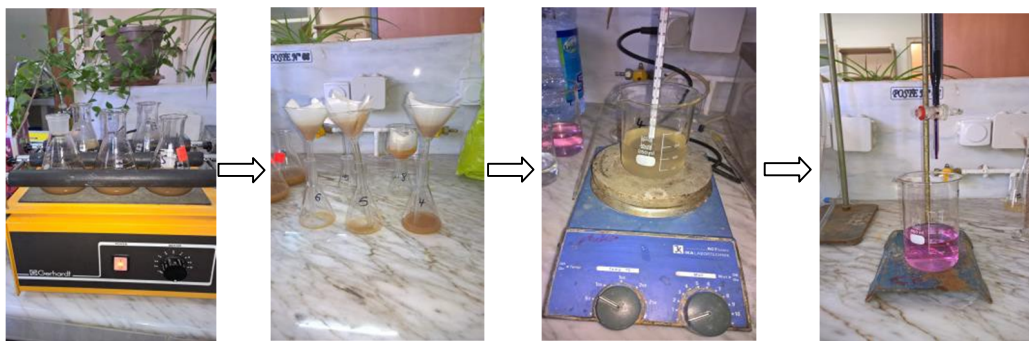


Photo N°09: Dosage du calcaire actif.

I.4.2.5.5. Dosage du carbone organique

- **Principe**

Le carbone organique est dosé par la méthode ANNE. Le carbone organique d'une prise d'essai est oxydé par du bichromate de potassium en excès, en milieu sulfurique, l'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par une solution de sel de Mohr qui réduit le bichromate en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert. (**DARI, 2013**). (Voir le protocole dans l'annexe).

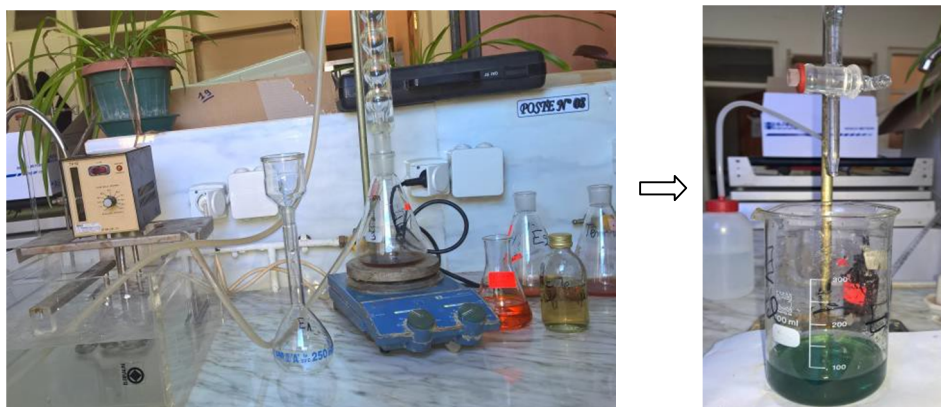


Photo N°10: Dosage du carbone organique.

I.4.2.5.6. Dosage de l'azote total

- **Principe**

La concentration d'azote total est déterminée par la méthode de Kjeldahl (**GOUIND, 1974**). Le sol finement broyé est chauffé avec de l'acide sulfurique concentré, qui à l'ébullition détruit par son action oxydante les matières organiques azotées. Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de CO_2 et H_2O , et l'azote transformé en ammoniac est fixé par l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammoniac $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$. Cette transformation nécessite l'emploi de catalyseurs, les plus employés actuellement sont le sulfate de cuivre et le sélénium en poudre. Il est nécessaire également d'élever la température d'ébullition de l'acide sulfurique en ajoutant du sulfate de potassium. En fin, l'ammoniac formé est déplacé de ses combinaisons par la soude concentrée, distillé par entraînement de vapeur, recueilli dans une solution d'acide borique, et dosé par l'acide sulfurique titré (**DABIN, 1972**). (Voir le protocole dans l'annexe).



Photo N°11:Appareil Kjeldahl.

I.4.2.6. Les analyses microbiologiques d'un sol non fertilisé

- **Principe**

L'estimation de la masse microbienne est indispensable pour étudier les flux dans le sol de certains éléments tels que le carbone et l'azote (**DARI, 2013**). Plusieurs méthodes sont disponibles pour le dénombrement des bactéries présentes dans le sol. Nous avons choisi la méthode des suspensions dilutions. L'échantillon de sol est d'abord broyé au mortier puis est mis en suspension dans de l'eau stérile. C'est à partir de cette suspension que sont préparées des dilutions qui serviront à l'ensemencement des milieux

de culture (**GOUIN, 1974**). (Voir le protocole dans l'annexe).

I.4.2.7. Les analyses microbiologie d'un sol fertilisé

- **Principe**

Le même principe que les analyses microbiologiques précédentes le seul différence c'est l'ajout de l'engrais azoté. On mélange une quantité de notre échantillon de sol avec une quantité de l'engrais azoté puis mis en suspension. C'est à partir de cette dernière que sont préparés des dilutions qui serviront à l'ensemencement des milieux de culture. Le contrôle du nombre plus ou moins des colonies bactériennes se fait au niveau de la couche racinaire c'est-à-dire à l'horizon de (10cm à 20cm). (Voir le même protocole dans l'annexe).

Chapitre II: Résultats et discussion

II.1. Résultats des analyses physico-chimiques

Tableau n° 05 : résultats d'analyses physiques de sol.

Echantillon	Granulométrie				
	Argile %	Limon Fin%	Limon grossier %	Sable fin%	Sable grossier %
JP1S	16,87	13,20	18,20	35,10	16,52
JP2S	15,88	10,80	21,72	40,11	11,66
JP4S	00,53	08,18	03,90	45,56	42,00
JP5S	32,47	25,00	16,19	19,01	07,81
JP6S	21,74	28,67	20,02	24,92	05,09
JP1R	13,92	09,20	17,76	32,47	26,89
JP2R	19,90	19,40	17,67	36,20	06,81
JP3R	16,34	16,01	16,17	40,47	11,20
JP4R	06,10	06,65	01,25	44,33	41,75
JP5R	34,19	31,12	10,04	16,92	07,83
JP6R	21,01	24,05	37,02	13,04	05,10

Tableau n° 06 : résultats d'analyses chimiques de sol.

Echantillon	pH	Conductivité électrique $\mu\text{s}/\text{cm}$ 1/5	Phosphore assimilable ppm	Matière organique %	Calcaire %		CEC Meq/100 g de sol
					total	Actif	
JP1S	08,53	600	240,42	0,47	12,38	08,54	17,25
JP2S	08,69	541	71,13	0,63	08,48	07,63	16,75
JP4S	08,62	544	181,41	0,58	07,49	06,76	07,55
JP5S	08,91	530	49,51	0,82	09,92	07,67	23,33
JP6S	09,40	550	119,57	0,85	15,74	10,34	20,25
JP1R	09,45	552	216,24	0,53	14,33	11,33	14,00
JP2R	08,83	604	264,68	0,64	30,05	23,81	19,75
JP3R	08,76	542	149,19	0,56	10,97	08,09	17,55
JP4R	08,65	536	475,04	0,51	13,98	10,51	09,75
JP5R	09,51	592	138,18	0,56	18,44	14,72	23,50
JP6R	09,53	559	219,64	0,50	17,77	12,80	20,25

II.1.1. Discussion des résultats de l'humidité

Tableau N°07: Résultats de l'analyse du taux d'humidité des sols étudiés.

Sol	Céréales					Fourrage					
	0cm - 10cm	10cm - 20cm	20cm - 30cm	30cm- 40cm	40cm- 50cm	0cm - 10cm	10cm - 20cm	20cm - 30cm	30cm- 40cm	40cm- 50cm	50cm- 60cm
Humidité%	17.75	18.00	19.52	19.40	19.05	17.20	17.90	18.46	18.00	17.75	17.10

D'après les résultats obtenus dans le tableau.05, on remarque que le sol à précédent culture céréale a dans sa globalité un taux d'humidité nettement supérieur à l'autre sol (précédent culture fourrage), D'après BRABANT, en général, la capacité de rétention d'eau d'un volume de sol augmente avec la quantité d'argile et de limon qu'il contient (BRABANT, 1991).

II.1.2. Discussion des résultats du calcaire total

D'après le tableau on remarque que le sol précédent culture céréale à un taux CaCO₃ plus élevée dans la couche (0cm-10cm) est de 12.38% et les autres couches de (10cm à 40cm)a un taux faible , puis on observe d'une augmentation de la couche de (40cm à 50cm) mais dans le deuxième sol précédent culture fourrage on remarque que CaCO₃ dans la couche (0cm à10cm) à un moyen de 14.33% par rapport à l'autre couche de (10cm à 20cm) à un taux maximal de 30.05%. Puis on a une diminution jusqu'à 10.97% dans la couche de (20cm à 30cm), on suite on a une augmentation dans les autres couches.

Le fait d'avoir trouvé du calcaire dans nos sols est probablement dû à la présence d'une dalle calcaire en profondeur, car selon SCHVARTZ et al. Les sols formés sur des roches calcaires sont riches, voire très riches en calcium (SCHVARTZ et al. 2005).

II.1.3. Discussion des résultats du calcaire actif

Les résultats des analyses du calcaire actif sont donnés dans le tableau.

Pour le sol à précédent culture céréale, la couche de (0cm à-10cm) contient 8.04% puis dans les autre couches de (10cm -50cm) a été diminuer en suite on observe une augmentation dans la dernière couche de (50cm-60cm) de 10.34%.dans le deuxième sol précédent culture fourrage on a une augmentation maximal de 23.81% dans la couche de (10cm-20cm) par rapport aux autres couches.

On considère généralement que des problèmes sérieux peuvent commencer à apparaître à partir de teneurs en calcaire actif voisines de 50% (POUSSET,2002) , donc, on peut déduire que nos sols sont dans la norme, et il ne risque pas d'avoir de problèmes liés au calcaire actif.

II.1.4. Discussion des résultats de la conductivité électrique

D'après le tableau, on remarque que la conductivité électrique des deux sols est comprise entre 530 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et 604 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

La concentration saline de la solution nutritive joue un rôle prépondérant dans l'alimentation hydrique de la plante. Elle détermine la pression osmotique de la solution. Celle-ci doit être inférieure à la pression osmotique du suc cellulaire, pour que l'eau puisse diffuser de la solution vers la plante. La conséquence la plus immédiate d'une concentration saline excessive est une lésion des racines suivie du flétrissement de la plante (BLANC, 1987). Selon le tableau.20, un sol avec une $CE \leq 500 \mu\text{s}/\text{cm}$, est un sol non salé, et l'effet de cette dernière sur le rendement est négligeable.

