

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة الإخوة منتوري قسنطينة I
Frères Mentouri Constantine I University
Université Frères Mentouri Constantine I

Université Frères Mentouri Constantine 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Ecologie Végétale

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة
كلية علوم الطبيعة والحياة
قسم بيولوجيا وعلم البيئة النباتية

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Ecologie et Environnement
Spécialité : Ecologie Fondamentale et Appliquée

Intitulé :

Synthèse Actualisée sur l'effet des engrais chimiques et organiques utilisés en agriculture et leurs impacts sur l'environnement

Présenté par : HEDJAZI oussama faouzi
BENENEUMISSI Med Ouassim

Le 15/06/2022

Jury d'évaluation :

Encadreur : BAZRI Kamel-eddine (maître de conférences A - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 1 : TOUATI Laïd (maître de conférences A - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 2 : GANA Mohamed (maître de conférences B - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Année universitaire
2021 - 2022

Remerciements :

On tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidés lors de la rédaction de ce mémoire. On voudrait dans un premier temps remercier, notre directeur de mémoire BAZRI Kamel-Eddine, maître de conférences à l'université des frères Mentouri, Constantine1, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion. On remercie également toute l'équipe pédagogique de l'université de des frères Mentouri et les intervenants professionnels responsables de notre formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci et on voudrait exprimer notre reconnaissance envers les amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail particulièrement à :

Mes chers parents, qui ont consacré leur existence pour bâtir la mienne

Quoi que je dise Je ne saurais vous exprimer ma gratitude et ma reconnaissance.

A mes chers frères.

Puisse dieu vous donne la santé, le courage et la réussite

A mes amis et collègues : Pour leur compagnie et bons moments passés ensemble un grand merci.

BENENEUMISSI Med Ouassim

Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs soutiens et leurs prières tout au long de mes études,

A mon cher frère, iyed, pour son appui et son encouragement,

A ma mère pour son soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infallible.

Merci d'être toujours là pour moi.

HEDJAZI oussama faouzi

Sommaire

Liste des figures

Liste des tables

Introduction générale 1

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I. Les engrais 4

I.1. Définition des substances nutritives 4

I.2. Définition des engrais 5

I.3. La sources des engrais 5

I.4. Commercialisation des engrais 6

I.5. Importance des engrais 7

I.5.1. Importance d'épandage d'engrais 7

I.5.2. Types d'épandage 7

I.5.3. Types des engrais 8

Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds

II. Métaux lourds 11

II.1. Définition des métaux lourds 11

II.2. La spéciation des métaux dans les sols 12

II.3. Rôle des Métaux lourds 13

II.4. Origine de la contamination des sols par les métaux lourds 13

II.4.1. Origine naturelle 13

II.4.2. Origine anthropique 13

II.5. Mobilité et biodisponibilité des métaux lourds 14

II.5.1. Mobilité15

II.5.2. Biodisponibilité	15
II.5.3. Impact des caractéristiques physico-chimiques du sol sur la disponibilité des éléments mineurs.....	15
II.6. La phytotoxicité par des oligo-éléments	16
II.6.1. Effet des métaux lourds sur l'environnement	16
II.6.2. Effet des métaux lourds sur les plantes	17
II.7. Caractéristiques des métaux lourds.....	19
II.7.1. Le cuivre	19
II.7.1.1. Cuivre total dans le sol	19
II.8. Le zinc	20
II.8.1. Zinc total dans le sol	20
II.8.2. Solubilité du Zinc	20
 Chapitre 3 : Synthèse sur l'impact des engrais sur l'environnement	
III.1. III.1. Impacts des engrais chimiques	22
III.1.1. Impacts sur l'eau	22
III.1.2. Impact sur la faune	22
III.1.3. Impact sur l'air	23
III.1.4. Impact sur la flore	23
III.1.5. Impact sur le sol	25
III.2. Impact engrais organiques	26
III.2.1. Impact sur le sol	26
III.2.2. Impacts sur l'eau	29

Résumé :

L'agriculture intensive, par ses besoins élevés en éléments nutritifs, est l'une des causes de l'appauvrissement du sol aussi bien en nutriments qu'en matière organique. Pour combler cette perte et rétablir les paramètres du sol dans le but d'augmenter les rendements, les agriculteurs appliquent des amendements chimiques et/ou organiques, mais ceux-ci peuvent avoir aussi des impacts négatifs sur les trois compartiments du biotope et sur la biocénose ; ce qui a été prouvé par notre synthèse bibliographique actualisée dont les recherches n'encouragent pas souvent la fertilisation et particulièrement chimique, à cause de la pollution qu'elle pourra induire telle que la libération des métaux lourds. Quelque soit le type de fertilisant chimiques ou organique, les études montrent que la dose utilisée, le type de sol, ainsi que la méthode d'épandage doivent être pris en considération ; pour une agriculture fiable, le développement durable des sols, la qualité des aliments et la protection de notre environnement.

Mots clés : Développement durable des sols, fertilisation chimique, fertilisation organique, agriculture, rendement.

Abstract:

Intensive agriculture, with its high nutrient requirements, is one of the causes of soil depletion of both nutrients and organic matter. To make up for this loss and restore soil parameters in order to increase yields, farmers apply chemical and/or organic amendments, but these can also have negative impacts on the three compartments of the biotope and on the biocenosis; What has been proven by our updated bibliographic synthesis whose research does not often encourage fertilization and particularly chemical, Because of the pollution that it can induce such as the release of heavy metals. Whatever the type of chemical or organic fertilizer, studies show that the dose used, the type of soil, as well as the spreading method must be taken into account; for reliable agriculture, sustainable soil development, food quality and protection of our environment.

Keywords: Sustainable soil development, chemical fertilization, organic fertilization, agriculture, yield.

المخلص

الزراعة المكثفة، بمتطلباتها الغذائية العالية، هي أحد أسباب استنفاد التربة لكل من المغذيات والمواد العضوية. للتعويض عن هذه الخسارة واستعادة معايير التربة من أجل زيادة الغلات، يطبق المزارعون تعديلات كيميائية و / أو عضوية، ولكن يمكن أن يكون لها أيضاً آثار سلبية على الأجزاء الثلاثة للتنوع الحيوي وعلى التكاثر الحيوي. والتي تم إثباتها من خلال التوليف الببليوغرافي المحدث الذي لا تشجع أبحاثه في كثير من الأحيان الإخصاب وخاصة الإخصاب الكيميائي، بسبب التلوث الذي قد يسببه مثل إطلاق المعادن الثقيلة. مهما كان نوع السماد الكيميائي أو العضوي، تظهر الدراسات أنه يجب مراعاة الجرعة المستخدمة ونوع التربة وطريقة النثر؛ من أجل الزراعة الموثوقة، والتنمية المستدامة للتربة، وجودة الغذاء وحماية بيئتنا.