II.1.5. Discussion des résultats du pH

En se référant au tableau.21, on constate que nos sols sont basiques, avec de légères variations: entre précédent culture céréale et le précédent culture fourrage . Le pH, voisin de 8,0, est imposé par la présence des carbonates de calcium et de magnésium et ne peut être modifié par les pratiques agricoles. En absence de carbonates, le pH du sol est neutre ou acide (STENGEL et GELIN, 1998). Le pH est l'un des forts prédicateurs de la composition des communautés bactériennes et de la diversité (FAUGIER, 2010).

II.1.6. Discussion des résultats de la matière organique

Selon le tableau, on constate que d'après des résultats obtenus par le tableau que la précédent culture céréale est plus supérieure que la précédent culture fourrage .

Il est cependant nécessaire de citer que les résultats obtenus ont pu être influencés par plusieurs paramètres, puisque les sols à précédent culture céréale et précédent culture fourrage sont des sols auxquels on a pratiqué la technique du semis direct, c'est-à-dire que c'est des sols non travaillés et les résidus de récoltes sont laissés à la surface, mais il y'a du pâturage, ce qui engendre une consommation d'une partie de ces résidus, et il peut y avoir un mélange d'excréments du bétail dans le sol qui sont aussi des matière organiques d'origine animale, tandis que le sol à précédent culture céréale est un sol travaillé et donc la matière organique est incorporée dans les différents horizons du sol.

En sachant que le sol à précédent culture fourrage est une association (légumineuse-céréale), et que le sol à précédent culture céréale a un stock en MO presque similaire ou légèrement plus bas que celui du sol à précédent culture fourrage , on peut déduire que la matière organique est plus abondante dans les résidus provenant de cultures céréalières, ainsi, selon CPVQ, la paille des céréales constitue une excellente source de matière organique (**CPVQ,2000**), et cette association de légumineuse avec une céréale a pu améliorer ce stock en MO, car d'après des études faites par l'INRA, associé à leur capacité à fixer l'azote, les légumineuse sont des concentrations élevées de protéines dans les feuilles et les graines et constituent une source de protéines de grande valeur (**INRA,2010**). Il faut noter aussi que différents travaux de recherche ont montré que plus la teneur en argile du sol est élevée, plus le taux de matière organique souhaitable augmente (**CRA, 2012**), ce qui est tout à fait cohérent avec les résultats que nous avons obtenu.

Tableau N°08:Résultats des caractéristiques biochimiques des sols étudiés.

Précédent cultural	Horizons	C. organique%	MO%	N. total%	C/N
Céréales	0cm-10cm	1,08	1,85	0,08	13,5
	10cm-20cm	0,75	1,29	0,07	10,71
	20cm-30cm	0,84	1,44	0,07	12
Fourrage	0cm-10cm	0,9	1,54	0,09	10
	10cm-20cm	0,78	1,34	0,07	11,14
	20cm-30cm	1,05	1,8	0,07	15

II.1.7. Discussion des résultats de l'azote total

On observe dans le tableau.09 le sol à précédent culture céréale a un taux d'azote compris entre 0,07% et 0,08%, tandis que le sol à précédent culture fourrage a un taux d'azote compris entre 0,07% et 0,09% dans les horizons de prélèvements. On constate que nos deux sols sont très pauvres en azote.

Néanmoins, on peut noter que la couche (0cm-10cm) du sol à précédent culture fourrage (association vesce-avoine) contient le taux le plus élevé en azote total. D'après Minette, Ces deux espèces ont des comportements complémentaires par rapport à l'azote. L'avoine absorbe l'azote présent dans le sol et la vesce capte l'azote atmosphérique de l'air. Ce la permet un apport supplémentaire d'azote à la culture suivante (MINETTE, 2012). Des études faites par l'INRA prouvent que les mélanges d'espèces permettent d'optimiser la gestion de l'azote et les risques de perte dans l'environnement. Un couple légumineuse-non légumineuse ajustera ses besoins aux fluctuations des niveaux d'azote minéral disponible (INRA, 2010).

II.1.8. Discussion des résultats du rapport C/N

On peut interpréter les résultats du rapport C/N (tableau.09) par le tableau.25 comme suit :

- Le sol à précédent culture céréale présente une bonne minéralisation de la MO. Dans les horizons (0cm-10cm et 10cm-20cm) de prélèvements du sol à précédent culture fourrage, il y'a une bonne minéralisation de la matière organique, mais dans l'horizon (20cm-30cm) le rapport C/N est de 15 qui est très élevé, donc le sol a une activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique. Selon des études faites par la chambre régionale de l'agriculture ,un sol argilo-calcaire dont l'analyse présente un fort taux de matière organique, et un C/N élevé , a peut en dance à minéraliser, et a tendance à stocker la matière organique (CRA, 2012).

Le rapport C/N est souvent utilisé pour prédire la stabilité d'une matière organique simple dans le sol. Une matière à faible C/N (4à12) va être rapidement minéralisée en fournissant beaucoup d'azote minéral. La dégradation d'une matière à fort C/N (15à20) va à l'inverse provoquer l'immobilisation de l'azote du sol par les microorganismes (**VANDE KERCHOVE et al. 2006**).

II.2. Résultats des analyses microbiologiques

II.2.1. Discussion des résultats des bactéries aérobies

D'après les résultats obtenus pour les bactéries aérobies (tableau.09), On remarque que :

Dans le sol à précédent culture céréale, le nombre de ces bactéries est de 45×10^6 UFC/ml en surface, puis augmente dans les deux couches sous-jacentes aux a l en tours de 110×10^6 UFC/ml.

Le sol à précédent culture fourrage, contient 64×10^6 UFC/ml de bactéries aérobies sur sa surface, puis ce nombre augmente à 164×10^6 UFC/ml dans la couche du milieu, puis il redescend à 112×10^6 UFC/ml dans l'horizon sous-jacent.

On remarque ainsi que les deux sols ont des densités de bactéries aérobies basses à la surface, et plus élevées dans les horizons sous-jacents. Un bon nombre de chercheurs estiment que la densité du peuplement des bactéries aérobies devrait décroître en profondeur, car d'après DAUMER et al. Et FAURIE et al, la présence d'oxygène dans le sol est indispensable aux bactéries aérobies qui minéralisent la matière organique en décomposition (DAUMER *et al*, 2005 et FAURIE *et al*, 2012), mais nos résultats sont tout à fait opposants, cela est peut-être dû à la présence d'une flore bactérienne aérobie facultative. Notons aussi que nos prélèvements ont été réalisés au mois de Février où on a connu des températures inférieures à 10°C . D'après HUBER et SCHAUB, le froid et le sec limitent l'activité microbienne. L'activité biologique n'est présente, qu'au début du printemps quand les micro-organismes reprennent leur activité, plutôt qu'en hiver (HUBER et SCHAUB, 2011).

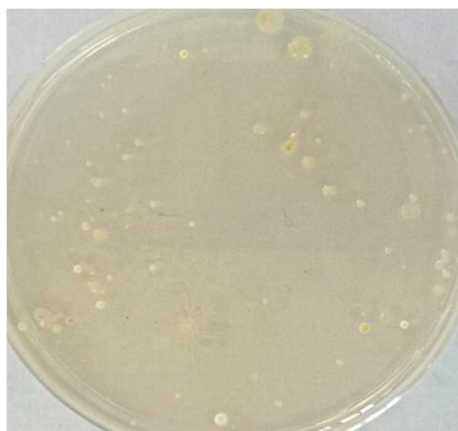


Photo N°12: Aspect macroscopique des colonies des bactéries aérobies.

II.2.2. Discussion des résultats des Azotobacters

Pour les Azotobacters, on a obtenu un nombre de colonies inférieur à 30, voir pas de colonies du tout dans les boites de pétri pour le sol précédent culture céréale.

Dans le sol à précédent culture fourrage, il y'a une densité microbienne de 45×10^5 UFC/ml dans la couche (0cm-10cm) et de 33×10^5 UFC/ml dans la couche (20cm-30cm).

On déduit que le sol à précédent culture fourrage (association légumineuse-céréale) est plus riche en Azotobacters que les deux autres sols.

Ici aussi, on peut dire que le froid a peut-être causé cette baisse dans la densité microbienne.

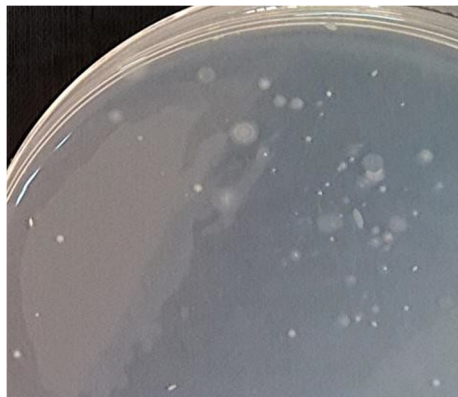


Photo N°13:Aspect macroscopique des colonies des Azotobacters.

II.2.3. Discussion des résultats des actinomycètes

En ce qui concerne les valeurs relatives des actinomycètes (tableau.09), on remarque une baisse par rapport à celle des bactéries aérobies, ceci peut être dû à leur faible pouvoir de multiplication (**BEDJADJ, 2011**).

Les actinomycètes sont plus abondantes dans le sol a précédent culture fourrage (dans le sal en tours de 22×10^5 UFC/ml), le sol à précédent culture céréale on obtient 7×10^5 UFC/ml et 10×10^5 UFC/ml.

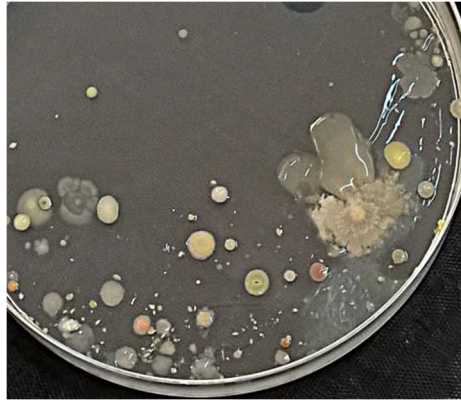


Photo N°14:Aspect macroscopique des colonies d'actinomycètes.

II.2.4. Discussion des résultats des champignons

Dans le sol à précédent culture céréale ce nombre est de 10×10^4 UFC/ml à la surface puis ce nombre augmente dans la couche du milieu à 46×10^4 UFC/ml puis descend à 36×10^4 UFC/ml.

En ce qui concerne le sol à précédent culture fourrage, les densités sont comprises entre 20×10^4 UFC/ml et 23×10^4 UFC/ml pour les trois horizons de prélèvements.

On constate donc, que les champignons sont plus nombreux dans le sol à précédent culture céréale, et moins nombreux dans le sol à précédent culture fourrage. Le nombre des champignons est moins important que celui des bactéries ou des actinomycètes dans le sol. Selon PRESCOTT et al, la majorité des bactéries et des protistes sont neutrophiles, la plupart des champignons préfèrent un milieu légèrement acide, aux environs de pH 4 à 6 (PRESCOTT et al, 2010). Le pH de nos sols est alcalin ce qui explique la faible densité des champignons par rapport aux autres microorganismes.

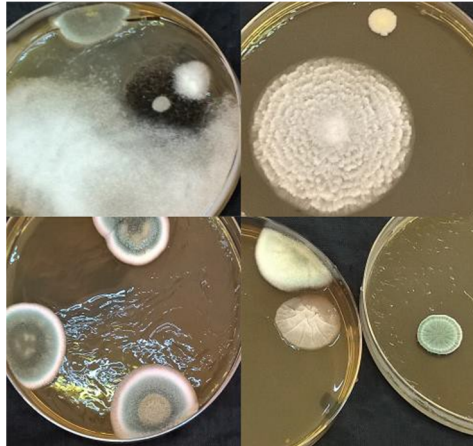


Photo N°15: Aspect macroscopique des colonies des champignons.

Tableau N°09: Résultats de l'analyse microbiologique des sols (milieux solides).

Précédent cultural	Horizon	Bactéries Aérobiees UFC/ml	Azotobacters UFC/ml	Actinomycètes UFC/ml	Champignons UFC/ml
Céréales	0cm-10cm	45x10 ⁶	<30 colonies	9,66x10 ⁵	10x10 ⁴
	10cm-20cm	110x10 ⁶	<30 colonies	7,66x10 ⁵	46x10 ⁴
	20cm-30cm	112x10 ⁶	<30 colonies	10,33x10 ⁵	36x10 ⁴
Fourrage	0cm-10cm	64x10 ⁶	45x10 ⁵	23,66x10 ⁵	20x10 ⁴
	10cm-20cm	164x10 ⁶	<30 colonies	22,33x10 ⁵	23x10 ⁴
	20cm-30cm	112x10 ⁶	33x10 ⁵	22,33x10 ⁵	23x10 ⁴

II.2.5. Discussion des résultats des ammonifiants

Les résultats des analyses microbiologiques concernant les germes ammonifiants présentent une quasi-totalité de tubes positifs pour les séries de dilutions des sols à précédent culture céréale et précédent culture fourrage.

L'ammonification peut se produire pour une gamme très variée de pH, de température et d'humidité car elle est le fait d'un nombre considérable de microorganismes (champignons, actinomycètes et bactéries ammonifiantes) (MORALES, 1995).

II.2.6. Discussion des résultats des nitrifiants et des dénitrifiant

Les milieux contenant des germes nitrifiants et dénitrifiant sont tous positifs. Ce qui se traduit dans la table de Mac Grady par un nombre caractéristique de 140×10^5 microorganismes/ml. Ceci pourrait être interprété par le fait que ces sols contiennent tout simplement ce nombre de germes, ou bien que la dilution n'était pas assez suffisante pour pouvoir avoir un résultat négatif et avoir des estimations plus précises sur le nombre de ces germes.

La nitrification est un processus accompli exclusivement en phase aérobie et peut être effectué par divers types de microorganismes, dans la plupart des cas autotrophes, mais parfois hétérotrophes (GILBERT, 2006).

La dénitrification se fait par des germes aérobies capables de se développer en anaérobiose en présence de nitrate sous forme de nitrites. La dénitrification dépend principalement de la concentration en oxygène dissous et, dans une moindre mesure, de la température et de la teneur en nitrate sente matière organique facilement dégradable (MORALES, 1995). Les microorganismes dénitrifiant sont généralement hétérotrophes, parmi les organismes hétérotrophes pouvant dénitrifier, on retrouve des bactéries aérobies facultatives (GILBERT, 2006).

Tableau N°10: Résultats de l'analyse microbiologique des sols (milieux liquides).

Précédent cultural	Horizon	Germes Ammonifiants microorganismes/ml	Germes Nitrifiants microorganismes/ml	Germes Dénitrifiants microorganismes/ml
Céréales	0cm-10cm	$\geq 140 \times 10^5$	$\geq 140 \times 10^5$	$\geq 140 \times 10^5$
	10cm-20cm			
	20cm-30cm			
Fourrage	0cm-10cm	$\geq 140 \times 10^5$	$\geq 140 \times 10^5$	$\geq 140 \times 10^5$
	10cm-20cm			
	20cm-30cm			



Photo N°16 : détection de la présence des ammonifiantes par le réactif de Nessler.



Photo N°17 : Détection des et des dénitrifiant par le papier tournesol.

II.3. Résultats des analyses microbiologies de sol fertilisé

II.3.1. Discussion des résultats des bactéries aérobies

D'après les résultats obtenus pour les bactéries aérobies (tableau.11), On remarque que :

Dans la couche de l'horizon (10cm-20cm) on remarque que :

Dans le sol précédent culture céréale fertilisé le nombre de ces bactéries est de 111×10^6 UFC/ml c'est-à-dire une augmentation non importante par rapport au sol non fertilisé.

Dans le sol précédent culture fourrage fertilisé la même chose une augmentation non importante elle est a 165×10^6 UFC/ml.

On constate que les bactéries aérobies restent presque stables dans cet horizon même après l'ajout de l'engrais azoté c'est-à-dire que ce dernier influe sur l'activité de cette bactérie de façon non remarquable.

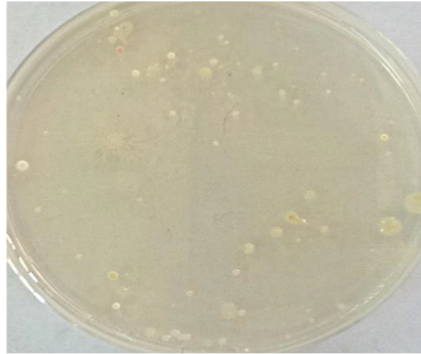


Photo N°18:Aspect macroscopique des colonies des bactéries aérobies.

II.3.2. Discussion des résultats des bactéries azotobacters

Le nombre des bactéries azotobacters va augmenter très vite après l'ajout direct de fertilisant azoté elle est supérieure de 30 dans l'horizon de (10cm-20cm) dans les deux sols précédents culture céréale et précédents culture fourrage .

Dans cette façon le fertilisant azotée va influencer sur l'activité bactérienne des azotobacters de façon très importante.

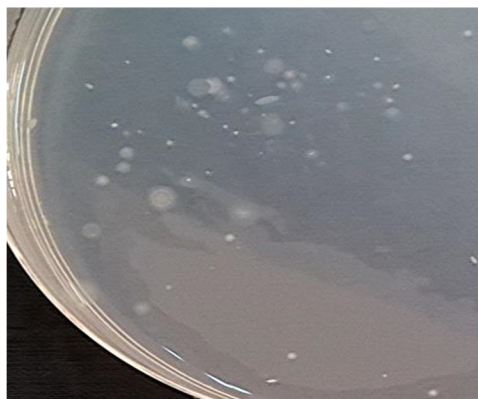


Photo N°19:Aspect macroscopique des colonies des Azotobacters.

II.3.3. Discussion des résultats des actinomycètes

Le nombre de bactéries actinomycètes augmente mais de façon insuffisante après l'ajout de l'engrais azoté cet augmentation faible a cause de leur multiplication lente de ce genre de bactérie dans les deux sols (précédent culture céréale et précédent culture fourrage).

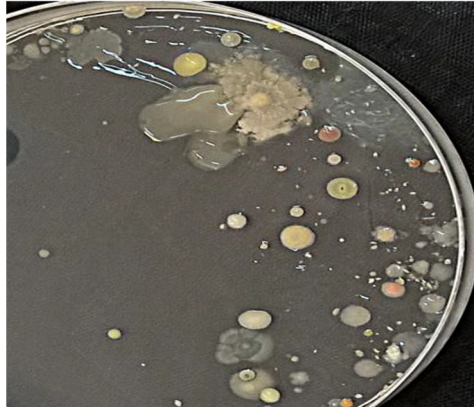


Photo N°20:Aspect macroscopique des colonies d'actinomycètes.

II.3.4. Discussion des résultats des champignons

Le non importance du nombre de champignons par rapport aux autres bactéries (aérobies, actinomycètes et azotobacters). On constate une augmentation faible en comparer avec les autres bactéries après l'utilisation des engrais azotés.

Dans le sol fertilisé à précédent culture fourrage est de 23.66×10^4 UFC/ml et ce qui concerne le sol fertilisé précédent culture céréale est de 46.33×10^4 UFC/ml.

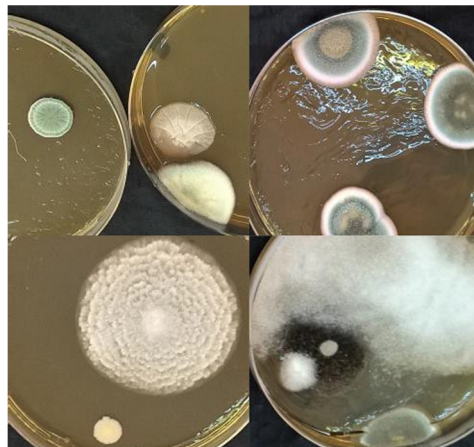


Photo N°21:Aspect macroscopique des colonies des champignons.

Tableau N°11: Résultats de l'analyse microbiologique des sols (milieux solides).

Précédant Cultural	Horizon	Bactéries aérobies	Azotobacters UFC/ml	Actinomycètes UFC/ml	Champignon UFC/ml
Céréales	10cm-20cm	111x10 ⁶	>30colonies	08.00x10 ⁵	46.33x10 ⁴
Fourrage	10cm-20cm	165x10 ⁶	>30colonies	22.88x10 ⁵	23.66x10 ⁴

II.3.5. Discussion des résultats des ammonifiants

La même discussion que dans le sol non fertilisé mais l'augmentation de leur nombre est plus c'est-à-dire supérieur de 140 x10⁵ microorganismes/ml. Cette augmentation remarquable dans les deux sols fertilisés (précèdent culture céréale et précèdent culture fourrage).