الكلمات المفتاحية: التنمية المستدامة للتربة، التسميد الكيميائي، التسميد العضوي، الزراعة، المحصول.

Liste des figures

Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds

Figure II-1	Origine des métaux lourds dans le sol (Source : Anonyme, 2001)	14
--------------------	---	-----------

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur les métaux lourds

Tableau I.1	Éléments nutritifs principaux et éléments nutritifs à l'état de traces, pour les plantes. (Source : Bliefert et Perraud, 1997)	04
Tableau II-2 :	Les valeurs de facteur de transfert de certains métaux lourds du sol vers les plantes. (Source : Bliefert et Perraud, 1997).	17

Introduction :

Chaque année, d'importantes quantités d'engrais et d'amendements minéraux ou organiques sont appliquées sur les sols afin d'accroître leur productivité. En revanche, la consommation continue à croître dans le Tiers-monde. Entre 1970 et 2000, l'usage des engrais a augmenté de 450% en Asie, de 200% en Amérique latine et de 100% en Afrique (Ramade, 2005). Mais certains engrais de ferme et certaines matières fertilisantes contiennent des teneurs relativement importantes d'élément trace métallique, leurs applications répétées, conduisent à une pollution des sols et la biomasse par les impuretés qu'il renferme. C'est le cas notamment des lisiers de porcs, Les engrais minéraux ou organiques, les fumiers de volailles et les boues d'épuration municipales. Et peuvent potentiellement modifier les charges et la distribution de ces métaux dans les différentes fractions des sols, affecter à long terme les caractéristiques physico-chimiques des sols récepteurs et perturber les équilibres sol- solution. (Giroux et al. 2005). Le sol recueille de nombreux produits issus de l'activité naturelle de la Terre (volcanisme) et de l'activité humaine (industrielle, agricole, domestique...). Parmi tous ces produits, certains métaux lourds sont indispensables à la vie du sol (cuivre, zinc), mais ce n'est pas le cas pour d'autres (plomb, mercure, cadmium). Tous sont toxiques à des doses plus ou moins élevées (Lamy et al., 2006). L'effet des engrais se manifeste d'une manière directe ou indirecte sur l'homme et l'environnement par des différents enjeux, parmi ces enjeux est **l'autosuffisance alimentaire** qui est la possibilité pour un pays de produire lui-même ses ressources alimentaires et ce, pour répondre aux besoins de sa population. Les pays développés ou les puissances mondiales ont recours à cette pratique pour assurer leur sécurité sur le plan alimentaire et leur croissance économique et par conséquent **minimiser les dettes d'importation** de cette dernière, et assurer **la sécurité alimentaire** qui est une notion couvrant les niveaux individuel, familial, national, régional et mondial lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active.

Pour que cette dernière soit réalisée elle est basée sur quatre dimensions : **La disponibilité** en quantités suffisantes de nourriture de nature et de qualité appropriée et cela dans toutes les portions du territoire national.

L'accès de toute personne aux ressources permettant d'acquérir les aliments nécessaires à un

régime alimentaire nourrissant.

La stabilité de l'accès à la nourriture, c'est-à-dire que l'accès à la nourriture de la population ne peut ne pas être mis en cause par un quelconque choc naturel ou économique.

L'utilisation appropriée de la nourriture favorisant un apport adéquat en nutriments et énergie dans un contexte où la consommation de cette nourriture est sans danger pour la santé (hygiène, eau potable, infrastructures sanitaires ou médicales) cela veut dire que quand on utilise des fertilisants quel que soit chimiques ou organiques qui ont des impacts négative sur la nourriture et les écosystèmes d'une manière général et les microorganismes du sol d'une manière plus spécifique ces conditions donc ne peuvent pas être respectées et donc toute la chaine de biodiversité est exposé a un risque fatal.

L'objectif de notre travail de synthèse bibliographique actualisée sur les études de recherche des effets des engrais chimiques et organiques utilisé en agriculture et leurs impacts sur l'environnement, notre étude se compose de trois chapitres qui abordent ce sujet. Le premier chapitre intitulé généralité sur les engrais qui contient des définitions et des informations sur les différents types de ces derniers.

Le deuxième chapitre généralité sur les métaux lourds qui composent les engrais et leurs rôles. Le troisième chapitre synthèse sur l'impact des engrais sur l'environnement qui contient des différentes recherches réalisées et leurs résultats et leurs impacts sur le sol, l'eau, l'air, la faune et la flore.

Chapitre I :

Synthèse

Bibliographique

I. Les engrais

I.1. Définition des substances nutritives

D'après (Bliefert et Perraud, 1997) ; Les substances nutritives sont des éléments ou des composés, que les organismes utilisent pour vivre ou se multiplier. Les substances nutritives des plantes peuvent être partagées entre les substances nutritives principales et des substances nutritives à l'état de traces ; en fonction des quantités liées à leurs besoins (Tableau I-1).

Tableau I-1 : Éléments nutritifs principaux et éléments nutritifs à l'état de traces, pour les plantes. (Source : Bliefert et Perraud, 1997)

Élément nutritifs	Forme les plus importantes Sous lesquelles ils sont absorbés
<p>Substances nutritive principales</p> <p>H H₂O</p> <p>C CO₂, HCO₃⁻ éléments nutritifs</p> <p>organiquesO O₂, CO₂</p> <p>N NO₃⁻, NH₄⁺ (NH₃, NO_x,NO_x3)</p> <p>P H₂PO₄ , HPO₄</p> <p>S SO₄ (SO₂)</p> <p>K K⁺</p> <p>Mg complexes de Mg²⁺, Mg²⁺</p> <p>Ca complexes de Ca²⁺, Ca²⁺</p>	<p><i>Éléments nutritifs organiquesO</i></p>
<p>Substances nutritives à l'état de traces H₂BO₃⁻, [B(OH)₄]⁻, H₃BO₃</p>	<p>Éléments nutritifs minérauxB</p>

Cl	Cl⁻ (HCl)	
Mn Mn²⁺	complexes de Mn²⁺,	
Fe Fe³⁺, Fe²⁺	complexes de Fe²⁺,	
Cu Cu²⁺	complexes de Cu²⁺,	
Zn Zn²⁺	complexes de Zn²⁺,	
Mo	MoO₄²⁺	

Lorsque l'un de ces 16 éléments essentiels manque aux plantes supérieures, des symptômes de malnutritions apparaissent.

Certaines plantes ont besoins d'éléments supplémentaires, qui sont parfois comptés dans les éléments nutritifs, par exemple : Na, Cl, Co, Si.

I.2. Définition des engrais :

On entend par engrais tous les composés minéraux et organiques qu'on ajoute au sol et qui sont destinés à être acheminés directement ou indirectement vers les plantes alimentaires (Bliefert et Perraud, 1997).