II.3.6. Discussion des résultats des nitrifiants et des dénitrifiants

La aussi les milieux contenant des germes nitrifiants et dénitrifiant sont tous positifs. Mais le seul différence c'est le nombre des bactéries nitrifiants augmente plus dans le sol fertilisé que dans le sol non fertilisé cet augmentation remarquer dans les deux genres de sol (sol précèdent culture céréale et sol précèdent culture fourrage), ce nombre est supérieur de 140 x10⁵ microorganismes/ml.

Et ce qui concerne les bactéries dénitrifiants dans ce cas de sol fertilisé leur nombre de bactéries sont diminués par rapport au nombre des bactéries nitrifiants et on comparer aussi avec leur nombre dans le sol non fertilisé dans les deux genres de sol (sol₁ précèdent culture céréale et sol₂ précèdent culture fourrage). Ce nombre est inférieur de 140 x 10⁵ microorganismes/ml.

Tableau N°12: Résultats de l'analyse microbiologique des sols (milieux liquides).

Précédant Cultural	Horizon	Germes ammonifiants microorganismes/ml	Germes nitrifiants microorganismes/ml	Germes dénitrifiants microorganismes/ml
Céréales	10cm-20cm	>140x10 ⁵	>140x10 ⁵	<140x10 ⁵
Fourrage	10cm-20cm	>140x10 ⁵	>140x10 ⁵	<140x10 ⁵

CONCLUSION

Conclusion

Les matières organiques sont en grande partie responsables de la vie biologique d'un sol (**HUBER et SCHAU, 2011**). Suivant le type de sol, des facteurs peuvent agir sur la structure des communautés comme le pH, la disponibilité des nutriments, la solubilité des métaux, le contenu en carbone et en azote, l'humidité des sols, la salinité et les variations climatiques (**FAUGIER, 2010**).

Les résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques des deux sols de la région de Rechaiga, montrent que ces sols se caractérisent par des textures limoneuses et argilosableuse, avec des taux d'humidité importants. Ce sont tous des sols alcalins, et non salés.

Le sol à précédent culture céréale et précédent culture fourrage sont légèrement pourvus en calcaire.

Le sol à précédent culture fourrage contient les taux les plus élevés en MO, et en azote, ensuite le sol à précédent culture céréale vient en second.

La minéralisation est bonne dans les sols à précédent culture céréale, tandis que le sol à précédent culture fourrage a un rapport C/N plutôt élevé en profondeur et qui induit à un meilleur stock en MO.

Le sol fertilisé à précédent culture fourrage a la densité microbienne la plus élevée en bactéries aérobies, Azotobacter et actinomycètes en comparant avec le sol non fertilisé. Les champignons sont plus abondants dans les deux sols (fertilisé et non fertilisé) à précédent culture céréale.

Les sols fertilisés à précédent culture fourrage et précédent culture céréale contiennent une biomasse ammonifiante plus importante, cependant, tous ces sols présentent une biomasse nitrifiante très élevée et dénitrifiante baisse.

Conclusion

Les deux sols étudiés sont pauvres en matières organiques et en azote total, et les densités microbiennes aussi sont plutôt faibles. Des utilisations des engrais azotés sont indispensables pour augmenter leur fertilité, et améliorer leurs performances microbiologiques.

En fin, de manière générale, on conclut que le précédent cultural où il y'a une association entre une céréale et une fourrage est le plus apte à stocker la matière organique, et à assurer une bonne activité microbienne.

Dans une perspective de pratiques culturales, il apparaît bien que les associations de fourrageur avec les céréales ont un intérêt économique et écologique, et peuvent s'insérer bénéfiquement par l'introduction des plantes améliorantes dans la succession des cultures pour la conservation de la fertilité des sols soit sans l'utilisation des fertilisants ou avec leur utilisation mais de façon normalisée.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

- ❖ **Alan dehaye**, documents universitaires américains S.T.R.I de Bing ley 1987, le sol, la terre, et les champs 45-146p

- ❖ **Alexandra Maltas**, Hansrudolf Oberholzer, Raphaël Charles, Vincent Bovet et Sokrat Sinaj, 2012 - Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon ; Station de recherche Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich - in Recherche Agronomique Suisse 3 (3) : 148–155p

- ❖ **Alfano, G.; Lustrato, G.; Lima, G.; Vitullo, D.; Ranalli, G., 2011.** Characterization of composted olive mill wastes to predict potential plant disease suppressiveness. *Biological Control*, 58 (3): 199-207.

- ❖ **Aoyama, M.; Angers, D.A.; N'Dayegamiye, A.; Bissonnette, N., 1999b.** Protected organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. *Canadian Journal of Soil Science*, 79 (3): 419-425.

- ❖ **Bastida, F.; Zsolnay, A.; Hernandez, T.; Garcia, C., 2008.** Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective. *Geoderma*, 147 (3-4): 159-171.

- ❖ **Beegle, D.B.; Kelling, K.A.; Schmitt, M.A., 2008.** Nitrogen from animal manures. In: Schepers, J.S.; Raun, W.R., eds. *Nitrogen in Agricultural Systems*. Madison, USA: American Society of Agronomy, 823-881.

- ❖ **Bedjadj S., 2011.** Contribution à l'étude des caractéristiques microbiologiques des sols dans la région de Ouargla (Cas de l'exploitation de l'université de Ouargla). Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences agronomiques option microbiologie. Université Kasdi Merbah Ouargla. Pages: 06, 07, 14, 37. 59P.

- ❖ **Benfardia H., Chenine A., 2014.** Effet de la nature des sols sur l'efficacité d'un dispositif de biodépollution à l'aide de bactéries hydrocarbonées. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de master académique en biologie spécialisée microbiologie appliquée. Université Kasdi Merbah Ouargla. Page: 22. 43P.

- ❖ **Blanc D., 1987.** Les cultures hors sol. 2^{ème} édition. Editions INRA. Paris. 413P.

- ❖ **Brabant P., 1991.** Le sol des forêts claires du Cameroun: exemple d'étude d'un site représentatif en vue de la cartographie des sols et de l'évaluation des terres. Tome 1. Editions ORSTOM. Paris. 533P.

- ❖ **Bierman, P.M.; Rosen, C.J., 1994.** Nitrate and Trace-Metal Availability from Sewage-Sludge Incinerator Ash. *Journal of Environmental Quality*, 23 (4): 822-830.

Références bibliographiques

- ❖ **Bonanomi, G.; Antignani, V.; Pane, C.; Scala, E., 2007.** Suppression of soilborne fungal diseases with organic amendments. *Journal of Plant Pathology*, 89 (3): 311-324.
- ❖ **Boniface, R.; Trocme, S., 1988.** Enseignements fournis par des essais de longue durée sur la fumure phosphatée . II-Essai sur la fumure phosphatée. In: Gachon, L., ed. *Phosphore dans les relations sol-plante : conséquences sur la fertilisation*. INRA, Editions, Paris, 279-402.
- ❖ **Bouthier, A.; Trochard, R.; Parnaudeau, V.; Nicolardot, B., 2009.** Cinétique de minéralisation nette de l'azote des produits résiduels in situ et en conditions contrôlées. *Les 9èmes rencontres de la fertilisation raisonnée et de l'analyse de la terre Comifer-Gemas*, 25-26 novembre 2009. Blois, France, 6 p.
- ❖ **Calvet R., 2003.** Le sol, Propriétés et fonctions : Constitution et structure, phénomènes aux interfaces. Tome1. Vol1. Editions France agricole. Paris. 457P.
- ❖ **Calvet R., 2013.** Le sol. 2eme édition. Editions France Agricole. Paris. 678P.
- ❖ **Calvet R., Chenu C., Houot S., 2011.** Les matières organiques des sols. Rôles agronomiques et environnementaux. Editions France Agricole. Paris. 347P.
- ❖ **Cédra C., 1993.** Les matériels de travail du sol, semis et plantation. 1^{ère} Edition. Editions TEC&DOC. Lavoisier. Collection FORMAGRI. Vol3. Paris. 384P.
- ❖ **Claire chenu, Jérôme Balesdent, 2003.** Second edition. Autoprotection of MO. *Biology and Fertility of Soils*, 47 (2): 121-128p.
- ❖ **CPVQ (Conseil des productions végétales au Québec), 2000.** Guide des pratiques de conservation en grandes cultures. Guide technique. Québec. 400P.
- ❖ **CRA (Chambre régionale de l'agriculture), 2012.** Les sols vivants bios : Adapter les apports organiques du sol. Fiche Matières organiques N°03. Provence Alpes Côte d'Azur. 08P.
- ❖ **Dabin B., 1972.** Laboratoire de chimie des sols et pédologie appliquée. Guide technique. Editions ORSTOM. Bondy. 17P.
- ❖ **Dari R., 2013.** Dénombrement de la biomasse microbienne des sols arides, exemple d'un sol salé sous deux types de cultures. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences agronomiques, option mise en valeur des sols sahariens. Université Kasdi Merbah Ouargla. Pages : 03, 34, 53. 53P.