Les engrais tout produit contenant au moins 05% ou plus de l'un ou plus des trois principaux éléments nutritifs des plantes (N, P₂O₅, K₂O), fabriqué ou d'origine naturelle. Les engrais issus de fabrication industrielle sont appelés les engrais minéraux (Anonyme, 2003). Autrement dit, toute matière fertilisante organique ou minérale incorporée au sol pour en accroître ou enmaintenir la fertilité, apportant notamment aux végétaux les éléments qui leur sont directement utile (Mazoyer, 2002).

I.3. La sources des engrais :

- **Engrais organiques** : proviennent de la transformation de déchets végétaux ou animaux, et qui apportent sous des formes organiques/minérales tous les éléments majeurs, secondaires et oligo-éléments (mineurs) tels que : engrais de ferme, compost et boues.

-Engrais de fermes : lisiers, fumiers, purins, compost, bous (mixtes de papetières, stations d'épuration, matières résiduelles fertilisantes, engrais verts (cultures de couverture, intercalaires, etc.), Parfois commerciaux : « Acti-sol ».

Les engrais organiques appelés aussi engrais naturels sont issus de matière vivante (animale, végétale, fongique, bactérienne...) à différence des engrais minéraux ou chimique. Ce sont des engrais dérivés de matière animale, d'excréments d'animaux (fumier), d'excréments humains, et de matière végétale. Les engrais organiques naturels comprennent aussi les déchets des animaux, de la tourbe, du fumier, du lisier, ou encore du guano à condition de ne pas contenir de résidus phytotoxiques et de produits de synthèse, ils sont recherchés par l'agriculture biologique, en maraichage notamment et en céréaliculture. En revanche, la majorité des engrais utilisés dans l'agriculture industrielle et commerciale sont aujourd'hui minéraux tel que le phosphate ou issu de la chimie industrielle tel que l'ammoniac).

- Engrais minéraux : Ils ont pour origine des roches éruptives, sédimentaires ou salines, ou qui sont obtenus par synthèses ou transformations industrielles. Il existe différents types tels que les engrais azotés (urée, nitrate d'ammonium calcique, sulfate d'ammonium, solution), phosphatés (phosphate mono ammoniacal, Di Ammoniaque Phosphate, superphosphate triple, phosphate de roche), engrais potassique (muriate de potasse) et les engrais mixtes (sul-po-mag, sur prescription) Les particules d'engrais peuvent avoir des formes et des dimensions différentes selon le procédé utilisé lors de leur fabrication : granules, pastilles, cristaux, poudres grossières ou fines (Anonyme, 2003).

I.4. Commercialisation des engrais :

D'après (Bliefert et Perraud, 1997) On appelle en particulier engrais commerciaux ceux qui sont issus de fabriques ou de mines ; dans le langage courant, on utilise la notion d'engrais artificiels pour la plupart des engrais commerciaux minéraux. Parmi eux on peut répertorier les engrais azotés, phosphaté, potassiques, ceux contenant du magnésium ou du calcium. Ils contiennent deux ou trois composés nutritifs et, en plus des éléments traces (oligo-éléments).

On parle par exemple d'engrais NPK si les éléments N, P et K sont contenus sous la forme de composés directement utilisables par les plantes. Les composés comme les nitrates de calcium ou de sodium facilement solubles dans l'eau ont une action particulièrement rapide.

Par exemple en France et pour que les engrais entre en commercialisation, trois voies sont possibles pour la mise sur le marché français d'un engrais qui doit disposer d'une autorisation provisoire de vente (A.P.V.) ou d'importation délivrée pour une période donnée, soit être homologué, soit être normalisé ou conforme au règlement européen (CE) n° 2003/2003 (Albert DAUJAT *et al.*, 2003).

I.5. Importance des engrais :

D'après (Anonyme, 2003) les engrais permettent d'augmenter la production, améliorer la qualité des cultures vivrières et celle des cultures de rente, améliorer la fertilité des sols et apportent aux plantes cultivées les éléments nutritifs dont elles ont besoin.

I.1.5.1. Importance d'épandage d'engrais :

Par épandage des engrais on entend l'apport de substances nutritives dans le sol, pour compenser la consommation de ces substances lors des récoltes, pour maintenir ou augmenter la fertilité des sols, pour favoriser leur croissance et aussi l'épandage d'engrais est nécessaire afin d'augmenter le rendement ou améliorer la qualité des récoltes, pour nourrir la population du monde, en forte croissance (Bliefert et Perraud, 1997).

I.1.5.2. Types d'épandage :

Selon (Bliefert et Perraud, 1997) l'épandage des engrais peut être différencié entre :

- **L'épandage organique** : utilisation de fumier, de lisier, de purin, de résidus de récoltes comme la paille ou les feuilles, de compost, de boues d'épuration, etc.
- **L'épandage minéral** : utilisation de composés contenant de l'ammonium, des phosphates, du calcaire et autres.
- **L'épandage d'engrais verts** : ajout de plantes vertes par les engrais agricoles et utilisation de compost de résidus de plantes.

I.6. Types des engrais :

A. Suivant leur nature : Ils sont classés d'après Mazoyer, 2002 comme suit :

- **Les engrais simples :** qui ne possèdent qu'un seul des éléments fertilisants majeurs, sont représentés principalement par les engrais azotés, les engrais phosphatés et les engrais potassiques.

- **Les engrais composés :** qui en contiennent au moins deux éléments fertilisants majeurs. Selon (Anonyme, 2003) Ceux qui en contiennent deux ou trois sont appelés engrais binaires (02 éléments) ou ternaires (03 éléments).

D'une manière générale, on peut distinguer trois catégories d'engrais binaires ou ternaires :

- **Les engrais complexes :** produits par des méthodes faisant intervenir une réaction chimique entre la matière première contenant plusieurs éléments nutritifs choisis (chaque granule contient le même ratio d'éléments fertilisants déclaré sur l'étiquette).

- **Les engrais composés granulés :** consistent en une granulation après un mélange à sec d'engrais simple. Les granules résultant de ce mélange contiennent des teneurs différentes en éléments nutritifs.

- **Les engrais mélangés :** engrais contenant plusieurs éléments nutritifs, obtenus par mélange physique de matières premières. (Le mélange peut ne pas être homogène s'il n'est pas fait avec un grand soin). Ces types d'engrais peuvent aussi contenir des éléments minéraux secondaires et des oligo-éléments.

B. Soit d'après leur origine et leur forme : On distingue alors :

Les engrais organiques, qui proviennent de la transformation de déchets végétaux et surtout animaux et qui apportent, sous forme organique ; les éléments minéraux majeurs, secondaires et la plupart des oligo-éléments.

C. Les engrais minéraux : qui ont pour origine des roches éruptives, sédimentaires, qui sont obtenus par synthèse ou transformations industrielle.

D. Autre type d'engrais organiques :

Les engrais organiques sont le plus souvent d'origine animale et/ou végétale. Ils peuvent aussi être synthétisés, comme l'urée.