Références bibliographiques

- ❖ **Dr. Nelson**, cornell university, suppression biologique de dollar spot et rhizoctonia en 1989, 1-79p.
- ❖ **Daumer M.L., Béline F., Guiziou F., 2005.** Traitement biologique des lisiers de porcs en boues activées : Guide technique à l'usage des concepteurs, exploitants et organismes de contrôle des stations. Editions CEMAGREF. Rennes. 73P.
- ❖ **Dungait, J.A.J.; Hopkins, D.W.; Gregory, A.S.; Whitmore, A.P., 2012.** Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. *Global Change Biology*, 18 (6): 1781-1796.
- ❖ **EMEP/EEA, 2009.** European Monitoring and Evaluation Programme of long range transmission of air pollution/European Environment Agency) air pollutant emission inventory guidebook. Technical guidance to prepare national emissions inventories.
- ❖ **Erismann, J.W.; Bleeker, A.; Galloway, J.; Sutton, M.S., 2007.** Reduced nitrogen in ecology and the environment. *Environmental Pollution*, 150 (1): 140-149.
- ❖ **Es-Skalli A., 2015.** Analyse physico-chimique des sols agricoles. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de licence sciences et techniques, option Géoresources et environnement. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. Page : 16. 43P.
- ❖ **FAO (Food and agriculture organization), 1992.** Fichier technique de la fixation symbiotique de l'azote : légumineuses-rhizobium. Rome.
- ❖ **FAO, les engrais et leur application précis a l'usage des agents de vulgarisation agricole.** Quatrième édition, édition F.A.O.IFA 2003 (Paris, France) 84p
- ❖ **Faugier A., 2010.** Diversité bactérienne des sols : accès aux populations à effectifs minoritaires « the rare biosphère ». Mémoire présenté pour l'obtention du grade de docteur. Ecole doctorale électronique, électrotechnique, automatique de Lyon. Page : 54. 173P.
- ❖ **Gilbert Yan, 2006.** Caractérisation de la biomasse nitrifiante et dénitrifiante d'un biofiltre à support organique. Mémoire présentée pour l'obtention du grade de Docteur, option génie civil. Université Laval. Québec. 238P.
- ❖ **Gilmour, J.T.; Clark, M.D., 1988.** Nitrogen Release from Waste-Water Sludge - a Site Specific Approach. *Journal Water Pollution Control Federation*, 60 (4): 494-498.
- ❖ **Gobat J.M., Aragno M., Matthey W., 2010.** Le sol vivant. 3^{eme} édition. Presse

Références bibliographiques

polytechnique et Universitaire romands Lausanne. Italie. 817P.

- ❖ **Guét G., 2003.** Mémento d'agriculture biologique: guide pratique à usage professionnel. 2^{ème} édition. Editions AGRIDECISIONS. Paris. 417P.

- ❖ **HALILAT M.T** effect of potash and nitrogen fertilization on wheat .IPI regional workshop on potassium and fertigation development in west asia 24-28 november 2004.16p

- ❖ **HALITIM A.** Contribution à l'étude des régions semi arides d'algérie 1985, thèse .doc. ENSA Rennes.

- ❖ **Hanns , H.; Mukai, S.,** 1986. Decomposition of sewage sludges in soil as affected by their organic matter composition. Soil Science and Plant Nutrition, 32 (3): 421-432.

- ❖ **Heitkamp, F.; Raupp, J.; Ludwig, B.,** 2011. Effects of fertilizer type and rate on labile soil fractions of a sandy Cambisol-long-term and short-term dynamics. Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde, 174 (1): 121-127.

- ❖ **HERRARAESTRELLA L.,** 2000. Biology active in soil: from adaptive biology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. Plant Science 160: 1-13.

- ❖ **Huber G., Schaub C.,** 2011. La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. Chambre régionale de l'agriculture. Bas-Rhin. 42P.

- ❖ **INRA, 2010.** Carrefours de l'innovation agronomique : Légumineuses et agriculture durable. Innovations agronomiques 11. France. 1-24 / 25-44. 204P.

- ❖
Jenkinson, D.S.; Rayner, J.H., 1977. Turnover of soil organic-matter in some of Rothamsted classical experiments. Soil Science, 123 (5): 298-305.

- ❖ **Kong, A.Y.Y.; Six, J.; Bryant, D.C.; Denison, R.F.; van Kessel, C.,** 2005. The relationship between carbon input, aggregation, and soil organic carbon stabilization in sustainable cropping systems. Soil Science Society of America Journal, 69 (4): 1078-1085.

- ❖ **Ladd, J.N.; VanGestel, M.; Monrozier, L.J.; Amato, M.,** 1996. Distribution of organic C-14 and N-15 in particle-size fractions of soils incubated with C-14, N-15-labelled glucose/NH₄, and legume and wheat straw residues. Soil Biology & Biochemistry, 28 (7): 893-905p.

Références bibliographiques

- ❖ **Larkin, R.P.**, 2008. Relative effects of biological amendments and crop rotations on soil microbial communities and soilborne diseases of potato. *Soil Biology & Biochemistry*, 40 (6): 1341-1351.

- ❖ **Lemaire F., Dartigues A., Charpentier S., Rivière L.M., Morel P., 2003.** Cultures en pots et conteneurs : principes agronomiques et applications. 2^{ème} édition. Editions INRA. Paris. 232P.

- ❖ **Liang, B.; Yang, X.Y.; He, X.H.; Zhou, J.B.**, 2011. Effects of 17-year fertilization on soil microbial biomass C and N and soluble organic C and N in loessial soil during maize growth. *Biology and Fertility of Soils*, 47 (2): 121-128.

- ❖ **Locatelli A., 2013.** Prévalence de pathogènes humains dans les sols français, effet des facteurs pédoclimatique, biologiques et du mode d'utilisation des sols. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en sciences de la vie spécialité écologie microbienne. Université de Bourgogne. Page : 07. 144P.

- ❖ **LOPEZ-BUCIO J., NIETO-JACOBO M.F., RAMIREZ-RODRIGUEZ V., MULLEN L. C.**, 2003. Phosphorus Nutrition for Winter Crops. Agfact P1.4.5, second edition. District Agronomist, Dubbo NSW Agriculture. 16p.

- ❖ **Lovland , J.; da Silva, J.P.; Steiner, C.; Nehls, T.; Zech, W.; Glaser, B.**, 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249 (2): 343-357.

- ❖ **Lozano, J.; Blok, W.J.; Termorshuizen, A.J.**, 2009. Effect of Compost Particle Size on Suppression of Plant Diseases. *Environmental Engineering Science*, 26 (3): 601-607.

- ❖ **Malandraki, I.; Tjamos, S.E.; Pantelides, I.S.; Paplomatas, E.J.**, 2008. Thermal inactivation of compost suppressiveness implicates possible biological factors in disease management. *Biological Control*, 44 (2): 180-187.

- ❖ **Marschner, B.; Brodowski, S.; Dreves, A.; Gleixner, G.; Gude, A.; Grootes, P.M.; Hamer, U.; Heim, A.; Jandl, G.; Ji, R.; Kaiser, K.; Kalbitz, K.; Kramer, C.; Leinweber, P.; Rethemeyer, J.; Schaeffer, A.; Schmidt, M.W.I.; Schwark, L.; Wiesenberg, G.L.B.**, 2008. How relevant is recalcitrance for the stabilization of organic matter in soils? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science-Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*, 171 (1): 91-110.

- ❖ **Minette S., 2012.** Choisir et réussir son couvert végétal pendant l'interculture en AB. Cahier technique. 1^{ère} édition. Chambre régionale d'agriculture de Poitou-Charentes. 15P.

Références bibliographiques

- ❖ **Montoroi J.P., 1997.** Etude et gestion des sols. Conductivité électrique de la solution du sol et d'extraits aqueux de sol : application à un sol sulfaté acide salé de Basse-Casamance (Sénégal). Article scientifique 4, (4). Editions AFES. Montpellier. P : 279-298.
 - ❖ **Morales G., M., 1995.** Modélisation des transferts de nitrates, confrontation des concepts, des données et des informations : Application au bassin de la Charente. Mémoire présenté pour l'obtention du titre de docteur. Option Sciences et techniques de l'environnement. Ecole nationale des Ponts et Chaussées. Paris. Pages : 08, 09, 14. 174P.
 - ❖ **Morel R., 1996.** Les sols cultivés. 2eme édition. Lavoisier TEC&DOC. Paris. 389P.
 - ❖ **MOUGHLI L,** les engrais minéraux: caractéristique et utilisation. Ed. IAV HASSAN II 2000, Maroc, 4p(Format PDF)
 - ❖ **Musy A., Higy C., 2004.** Hydrologie: 1 Une science de la nature. Editions Presses polytechniques et universitaires romandes. Collection gérer l'environnement. Lausanne. 314P.
- Niisawa, C.; Oka, S.I.; Kodama, H.; Hirai, M.; Kumagai, Y.; Mori, K.; Matsumoto, J.; Miyamoto, H., 2008.** Microbial analysis of a composted product of marine animal resources and isolation of bacteria antagonistic to a plant pathogen from the compost. Journal of General and Applied Microbiology, 54 (3): 149-158.
- ❖ **Nouar B., 2015.** Contribution à l'étude de la diversité floristique et biogéographique des matorrals selon un gradient altitudinal des monts de TIARET (ALGERIE). Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Phytodynamique des écosystèmes matorrals menacés. Université Abou Bakr Belkaid – Tlemcen. Page : 13. 116P.
 - ❖ **Petard J., 1993.** Les méthodes d'analyse. Tome1, Analyse de sols. Notes techniques. Laboratoire commun d'analyses N°5. Document de travail. Editions ORSTOM (Office de la recherche scientifique et technique outre-mer). Nouvelle Calédonie. 196P.
 - ❖ **Pousset J., 2002.** Engrais verts et fertilité des sols. 2^{eme} Edition. Editions Agridécisions. Paris. 305P.

Références bibliographiques

- ❖ **Postma, J.; Montanari, M.; van den Boogert, P., 2003.** Microbial enrichment to enhance the disease suppressive activity of compost. *European Journal of Soil Biology*, 39 (3): 157-163.

Paustian, K.; Parton, W.J.; Persson, J., 1992. Modeling soil organic-matter in organic-amended and nitrogen-fertilized long-term plots. *Soil Science Society of America Journal*, 56 (2): 476-488.

- ❖ **Prescott L.M., Sherwood L.M., Woolverton C.J., Harley J.P., Klein D.A., Willey, 2010.** *Microbiologie*. 3^{ème} Edition. Editions De Boeck. Paris. 1200P.

- ❖ **Rahaoui F., 2009.** Etude de la mobilité de certains ETM dans un sol en domaine routier, approche expérimentale et théorique. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de magister en spectrochimie et méthodes d'analyses (SMA). Université de Tlemcen. Page : 03.

- ❖ **Schlegel, H.G., 1993.** *General Microbiology*. Cambridge: Cambridge University Press, 655 p.

- ❖ **Schwartz C., Muller J.C., Decroux J., 2005.** *Guide de la fertilisation raisonnée*. Editions France Agricole. Paris. 414P.

- ❖ **Sims, T.J., 1995.** Organic wastes as alternative nitrogen sources. New York: Marcel Dekker, Inc. (*Nitrogen fertilization in the environment*), 487-535.

- ❖ **Sleutel, S.; De Neve, S.; Nemeth, T.; Toth, T.; Hofman, G., 2006.** Effect of manure and fertilizer application on the distribution of organic carbon in different soil fractions in long-term field experiments. *European Journal of Agronomy*, 25 (3): 280-288.

- ❖ **Tahani A., 2009.** Regard sur des expériences en Algérie et en Egypte. Perspectives des politiques agricoles en Afrique du Nord. Article scientifique. *Options Méditerranéennes*, B 64. P : 144-172.

- ❖ **Torsvik, V.; Sorheim, R.; Goksoyr, J., 1996.** Total bacterial diversity in soil and sediment communities - A review. *Journal of Industrial Microbiology*, 17 (3-4): 170-178.

- ❖ **Vargas, P.** Cornell university mars 1992. Efficacité des traitements biologiques contre les maladies (*Trichoderma* spp. *Bacillus*) 225-255.

- ❖ **Zmora-Nahum, S.; Danon, M.; Hadar, Y.; Chen, Y., 2008.** Compost Curing Reduces Suppression of Plant Diseases. *Compost Science & Utilization*, 16 (4): 250-256.

Annexes

Annexe I : Milieux de culture en microbiologie**I.1. Milieu OGA****Tableau N°11** : Milieu de culture pour les champignons (Milieu OGA).

Constituant	Poids
Extrait autolytique de levure	5g
Glucose	20g
Oxytétracycline	0,1g
Agar-Agar	15g
Eau distillée	1000ml

I.2. Milieu ASHBY**Tableau N°12**: Milieu de culture pour les Azotobacter (Milieu ASHBY).

Constituant	poids
Glucose	10g
K ₂ HPO ₄	0.2g
MgSO ₄	0.2g
K ₂ SO ₄	0.1g
CaCO ₃	5g
Gélose ou Agar	15g
Eau distillée	1000ml

I.3. Milieu de culture pour les actinomycètes**Tableau N°13** : Milieu de culture pour les Actinomycètes.

Constituant	poids
Saccharose	10g
Glutamate de sodium	10g
K ₂ H ₂ PO ₄ ou Na ₂ HPO ₄	1g
Gélose ou Agar	15g
Eau distillée	1000ml

I.4. Milieu de culture pour les bactéries aérobies**Tableau N°14** : Milieu de culture pour les bactéries aérobies

Constituant	poids
Glucose ou saccharose	10g
K ₂ H ₂ PO ₄ ou Na ₂ HPO ₄	0,5g
MgSO ₄	0,2g
Glutamate de sodium	1,5g
CaCO ₃	0,2g
Gélose ou Agar	15g
Eau distillée	1000ml

I.5. Solution saline standard

Tableau N°15 : Solution saline standard.

Constituant	poids
Na ₂ HPO ₄	5g
MgSO ₄	2,5g
NaCl	2,5g
Fe ₂ (SO ₄) ₃	0,05g
MnSO ₄	0,05g
Eau distillée	1000ml

I.6. Milieu de culture pour les ammonifiants

Tableau N°16 : Milieu de culture pour les ammonifiants.

Constituant	Poids
Asparagine	0,2g
Solution saline standard	50ml
Eau distillée	950ml

I.7. Milieu de culture pour les nitrifiants

Tableau N°17 : Milieu de culture pour les nitrifiants.

Constituant	poids
Solution saline standard	50ml
(NH ₄) ₂ SO ₄	0,5g
CaCO ₃	1g
Eau distillée	950ml

I.8. Milieu de culture pour les dénitrifiants

Tableau N°18 : Milieu de culture pour les dénitrifiants.

Constituant	poids
Solution saline standard	50ml
NaNO ₃	1g
CaCO ₃	1g
Eau distillée	950ml

Annexe II : Modes opératoires

II.1. Analyses physico-chimiques

II.1.1. Détermination du taux d'humidité

Cette analyse ne nécessite pas le broyage et le tamisage des échantillons. L'analyse du taux d'humidité des échantillons doit se faire le même jour que leur prélèvement, ceci est un renseignement important pour la connaissance de l'état hydrique du sol. Le protocole est simple et se fait comme suite:

- Peser à l'aide d'une balance de précision, une capsule en verre vide.
- Faire le tarage du poids de la capsule et peser 20g d'échantillon de sol.
- Mettre à l'étuve à 105°C, pendant 24 heures.
- Peser la capsule contenant l'échantillon séché, après l'avoir laissée refroidir à la température ambiante dans un dessiccateur.

- **Calculs**

$$H = (P_{air} - P_{105^{\circ}C}) / P_{air} \times 100$$

H : Taux d'humidité en%.

P_{air}: Poids de la terre séchée à l'air.

P_{105°C} : Poids de la terre après séchage à l'étuve.

II.1.2. 2. Analyse granulométrique

- Dans un erlen, peser 20gde terre fine.
- Ajouter 50 ml d'eau oxygénée, et laisser agir toute une nuit, afin que toute la matière organique soit détruite.
- Ajouter 20 ml d'eau oxygénée, et mettre sur un bain de sables ou la haute, jusqu'à disparition de la mousse.
- Pour la dispersion des éléments argileux, on utilise 25ml de la solution de pyrophosphate de sodium (20g par litre d'eau distillée) si le sol est non calcaire. Si au contraire on a un sol calcaire, on utilise 50ml de la solution de Calgan (39,2g de métaphosphate de sodium NaPO₃+10g de carbonates de sodium Na₂CO₃ par litre d'eau distillée).
- Agitation mécanique pendant 2 heures.

- Verser la suspension dans un tamis de 0.05mm et rincer avec l'eau distillée, et récupérer la solution dans un bac qu'on va verser en suite dans un cylindre grâce à un entonnoir.
- Compléter la solution versée dans le cylindre avec de l'eau distillée jusqu'au trait de 1 litre.
- Mettre le sable restant sur le tamis de 0.05mm dans un creuset à poids connu, et mettre à l'étuve à 105°C/ 15heures.
- Pour la fraction <0.05mm, on agite le cylindre et on fait le prélèvement au milieu grâce à la pipette de Robinson.
- Pour la fraction de <0.02mm, on agite le cylindre, et on laisse reposer pendant 4min et 40 secondes, en suite on prend un prélèvement à 10cm grâce à la pipette de Robinson
- Pour la fraction <0.002mm, on agite le cylindre, et on laisse reposer pendant 4heures et 39 minutes, ensuite on prend un prélèvement à 6cm grâce à la pipette de Robinson.
- Les prélèvements sont mis dans des creusets à poids connus, puis ils sont séchés à l'étuve à 105°C/15heures.
- Après avoir ressortit ou sles échantillons de l'étuve, on les laisse refroidir dans un dessiccateur, et on les pèse. On pèse également l'échantillon de sable, puis on le tamise à 0.2mm, et on pèse le sable grossier qui reste dans le tamis, et le sable fin qui est passé à travers les mailles du tamis.
- Faire les calculs et déterminer la texture du sol grâce au triangle des textures.

- **Calculs**

(1) = Argiles +sels solubles = [(sol sec de 6cm + tare)- tare].100

(2) = LF +A +sels solubles=[(sol sec de 10cm + tare)-tare].100

(3) = LG + LF +A+SS = [(sol sec du milieu + tare)-tare].100

(4) = Sables = (sable +tare)- tare

Sable grossier= (sable grossier+ tare)- tare

Sable fin= sable(4) – sable grossier

Limon grossier=(3)–(2)

Limon fin=(2)– (1)

Argile =(1)– sels solubles (2,5g Calgon ou 0,5g pyrophosphate de sodium).

On calcule la somme(S) et contrôle si on retrouve les 20g de terre avec lesquelles on a travaillé. Calculer les pourcentages en multipliant tous les résultats par 100/20.

II.1.3. Mesure du pH**pH eau**

- Peser 20g de terre fine dans un bécher de 250ml
- Ajouter 100ml d'eau distillée au sol.
- Agiter pendant 5min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Allumer le pH mètre et faire l'étalonnage.
- Mettre l'électrode du pH mètre au contact du surnageant de la solution.
- Lire la valeur obtenue.

pH KCl

- Dans la même solution précédente, ajouter 50ml de KCl (0,1g par litre d'eau distillée).
- Agiter pendant 5min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Mettre l'électrode du pH mètre au contact du surnageant de la solution.
- Lire la valeur obtenue.
- Rincer l'électrode du pH mètre avec de l'eau distillée avant et après chaque utilisation et essuyer avec du papier Joseph.

II.1.4. Mesure de la conductivité électrique

- Peser 10g de sol dans un bécher de 100ml.
- Ajouter 50ml d'eau distillée.
- Agiter pendant 5min.
- Laisser reposer pendant 30 minutes.
- Allumer le conductimètre, et rincer l'électrode par l'eau distillée et essuyer par du papier Joseph.
- Mettre l'électrode dans le surnageant de la solution, et lire la valeur affichée.

II.1.5. Mesure du calcaire total

- Peser 1g de terre fine dans un erlen de 250ml.
- Tenir l'appendice latéral à l'aide d'une pince métallique, et la remplir par l'HCl à 37% au 3/4.
- Sécher les parois de l'eren avec du papier Joseph pour éviter le contact HCl-terre.
- Ouvrir l'ampoule du calcimètre et ajuster le niveau du calcimètre à zéro.

- Relier l'eren au calcimètre, en prenant soin de bien fermer l'ouverture.
- Lire le volume du CO₂ dégagé (V₀).
- Répandre l'acide sur la terre, et lire le niveau du volume de CO₂ dégagé sur le calcimètre. (V₁).
- Pour le témoin, on remplace la terre par 0,3g de CaCO₃ et on lit le volume V₀ lorsqu'on relie l'eren avec le calcimètre, et le V₁ a près le contact du HCl avec le CaCO₃.

- **Calculs**

$$CaCO_3 \% = \frac{V_{sxm_{CaCO_3}}}{V_{txm_{sol}}} \times 100$$

msol = 1g

m_{CaCO3} = 0.3g

V_s = V_{1sol} - V_{0sol}

V_t = V_{1témoin} - V_{0témoin}

V₀ = Volume initial

V₁ = Volume lu

II.1.6. 6. Dosage du calcaire actif

Le dosage du calcaire actif ne s'effectue que pour les échantillons ayant 5% ou plus de calcaire total.

- Peser 1g de terre fine dans un erlen de 250ml.
- Ajouter 100ml de la solution d'oxalate d'ammonium (14,2g par litre d'eau distillée).
- Agitation mécanique pendant 2 heures.
- Filtrer 2 fois à l'aide de papiers filtres.
- Récupérer 20ml du filtré, et mettre dans un bécher de 250ml.
- Ajouter 100ml d'eau distillée.
- Ajouter 5ml d'acide sulfurique.
- Chauffer la solution à 60°C.
- Titrer par la solution de permanganate de potassium KMnO₄ (6,32 g par litre d'eau distillée), jusqu'à coloration rose persistante.
- Pour le témoin, on suit les mêmes étapes mais sans ajouter l'échantillon de terre.