Les premiers sont de nos jours typiquement des déchets industriels, tels que des déchets d'abattoir : sang desséché, corne torréfiée, déchets de poissons, boues d'épuration des eaux. Ils sont

intéressants pour leur apport en azote à décomposition relativement lente, et pour leur action favorisant la multiplication rapide de la microflore du sol, mais n'enrichissent guère le sol en humus stable.

D'autres sont issus de déchets végétaux : biodéchets végétaux, résidus verts, compostés ou pas, et ils peuvent être constitués aussi de plantes spécialement cultivées comme engrais vert (ou préparées dans ce but, comme le purin d'ortie), ou des produits à base d'algues.

Ce sont aussi des sous-produits de l'élevage, tels que les fumiers, composés pour la plupart de litière végétale et de déjections ; celles-ci ne sont pas principalement des matières animales, mais des végétaux plus ou moins digérés : lisier, fientes, etc.

Le principe de l'engrais vert reprend la pratique ancestrale d'enfouissement de mauvaises herbes. Elle s'appuie sur une culture intermédiaire ou dérobé, enfouie sur place. Quand il s'agit de légumineuses, telles que la luzerne ou le trèfle, on obtient, en plus, un enrichissement du sol en azote assimilable, car leur système racinaire associe des bactéries, du genre *Rhizobium*, capables de fixer l'azote atmosphérique. Pour rendre cette technique plus efficace, on sème les graines avec la bactérie préalablement associée.

- La litière de volaille

L'activité avicole produit de grandes quantités de litière de volaille qui sont généralement appliqués sur les terres cultivées. L'application de la litière de volaille en terres cultivées peut augmenter la mobilité des métaux, car les ligands organiques solubles dans la litière de volaille peuvent former des complexes solubles dans l'eau avec des métaux.

Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds

II. Métaux lourds :

II.1. Définition des métaux lourds :

D'après (Baker et Walker in Huynh, 2009). Le terme métaux lourds, « heavy metal », implique aussi une notion de toxicité. Le terme « éléments traces métalliques » est aussi utilisé pour décrire ces mêmes éléments, car ils se retrouvent souvent en très faible quantité dans l'environnement. (Stengel et Gelin, 1998) Ces éléments traces peuvent donc être des métaux (ex : Cd, Cs, Cu, Ni, Pb, Zn...) ou des éléments non métalliques (ex : F, Cl, B, I...). Leurs propriétés de toxicité expliquent ainsi la connotation négative du terme « métal lourd ». Ils peuvent se trouver dans l'air, dans l'eau et dans le sol (Bliefert et Perraud, 1997). Selon (Anfossi et *al.* 1997) Les définitions des métaux lourds sont multiples et dépendent du contexte dans lequel on se situe ainsi que de l'objectif de l'étude à réaliser.

- D'un point de vue purement scientifique et technique, les métaux lourds peuvent être également définis comme : métal ayant une densité supérieure à 5, tout métal ayant un numéro atomique élevé, en général supérieur à celui du Sodium ($Z=11$), tout métal pouvant être toxique pour les systèmes biologiques. Le géologue, par exemple, considérera comme métal lourd tout métal réagissant avec l'apyrimidine (C_6H_5N).
- Dans les sciences environnementales, les métaux lourds associés aux notions de pollution et de toxicité.
- De point de vue biologique, on en distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : Les métaux essentiels et les métaux toxiques (Loué in Huynh, 2009). Conventionnellement, les éléments traces sont les 68 éléments chimiques naturels, la concentration moyenne dans la croûte terrestre pour chacun d'entre eux, inférieur à 0,1 pour mille. Ils ne représentent à eux tous que 0,6% du total, alors que les 12 éléments majeurs interviennent par 99,4% (Baize, 2000).

Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds

II.2. La spéciation des métaux dans les sols :

D'après (Deneux-Mustin et *al.*, 2003) Les éléments sont rarement présents à l'état libre dans la solution du sol, qui contient de nombreux ligands inorganiques et organiques d'origine naturelle ou anthropique pouvant former des complexes. De ce fait, les éléments solubles subissent des transformations chimiques qui dépendent de leur réactivité propre, de la forme sous laquelle ils sont introduits et, des propriétés physico-chimiques du sol. Il convient d'envisager aussi les processus biologiques (essentiellement microbiens) qui catalysent, orientent et contrôlent la plupart des processus physicochimiques dans les sols.

Les métaux qui arrivent au sol peuvent être distribués entre les différents compartiments du sol (dissous et solides) (Le coz et *al.*, 1996) :

- Adsorbés à la surface des minéraux argileux, oxydes de fer et manganèse, et à la matière organique.
- Présents dans le réseau des minéraux secondaires comme carbonates et sulfates.
- Occlus dans des matériaux amorphes comme les oxyhydroxydes de fer et manganèse, sulfures de fer et débris organiques.
- Présents dans les réseaux des minéraux primaires.

Dans les sols, les éléments peuvent être présents sous différents statuts chimiques : forme ionique hydratée, forme complexée avec les ligands organiques ou inorganiques (Deneux- Mustin et *al.*, 2003).

Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds

II.3. Rôle des Métaux lourds :

Les métaux présents dans l'eau et l'environnement terrestre sont des éléments nécessaires au fonctionnement normal des plantes et des animaux. Ils jouent un rôle important dans (Verbanck in Guemaz, 2006) :

- La transformation de la matière, principalement dans les mécanismes enzymatiques.
- Aussi (Stengel et Gelin, 1998) du fait de leur toxicité, ils sont également employés, ou l'ont été, pour la protection des cultures (pesticides), dans des peintures de coques de bateaux, etc.

II.4. Origine de la contamination des sols par les métaux lourds :

D'après (Robert et Juste in Huynh, 2009) Leur présence dans les sols peut être naturelle ou anthropogénique (voir la Figure 1).

II.4.1. Origine naturelle :

Les métaux lourds sont présents naturellement dans les roches, ils sont libérés lors de l'altération de celles-ci pour constituer le fond géochimique (Bourrelier et Berthelin in Huynh, 2009). La concentration naturelle de ces métaux lourds dans les sols varie selon la nature de la roche, sa localisation et son âge. (Baize ,2000) Ce fond pédo-géochimiques local résulte des phénomènes naturels géologiques, pédogénétiques et autres.

II.4.2. Origine anthropique :

La source majeure de contamination est d'origine anthropique. Au cours des décennies dernières, l'apport de métaux lourds au sol dans le monde s'est étendu ; à l'heure actuelle on l'estime à 22000 tonnes de cadmium, 939000 tonnes de cuivre, 783000 tonnes de plomb, et 1350000 tonnes de zinc (Singh et *al.* in Huynh, 2009). Les principaux types de pollutions anthropiques responsables de l'augmentation des flux de métaux, sont la pollution atmosphérique (rejets urbains et industriels), la pollution liée aux activités agricoles et la pollution industrielle (Baize in Huynh, 2009).