- **Calculs**

$$CaCO_{3\text{actif}} \% = 5. (N-n)$$

N: nombre de ml de KMnO_4 utilisés pour le témoin.

n: nombre de ml de KMnO_4 utilisés pour l'échantillon de terre fine.

II.1.7. Dosage du carbone organique

- Dans un erlen à col rodé, peser 1g de terre fine.
- Ajouter 10ml de solution de bichromate de potassium (8g par 100ml d'eau distillée).
- Ajouter 15ml d'acide sulfurique.
- Relier l'ouverture de l'erlen au réfrigérant, en s'assurant de bien la fermer.
- Allumer l'appareil.
- Chauffer grâce à un agitateur chauffant
- Lorsque la solution commence à bouillir, on compte 5 minutes, en suite on éteint l'appareil et l'agitateur chauffant et on laisse l'erlen refroidir.
- Détacher l'erlen du réfrigérant.
- Mettre la solution dans une fiole jaugée de 250ml, et compléter avec l'eau distillée jusqu'à 250ml.
- Agiter la fiole 10 fois.
- Laisser reposer 30min.
- Avec une pipette graduée, prélever 50ml du surnageant, et mettre dans un bécher de 250ml.
- Ajouter 1,5 ml d'acide phosphorique H_3PO_4 , et 3 gouttes de l'indicateur de couleur diphénylamine baryumsulfonates (0,5g dans 100ml acide sulfurique + 20ml eau distillée et garder dans un flacon brun).
- Titrer par la solution de sel de mohr (78,4278g dans 20ml acide sulfurique H_2SO_4 et compléter à 1 litre par l'eau distillée), la solution brune au départ, deviendra bleu foncée, puis il y'aura rapidement un virage de couleur au vert foncé.
- Lire le nombre de ml de la solution de sel de mohr utilisé.
- Pour le témoin, on suit les mêmes étapes, sans ajouter l'échantillon de terre fine.

- **Calculs**

Le calcul se fait par l'équation suivante :

$$C\% = (V' - V) \times 0,3$$

V': quantité en ml de la solution de sel mohr utilisée pour le témoin.

V: quantité en ml de la solution de sel mohr utilisée pour les échantillons de terre.

Pour calculer la teneur en matière organique du sol (MO%, ou g/100g de sol sec), la teneur en carbone du sol (C%, ou g /100g de sol sec) est multipliée par un coefficient de valeur 1,72 (VAN DEKERCHOVE et al, 2006).

$$\text{Matière organique}\% = C \% \times 1,72$$

II.1.8. 8. Dosage de l'azote total

Digestion: (minéralisation de l'azote)

- Introduire 10g de sol broyé et tamisé à 0,2mm dans un matras.
- Ajouter 20ml d'eau distillée.
- Agiter, puis laisser réagir pendant 20 minutes.
- Ajouter 10, 25g de mélange catalyseur (Sulfate de potassium 5g, sulfate de cuivre 5g et sélénium 0,25g).
- Ajouter 20 à 30ml d'acide sulfurique pur, et mettre les matras au digesteur.
- Régler la température à 400°C pour une heure.
- Laisser refroidir (mais pas trop longtemps pour éviter que la solution se colle en bas des matras).
- Transvaser dans des fioles jaugées de 250ml et compléter jusqu'aurait par l'eau distillée.

Distillation

- Mettre 60ml de l'acide borique (2%) et 3 gouttes de l'indicateur mixte dans un erlen de 250ml.
- Bien agiter la solution de terre et prélever 20ml.
- Ajouter 20ml de NaOH(50%).
- Mettre le tout dans l'appareil de Kjeldahl (ampoule de distillation).
- Commencer à chauffer et distiller jusqu'à l'obtention de 100 à 150ml de distillat dans l'eren.
- Titrer par l'acide sulfurique jusqu'à obtention d'une couleur rose.
- Faire un témoin de la même façon mais sans la terre.

• Calculs

$$\%N = \frac{A}{A'} \times (T - B) \times N \times \frac{1,4}{S}$$

T : volume de l'acide sulfurique utilisé pour le dosage de l'échantillon.

B : volume de l'acide sulfurique utilisé pour le dosage du témoin.

A: volume de la fiole jaugée.

A' : volume prélevé de la fiole.

N: normalité de l'acide sulfurique.

S : poids de l'échantillon.

II.2. 2. Analyse microbiologique

II.2.1. Préparation des milieux de culture

La plupart des milieux de culture se présentent sous forme déshydratée, ce qui assure une composition constante, un stockage facile et une préparation simplifiée, tandis que d'autres doivent être préparés à partir de produits chimiques à des quantités bien étudiées.

- **Mode opératoire**

Lors de la reconstitution des milieux, la poudre est mélangée au volume d'eau préconisé, homogénéisée, puis dissoute totalement par chauffage grâce à un agitateur chauffant, le milieu est en suite distribué dans des flacons ou des tubes à essais en vue d'être stérilisé par autoclavage (15 minutes à 120°C).

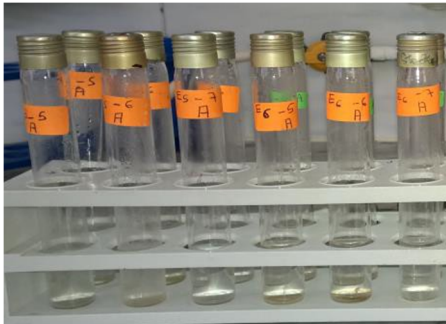


Photo N°18:milieu de culture liquide.



Photo N°19 : milieux de culture solides.

II.2.2. Préparation des suspensions dilutions

- **Mode opératoire**

Selon son origine, l'échantillon peut être utilisé directement ou nécessiter une dilution (**RENOUF et al, 2010**). Dans le cas d'échantillons solides, comme le sol, on doit passer par une étape de préparation de l'échantillon, ici on a pesé 1g de sol séché et broyé à 2mm de diamètre, et on l'a dissout dans un tube contenant 9ml d'eau distillée

stérile, on a mélangé la solution pour l'homogénéiser, on a obtenu la dilution 10^{-1} (qui est aussi considérée comme la solution mère). On a transféré par la suite grâce à une pipette graduée stérile, 1ml de la dilution 10^{-1} dans un tube contenant 9ml d'eau distillée stérile et on l'a bien agité pour l'homogénéiser, on a obtenu la dilution 10^{-2} . La même opération a été répétée jusqu'à être arrivé à la dilution 10^{-7} .

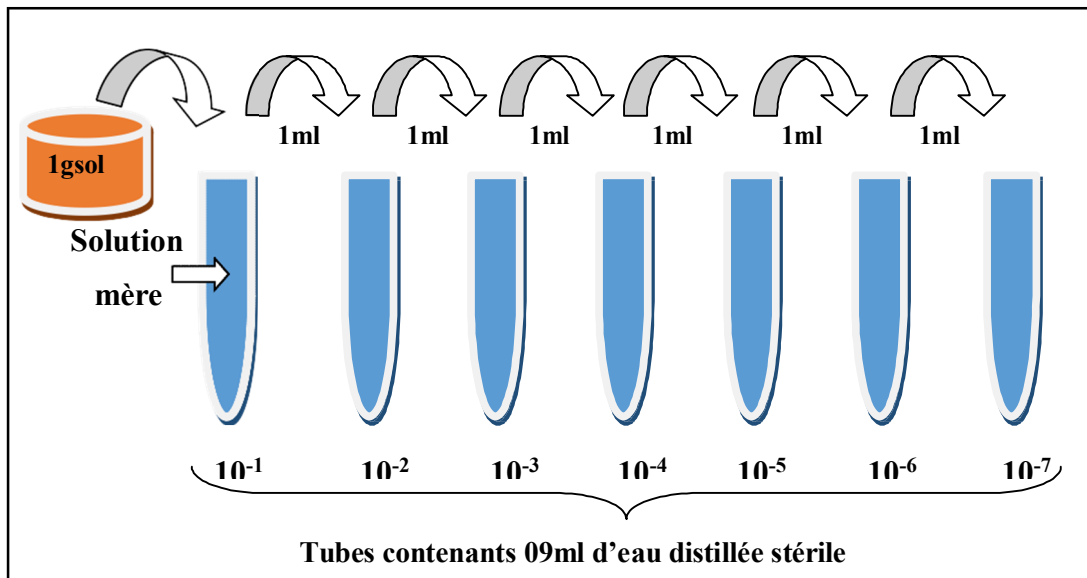


Figure N°25:Schéma de la préparation des suspensions dilutions.

II.2.3. Ensemencement

Une série de dilutions de 10^{-1} à 10^{-7} est préparée. Pour la même dilution, on refait plusieurs essais, pour avoir un nombre moyen et augmenter la précision du dénombrement.

- **Les bactéries aérobies**

La gélose nutritive est coulée dans la boîte de Pétri bien avant la manipulation afin que la surface soit bien sèche, et la gélose bien solidifiée. Puis 0,1ml de chaque dilution est étalée en surface, soit avec un étaleur en verre ou en plastique jetable (**RENOUF et al, 2010**). Dans notre cas, on a ensemencé la dilution 10^{-5} dans 03 boîtes de Pétri contenant le milieu gélosé destiné à la culture des bactéries aérobies.

- **Les Azotobacter, les champignons et les actinomycètes**

L'ensemencement est fait dans la profondeur de la gélose. Pour cela 1ml ou 0,1ml de chaque dilution est placé dans la boîte de Pétri vide. Puis le milieu gélosé liquéfié par chauffage jusque vers 40°C est coulé dans la boîte. (**RENOUF et al.2010**).

Dans notre cas, on a ensemencé 1ml de la dilution 10^{-5} en profondeur à raison de 3 boîtes par milieu de culture. Le tout est homogénéisé en effectuant des rotations en 8.