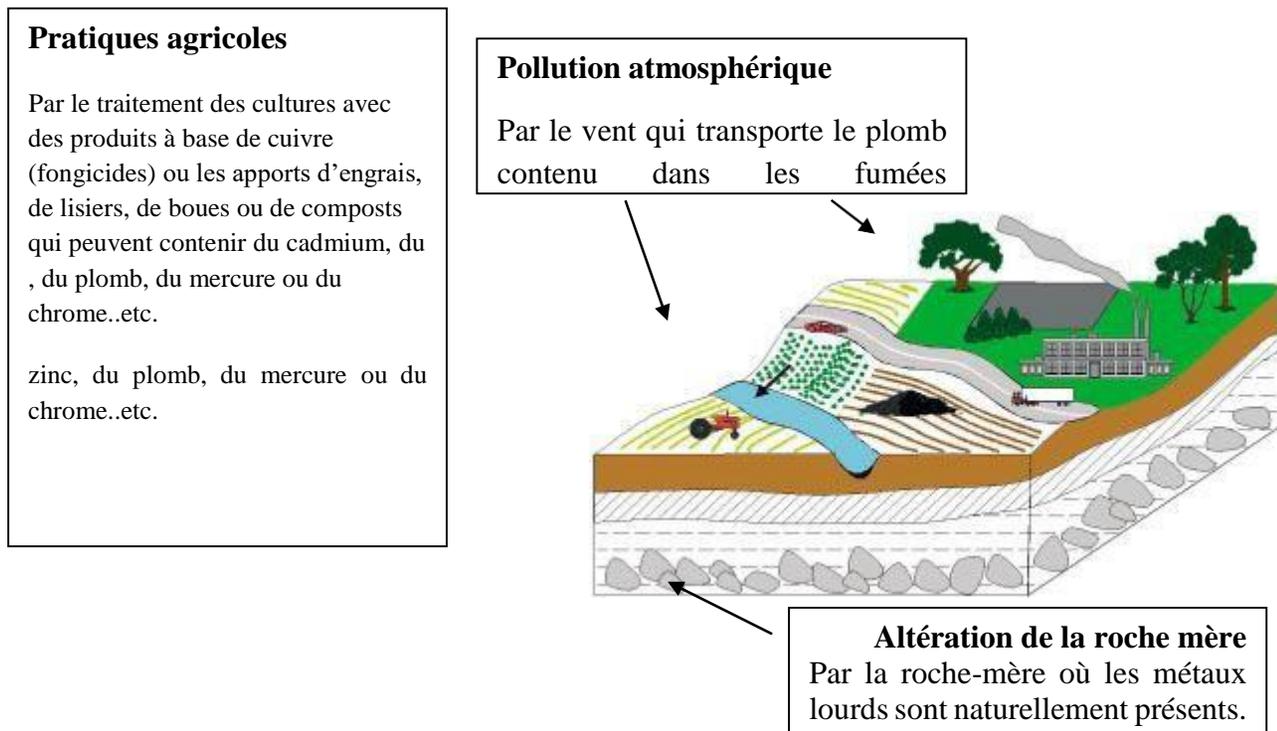


Figure II-1 : Origine des métaux lourds dans le sol (Source : Anonyme, 2001)

II.5. Mobilité et biodisponibilité des métaux lourds :

Le sol est une matrice complexe qui exerce un effet tampon important sur les équilibres entre les éléments traces métalliques du sol et ceux en solution. Il est important que le sol conserve cette capacité régulatrice, qui protégé la chaîne alimentaire des risques de contamination. Ce sont principalement la matière organique et l'argile qui permettent au sol de régulariser la mobilité et la biodisponibilité des éléments traces métalliques (Giroux et *al.* 2005).

Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds

II.5.1. Mobilité :

Le terme mobilité c'est l'aptitude d'un élément à passer d'un compartiment du sol où il est retenu avec une certaine énergie dans un autre, où il est retenu avec une moindre énergie (Baize, 2000).

II.5.2. Biodisponibilité :

Le terme biodisponibilité c'est l'aptitude d'un élément à passer d'un compartiment quelconque du sol dans un être vivant (bactérie, végétal, animal, homme) (Baize, 2000).

II.5.3. Impact des caractéristiques physico-chimiques du sol sur la disponibilité des éléments mineurs :

La plupart des composés organiques et minéraux du sol (argile, oxydes, matières organiques) possède des charges positives ou négatives de surface qui peuvent jouer un rôle dans l'échange et l'adsorption d'ions ou de molécules organiques (Deneux-Mustin et *al.*, 2003).

Selon (Tran et *al.*, 1995) Pour les éléments mineurs, leur disponibilité potentielle dépend des types de sols et particulièrement leurs caractéristiques physico-chimiques. (Deneux-Mustin et *al.*, 2003) Les facteurs les plus importants sont :

A. Influence du pH : De façon très générale, lorsque les éléments sont chimiquement stables sous forme de cations, leur solubilité diminue lorsque le pH augmente. Les variations de pH induisent aussi la formation de phases solides précipitées (hydroxydes et oxyhydroxydes) qui d'une part, peuvent limiter la solubilité et la disponibilité des éléments, et d'autre part, servir par nucléation de processus à la formation d'espèces minérales plus stables immobilisant les éléments. Toutefois, l'amplitude des variations du pH est largement pondérée par la nature des constituants organiques ou minéraux du sol et des changements de régime hydriques ou thermiques imposés par le climat.

B. Influence du potentiel rédox : Les équilibres rédox interviennent aussi dans la mobilité des ions en solution dans le sol. Le potentiel d'oxydoréduction ou potentiel rédox permet de définir les conditions oxydo-réductrices du milieu et de préciser les espèces chimiques les plus probables. Les espèces oxydées existent en général pour des potentiels élevés alors que les faibles valeurs de potentiel rédox favorisent l'apparition des espèces réduites. Le potentiel rédox varie selon les sols et, pour un même sol, selon les conditions locales. Ses valeurs vont d'un maximum d'environ +600mV (conditions oxydantes) à un minimum d'environ -300mV (conditions très réductrices).

Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds

Pour un sol donné, le potentiel rédox du pH (il augmente quand le pH diminue), de la présence de substances organiques acides (les pluviollessivats peuvent diminuer temporairement le potentiel rédox), de l'hydromorphie (abaissement du potentiel rédox par diminution de la pression partielle en oxygène).

C. Influence des ligands minéraux et organiques : Dans les sols, la solubilité des éléments cationiques est limitée par la formation de sulfates, de phosphates, d'oxyhydroxydes et de carbonates en fonction du pH. L'aptitude à la complexation des éléments par des ligands organiques dépend de nombreux paramètres comme du rapport des concentrations ligand/métal, mais aussi du pH.

Les ligands organiques peuvent aussi modifier profondément la spéciation et la réactivité des cations. La complexation par des acides carboxyliques de faible masse moléculaire accroît généralement la mobilité d'éléments cationiques tels que les métaux.

II.6. La phytotoxicité par des oligo-éléments

D'après (Coïc et Coppenet, 1989) les phytotoxicités dues aux oligo-éléments peuvent être naturelles ou provoquées par l'homme. (Babich in Huynh, 2009) Cette toxicité dépend de sa spéciation (forme chimique) autant que des facteurs environnementaux.

Selon (Mijno, 2007) La présence simultanée de plusieurs métaux peut engendrer une toxicité supérieure à celle de chaque métal séparé. Par exemple, le zinc, le cadmium et le cuivre sont toxiques aux faibles pH et agissent en synergie pour inhiber la croissance des algues et affecter les poissons. (Au rousseau in Giroux et *al.* 2005) Actuellement, le phénomène d'accumulation des éléments traces métalliques dans les sols agricoles est observé principalement pour le cuivre et le zinc à cause de leurs teneurs élevées dans certains engrais de fermes et certaines matières résiduelles fertilisantes.

II.6.1. Effet des métaux lourds sur l'environnement :

La composition des sols qui détermine aussi la quantité des métaux lourds retenus. Les sols légers sont très peu pollués en métaux lourds : ces sols, ne contenant que de faibles quantités d'argiles et de composés humiques, ont un pouvoir d'adsorption faible vis-à-vis des métaux lourds. C'est la raison pour laquelle la pollution par les métaux lourds est plus élevée dans les sols lourds que dans les sols

Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds

légers (Bliefert et Perraud, 1997).

Sur l'environnement, il a un effet neurologique sur le comportement (méso-faune et macro-faune) ; il inhibe l'activité microbienne dans la décomposition de la matière organique. Le zinc n'a pas d'effet cancérigène par voie orale ou par inhalation. Dans l'environnement, le zinc perturbe l'écosystème forestier au niveau de la décomposition de la matière organique et du recyclage des nutriments (Mijno, 2007).

II.6.2. Effet des métaux lourds sur les plantes :

Les plantes, comme les invertébrés, réagissent de façon différente selon les variétés. Certaines sont peu ou pas tolérantes et meurent au contact des métaux lourds. D'autres ont des réactions de défense, et freinent l'absorption en sécrétant des acides qui vont augmenter le pH et par conséquent réduire la mobilité des éléments traces. D'autres enfin, sont tolérantes aux métaux, et même les accumulent, les concentrent (Gérard Miquel, 2001). En général, lorsque les teneurs en métaux lourds et autres polluants augmentent dans les sols, ces teneurs augmentent aussi dans les plantes. Le transfert des métaux lourds des sols aux plantes peut s'évaluer à l'aide de facteur de transfert F, défini comme le quotient de la concentration des métaux dans les plantes sur la concentration des métaux dans le sol (Bliefert et Perraud, 1997).

$$F = \frac{\text{Concentration du métal dans les plantes}}{\text{Concentration du métal dans les sols}}$$

Ce facteur ne donne qu'un ordre de grandeur pour décrire le transfert de certains métaux lourds du sol dans les plantes. Les valeurs de F se situent entre 0.001 et 10 (tableau 02).

Tableau II-2 : Les valeurs de facteur de transfert de certains métaux lourds du sol vers les plantes. (Source : Bliefert et Perraud, 1997).

Elément	Facteurs de transfert (F)	Mobilité des ions
Pb, Hg, Co, Cr	0.001...0.1	Faible
Ni, Cu	0.1...1.0	Modérée
Zn, Cd, Ti	1.0...10	Bonne

Chapitre II : Généralités sur les métaux lourds

Le transfert des métaux lourds du sol aux plantes diffère d'un métal à l'autre, aussi influencé par la nature du sol : lorsque la teneur en humus ou en argile est élevée, les métaux lourds restent plus solidement liés dans le sol, une valeur de pH élevée est responsable d'une augmentation de la concentration des métaux lourds dans le sol sous forme d'hydroxydes ou de complexes faiblement mobiles ; dans les deux cas, de petites quantités d'ions de métaux lourds se trouvent disponibles pour les racines

II. Caractéristiques des métaux lourds

II.7.1. Le cuivre

II.7.2.1. Cuivre total dans le sol

D'après (Loué, 1993) Les teneurs total variant de 3 à 100 ppm suivant les sols ayant reçude nombreux traitements anticryptogamiques à base de Cu. La teneur en Cu total d'un sol est reliée à celle de la roche mère. (Baize, 2000) et selon les auteurs. Les teneurs totales en cuivre inférieur ou égale à 7ppm entraînent des carences cupriqueset, en revanche, des toxicités apparaissent au-delà de 180 ppm (Coic et Coppenet in Baize, 2000).

- Les plantes sensibles et symptômes de carences en cuivre : Les céréales, sauf le seigle, sont très sensibles à la carence en cuivre ainsi que les petits pois et le trèfle violet. Les graminées fourragères, sur les sols les plus déficients, peuventexterioriser le symptôme du « bout blanc des plus jeunes feuilles » (Coic et Coppenet, 1989).
- Une carence légère affect d'abord les organes reproducteurs, une carence grave affecte tous les organes.
- Les arbres à pépins présentent des nécroses de la pointe et du bord des feuilles rappelant ainsi une carence en potasse. Les feuilles les plus jeunes tombent prématurément dans le courant de l'été laissant les extrémités des rameaux nues et desséchées, la croissance en hauteur est très perturbée.

II.8. Le zinc

II.8.1. Zinc total dans le sol

D'après (Loué, 1993) la teneur des sols en Zn total dépend beaucoup de celle de la rochemère et se situe entre 10 et 300ppm. (Baize, 2000) et selon les auteurs. Le zinc est présent le plus souvent sous forme de sulfure (blende) dans des filons hydrothermaux et des gites stratiformes imprégnant des roches sédimentaires où il se trouve associé au plomb, au fer, et au cuivre (association blende, pyrite, Galena, chalcopryrite). Le zinc peut être considéré comme très mobile. Les formes les plus mobiles du zinc seraient facilement adsorbées par les constituants organiques et minéraux des sols.

II.8.2. Solubilité du Zinc :

Le zinc diffère du cuivre du fait que son sulfure est plus soluble. La solubilité de Zn est particulièrement faible dans les sols à haut pH. La solubilité de Zn du sol et des minéraux Zn est maximale à pH 4 et beaucoup plus faible dans les conditions neutres et surtout alcalines. La solubilité de Zn dans les sols peut être améliorée par des engrais acidifiants (Loué, 1993). Des études avec $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ont montré qu'en présence de fortes concentrations SO_4^{2-} il y avait formation de ZnSO_4 particulièrement mobiles dans les sols et susceptible d'augmenter l'assimilabilité de Zn.

- **Mobilité du Zinc** : En comparaison de Cu, Zn est plus mobile. L'intensité de l'absorption de Zn tend à croître avec l'élévation du pH, et la mobilité de Zn se trouve nettement diminuée au-dessus de pH. La matière organique du sol forme des complexes très stables avec Zn et les acides fulviques et humiques sont très importants dans l'adsorption du zinc. Cependant, Zn est un des métaux lourds les plus mobiles (Loué, 1993).