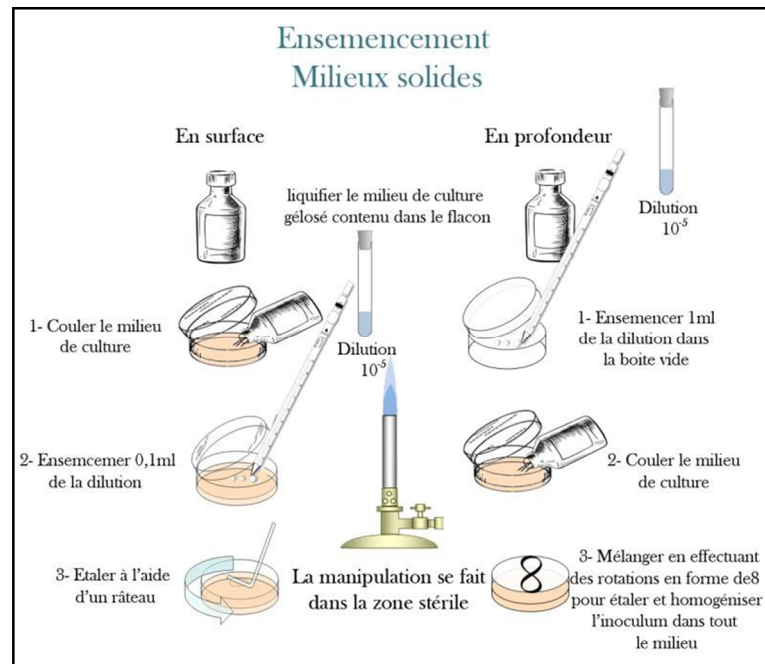


Figure N°26: techniques d'ensemencement sur les milieux solides.

- **Les ammonifiants, nitrifiants et dénitrifiants**

Ensemencer les tubes contenant 05ml des milieux de cultures liquides avec 01ml des dilutions 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} à raison de 3 tubes pour chaque dilution.

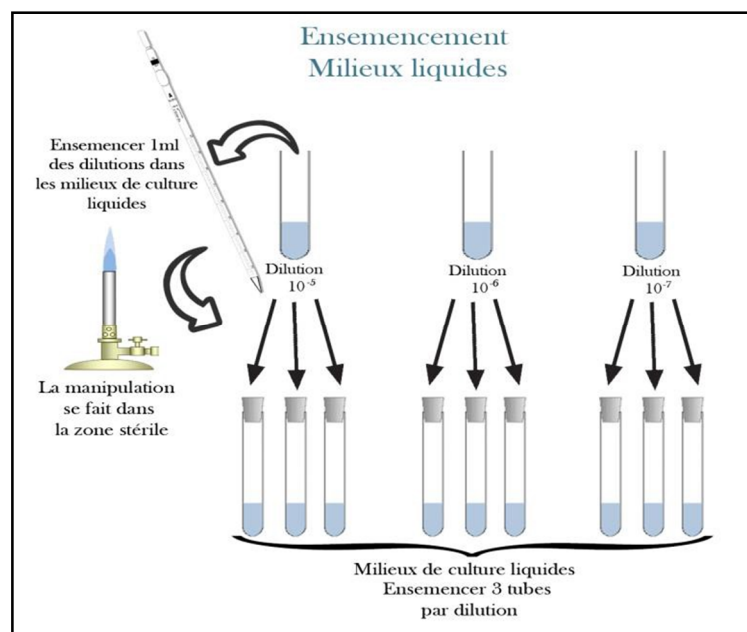


Figure N°27: technique d'ensemencement dans les milieux liquides.

II.2.4. Incubation

- **Les bactéries aérobies, les Azotobacter, les champignons et les actinomycètes**

L'incubation se fait à la température de 28°C pendant 7jours.

- **Ammonifiants, nitrifiants et dénitrifiants**

L'incubation se fait à la température de 28°C pendant 21jours.

II.2.5. 5. Lecture des résultats

II.2.5.1. Milieux solides

Le nombre de colonies développées dans une boîte de Pétri classique doit être compris entre 30 et 300 (**RENOUF et al. 2010**). Les boîtes ayant entre 30 et 300 colonies sont retenues, parce qu'elles sont considérées comme statistiquement significatives. S'il y'a moins de 30 colonies dans la boîte, de petites erreurs dans la technique de la dilution ou la présence de quelques impuretés auront un effet drastique sur le décompte final, de même, s'il y a plus de 300 colonies sur la boîte, il y aura une mauvaise isolation et les colonies poussent ensemble (**HARISHA, 2006**).

L'unité utilisée est l'unité formant une colonie (UFC):c'est une unité plus précise que l'unité bactéries /ml, car on compte le nombre d'unités qui forment des colonies, quelque fois, plusieurs bactéries côte à côte pouvant donner une même colonie. Il est donc plus exact de parler du nombre d'unités formant colonies que de nombre de bactéries.

$$UFC = \frac{N}{V_{inoculum}} \times F$$

UFC : Unité formant une colonie.

N:Nombre de colonies des boîtes retenues.

V_{inoculum}:Volume de l'inoculum.

F:Facteur de dilution.

II.2.5.2. Milieux liquides

La technique du nombre le plus probable (NPP) permet d'estimer la quantité d'organismes en utilisant des milieux de culture liquides spécifiques à ces organismes. Cette méthode consiste à faire croître une suspension de microorganismes à différentes dilutions et ce, en plusieurs répliquât pour chacune des concentrations. Suite à une incubation d'une durée donnée, les milieux sont testés a fin de vérifier la disparition d'un

Substrat ou l'apparition d'un produit. Une analyse statistique des résultats positifs et négatifs pour chaque dilution permet de déterminer le NPP des microorganismes ciblés (GILBERT, 2006). La lecture des résultats consiste à compter, pour chaque dilution, le nombre de tubes où l'on trouve une croissance. On admet que la présence d'un germe viable dans l'inoculum est nécessaire et suffisante pour qu'il y ait croissance. La détermination du nombre le plus probable de germes est alors déduit du nombre de tubes positifs trouvé pour quelques dilutions consécutives selon les tables de Mac Crady. (GOUIN, 1974).

- **Les ammonifiants**

L'apparition d'ammoniaque, telle qu'indiquée par le réactif de Nessler révèle la présence de germes ammonificateurs. (GOUIN, 1974). Il suffit de mettre quelques gouttes du réactif de Nessler dans le tube contenant le milieu de culture liquide, s'il y'a virage de couleur à l'orange, le résultat est positif, si au contraire il n'y'a pas de changement de couleur, le résultat est négatif.

- **Les nitrifiants et dénitrifiants**

Pour détecter la présence des germes nitrifiants et dénitrifiants, on chauffe les tubes au bec bunsen en les tenant grâce à une pince en bois, on ajoute une pincée de zinc en poudre et quelques gouttes de NaOH, on place le papier tournesol au-dessus de l'ouverture du tube à essai en contact avec le gaz dégagé, s'il y'a un virage de couleur du papier tournesol au bleu, le résultat est positif, si au contraire la couleur de meure rose, le résultat est négatif.

- **Calculs**

$$N = \frac{NPP}{V_{inoculum}} \times \text{facteur de dilution}$$

N: Nombre de microorganismes par ml

NPP : Le nombre le plus probable

$V_{inoculum}$: Volume de l'inoculum

Annexe III: Echelles d'interprétation des résultats

Tableau N°19 : Classes de la qualité des sols selon leur CE.

Classe	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$) 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 du rendement de la plupart 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

(DURAND, 1983)

Tableau N°20: Le pH du sol.

pH	<3,5	3,5–4,2	4,2 -5	5 -6,5	6,5 -7,5	7,5 -8,7	>8,7
Classe	Hyper acide	Très acide	Acide	Faiblement acide	Neutre	Basique	Très basique

(BAIZE, 2000)

Tableau N°21 : Le calcaire total.

CaCO ₃ total(%)	Sol
<5	Légèrement pourvu en CaCO ₃
5 à 10	Peu calcaire
10 à 25	Moyennement calcaire
25 à 50	Notablement calcaire
>50	Fortement calcaire

(ITA, 1977)

Tableau N°22 : La matière organique.

Taux de la matière organique(%)	Sol
<1	Très pauvre
1 à 2	Pauvre
2 à 4	Moyenne
>4	Riche

(ITA, 1977)

Tableau N°23 : L'azote total.

N total(%)	Sol
$\leq 0,5$	Sol très pauvre
$0,5 < \text{N total} \leq 1,0$	Sol pauvre
$1,0 < \text{N total} \leq 1,5$	Sol moyen
$> 1,5$	Sol bien pourvu

(HENIN, 1969 IN BEDJADJ, 2011)

Tableau N°24: Classement des sols en fonction de leur rapport C/N.

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

(CRA, 2011)

Tableau N°25: Table de Mac Grady.

3 tubes par dilution					
Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules
000	0.0	201	1.4	302	6.5
001	0.3	202	2.0	310	4.5
010	0.3	210	1.5	311	7.5
011	0.6	211	2.0	312	11.5
020	0.6	212	3.0	313	16.0
100	0.4	220	2.0	320	9.5
101	0.7	221	3.0	321	15.0
102	1.1	222	3.5	322	20.0
110	0.7	223	4.0	323	30.0
111	1.1	230	3.0	330	25.0
120	1.1	231	3.5	331	45.0
121	1.5	232	4.0	332	110.0
130	1.6	300	2.5	333	140.0
200	0.9	301	4.0		

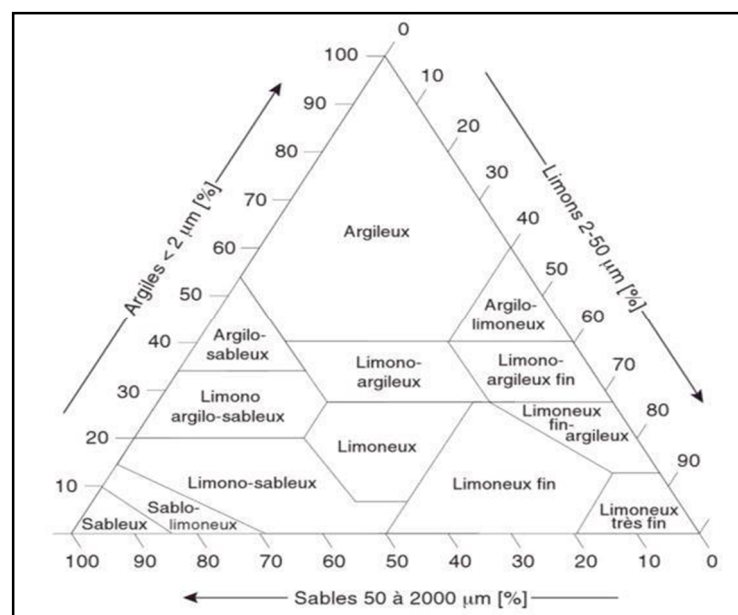


Figure N°28: Triangle des textures (GOBAT et al, 20)