- Les plantes sensibles et symptômes de carences en zinc. Le maïs et le lin sont les plantes annuelles, les plus sensibles à la carence en zinc. Chez les espèces ligneuses il faut citer le pommier, le poirier, la vigne...etc. avec un symptôme commun, la « maladie des rosettes ». Les entre-nœuds sont raccourcis, les feuilles sont petites, cassantes, à bord ondulé avec parfois des plages chlorotiques ; elles sont groupées en rosettes. Les feuilles sont petites et déformées (Coïc et Coppenet, 1989).

Chapitre 3 : Synthèse sur l'impact des engrais sur l'environnement

III.2. Impacts des engrais chimiques :

III.1.1. Impacts sur l'eau :

Une étude réalisée dans un cadre de modélisation pour quantifier les impacts humains et pour cloisonner les sources de la contamination liée à la qualité de l'eau dans le parc à usage mixte paysage d'une petite île volcanique tropicale. Ils ont déduit que l'utilisation de l'azote a conduit à la contamination des eaux souterraines et donc les sources d'eau potable. (Christopher K. Shuler¹ et Al, 2017) (Annexe 02).

III.1.2. Impact sur la faune :

D'après l'étude de Darriet et al. (2010), l'Influence des matières végétales et des engrais NPK sur la biologie d'*Aedes aegypti* (Diptera : Culicidae). Dans cette étude de laboratoire, les auteurs ont mesuré sur des femelles gravides d'*Aedes aegypti*, l'attractivité à la ponte de milieux aqueux contenant un engrais NPK, de la matière végétale (MV) et un mélange composé de MV+NPK. Le mélange MV+NPK a attiré les femelles à la ponte tout en assurant pleinement la croissance des larves d'*Ae. Aegypti*. Alors que les analyses physico-chimiques de NPK ont révélé une composition essentiellement minérale ($\text{NH}_4^{++}\text{NO}_3^- + \text{P} + \text{K}$) et celles de MV de fortes concentrations en carbone et en azote organiques, le mélange MV+NPK s'est distingué par une composition mixte organique et minérale qui a favorisé la prolifération des bactéries et le développement des larves de moustiques. (Voir Annexe 03).

III.1.3. Impact sur l'air :

D'après l'étude de Daniel Mika-NsimbiPoultney, (2021), l'effet de l'apport de produits résiduaux organiques sur le cycle biogéochimique de l'azote en culture de canne à sucre à la Réunion.

Les engrais azotés ont contribué de manière substantielle à la sécurité alimentaire et à la nutrition mondiales. Toutefois, l'azote qu'ils contiennent peut être accumulé en quantités excessives dans les écosystèmes ou dans l'atmosphère ; il entraîne alors des impacts environnementaux négatifs ; Un bilan complet des flux d'azote à l'échelle de l'agroécosystème a été établi pour chaque traitement fertilisant, et a montré des niveaux élevés de perte d'azote pour l'urée et le lisier de porc par volatilisation (36 % et 63 % respectivement), ainsi qu'un niveau élevé d'immobilisation pour les boues de STEU (70 % de l'azote apporté). Le recours à des engrais organiques en substitution partielle des engrais minéraux apparaît comme un bon moyen de nourrir les cultures et d'amender les sols, tout en limitant les pollutions environnementales.

III.1.4. Impact sur la flore :

Une étude menée par Jorge Sierra et Régis Tournebize (2019) sur la fixation symbiotique d'azote par les légumineuses en association en Guadeloupe, dont l'objectif de développer le système sylvopastoral est d'améliorer la valeur nutritionnelle des savanes comme source d'alimentation animale. Dans ce sens, la légumineuse est utilisée afin d'augmenter les teneurs en protéines et la qualité du fourrage. Le but de l'association bananier/Canavalia est de réduire l'utilisation des engrais azotés, lesquels sont partiellement remplacés par l'apport azoté de la légumineuse (Annexe 04).

Une autre étude réalisée par Anani et al, (2020) portant sur une analyse des impacts agroenvironnementaux et socioéconomiques des systèmes de culture d'ananas (*Ananas comosus L.*) au Sud-Togo. Les résultats de cette étude ont permis d'identifier 02 systèmes de culture d'ananas (biologique et conventionnel), et sont intrinsèquement liés par une diversité de pratiques agricoles comme les modes de fertilisation chimique ou organique, quantités d'apport d'engrais chimique, les systèmes de rotation et d'association culturale, les modes d'entretiens cultureux, le mode de traitement d'induction florale, les méthodes de lutte phytosanitaire, les pratiques de

préparation des sols. (Annexe 05). Ils ont obtenues des résultats qui ont montré des impacts négatifs des SCA (systèmes de culture d'ananas) selon les localités dus à l'utilisation des engrais chimiques, herbicides, brulis, mauvaise association de cultures à prédominance avec les céréales. Ces impacts sont à l'origine de la perturbation de la biodiversité avec la dégradation du couvert végétal, perte de fertilité des sols et la pollution des eaux.

Une autre étude a été conduite pendant deux campagnes agricoles sur un sol ferrallitique du Centre Cameroun en vue d'évaluer les effets combinés des feuilles de *Tithonia diversifolia* (FTd) et des engrais inorganiques (NPK et urée) sur les propriétés du sol et les rendements de maïs écrit et réalisé par F. Kaho et Al,(2011).

Les feuilles de *Tithonia* ont été incorporées dans le sol deux semaines avant les semis du maïs. Des analyses physico-chimiques ont été réalisées sur des échantillons de sol et de feuilles de *Tithonia diversifolia*. Des différences hautement significatives ($p= 0,006$ et $p< 0,000$ respectivement) ont été obtenues entre les traitements en première et deuxième campagne en ce qui concerne les rendements de maïs avec des rendements variant de 1,8 à 6,4 t.ha⁻¹. Aucune différence significative n'a été observée entre les traitements pour toutes les propriétés de sol testées. Cependant, la tendance générale de l'évolution de ces propriétés était à la hausse par rapport aux valeurs initiales sauf pour la teneur en sable, le pH et le phosphore. l'étude a montré que, *Tithonia diversifolia* dans les conditions de cet essai a été d'un grand potentiel pour l'amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs de sol et a pu fournir la quantité des nutriments nécessaires à la culture du maïs sans apport d'engrais inorganiques.

III.1.5. Impact sur le sol :

Un article publié en septembre 1986 par A. J. Haverkort & C. Rutayisire sur l'utilisation des engrais chimiques sous conditions tropicales. Des essais NPK ont été menés au Rwanda avec une variété précoce et une variété demi-tardive, sur trois types de sols (volcanique, alluvionnaire et latéritique), en saisons sèches et pluvieuses. Les augmentations de rendements, calibres, nombre de tiges et tubercules par plante sont représentés en fonction de doses de N (urée), P (triple phosphate) et K (chlorure de potasse).

Les engrais ont été plus efficaces sur les sols les plus pauvres et en saison de pluie. L'optimum pour N dépendait de la précocité de la variété et de la saison. Les engrais n'ont pas eu d'action sur le calibre, mais l'augmentation des rendements a surtout été influencée par le nombre de tubercules récoltés par plante.

Une autre recherche menée par Syuhada, et al. (2016). sur l'impact d'un amendement de biocharbon sur les propriétés chimiques du sol et l'absorption d'oligoéléments par le maïs sur un podzol sablonneux.

L'application de biocharbon agit positivement sur le sol, ce qui entraîne une hausse significative du rendement en matière sèche et de la hauteur du maïs. L'addition de biocharbon améliore significativement l'absorption du N et du K par le maïs, mais on ne peut en dire autant pour le Ca et le Mg. Néanmoins, la concentration de N, de Ca et de Mg dans les tissus de la plante demeure inférieure au minimum requise. Les résultats de l'expérience montrent que le biocharbon ne peut à lui seul fournir les oligoéléments dont le maïs a besoin pour croître de façon vigoureuse. Les recherches scientifiques ont montré que les engrais minéraux peuvent avoir de multiples effets sur le sol. L'étude menée par Haddad Azzedine (2011) montre que les engrais à base de Cu^{++} et Zn^{++} sont les plus utilisés ce qui augmentent le pourcentage des métaux lourds dans le sol (Annexe1).

III.3. Impact engrais organiques :

III.2.1. Impact sur le sol :

D'après Alexandra Maltas et al, (2012), les conséquences de l'utilisation de différentes formes d'engrais organiques (engrais-vert de moutarde, pailles de céréales, 35 et 70 t ha⁻¹ de fumier tous les 3 ans et 60 m³ ha⁻¹ de lisier tous les 3 ans) sont testées à Changins depuis 1976. Cette étude analyse leurs effets à long terme (34 ans) sur le rendement des cultures, le besoin en engrais azoté et le stock d'azote (N) minéral dans le sol. Lorsque le N est non limitant, les engrais organiques ont des effets contrastés sur le rendement en grains des cultures. L'année de l'apport organique et les années suivantes, le fumier et le lisier accroissent le rendement des cultures comparativement au témoin sans engrais organique alors que l'insertion d'engrais-vert et la restitution systématique des pailles de céréales le diminue. Cependant, en moyenne sur les 34 années d'essai, ces effets restent faibles. Par contre, lorsque l'azote est limitant, les engrais organiques ont tous un arrière-effet positif sur le rendement des cultures. L'effet direct (l'année de l'apport) des engrais organiques peut-être positif ou négatif. L'engrais vert non fertilisé accroît les besoins en engrais azoté l'année de sa destruction mais le réduit l'année suivante. Lorsqu'il est fertilisé avec 60 kg de N ha⁻¹, il diminue les besoins aussi bien l'année de sa destruction que l'année suivante. La valeur fertilisante des pailles de céréales est négligeable. Le fumier et le lisier réduisent les besoins en engrais N de manière significative les trois années qui suivent l'apport. Lorsque la valeur fertilisante des engrais de ferme n'est pas prise en compte, le stock d'azote minéral présent à la récolte est plus élevé dans les procédés avec engrais de ferme que dans le témoin sans engrais organique. (Voir annexe 06). Lorsque la fertilisation azotée est non limitante, les engrais organiques ont des effets contrastés sur le rendement en grains des cultures. L'année de l'apport et les années suivantes, l'apport d'engrais de ferme, fumier ou lisier, accroît le rendement (+0,4 à +2,2 % en moyenne), tandis que l'insertion d'engrais verts à base de moutarde et la restitution systématique des pailles de céréales le diminue (-3,6 et -4,7 % respectivement). Lorsque les cultures sont carencées en N, les engrais organiques ont tous un arrière-effet positif sur le rendement des cultures. Ceci serait dû à une meilleure offre en azote dans ces sols plus riches en MO.

L'engrais vert de moutarde non fertilisé en N accroît les besoins en engrais N de l'année de sa destruction (de 27 kg N ha⁻¹) et le réduit l'année suivante (de 7 kg N ha⁻¹). Lorsque l'engrais vert reçoit 60 kg de N ha⁻¹, les besoins des cultures suivantes diminuent l'année de sa destruction et l'année suivante (respectivement de 20 et 17 kg N ha⁻¹).

La valeur fertilisante des pailles de céréales est négligeable l'année de leur incorporation (-3 kg N ha⁻¹) comme l'année suivante (+3 kg N ha⁻¹). Le fumier et le lisier présentent des valeurs fertilisantes positives et non négligeables les trois années suivant l'apport. L'azote apporté par le fumier représente 16 % du N total apporté l'année de l'apport, 8 % un an plus tard et 5 % deux ans après. Pour le lisier, ces valeurs atteignent 37, 18 et 10 %. Le non prise en compte de ces valeurs fertilisantes dans le calcul de la fertilisation azotée accroît les stocks d'azote minéral du sol à la récolte et donc les risques de lixiviation.

Une autre étude sur l'utilisation des engrais verts et des rotations légumineuses-céréales comme solutions de remplacement pour l'amélioration de la productivité des sols et le rendement du mil et du sorgho au mali sur deux types de sols réalisés par Z. Kouyaté et A.S.R. Juob (1990-1995).

Sur le sol ferrugineux tropical lessivé, caractérisé par une texture sablo-limoneuse, le mode de travail du sol n'a eu aucune influence significative sur le rendement grainier, quelle que soit la céréale ou l'année. Par contre, la rotation niébé-céréale et l'enfouissement de *Sesbania rostrata* et de *Dolichos lablab* comme engrais verts ont eu des effets significatifs positifs sur les rendements grainiers du sorgho et du mil. Sur le sol hydromorphe minéral à tendance vertique, caractérisé par une texture limono-argileuse, le mode de travail du sol a eu un effet significatif positif sur le rendement grainier du sorgho en 1991, premier cycle de rotation à la faveur du billonnage cloisonné. En 1995, troisième cycle de rotation, la rotation niébé—sorgho et l'enfouissement de *S. rostrata* et de *D. lablab* comme engrais verts ont eu des effets positifs significatifs, entraînant une augmentation de plus de 40 % du rendement grainier du sorgho par rapport au témoin monoculture de sorgho. Ces résultats permettent d'être optimiste quant à l'utilisation de *S. rostrata* et de *D. lablab* comme engrais verts pour la sécurisation du rendement du sorgho.

D'après Romain, Mungangawa Muhwandju et al. (2017) dans leur journal intitulé : Effets des engrais verts sur le rendement du manioc à l'Est de la République Démocratique du Congo.

L'objectif de l'étude était d'évaluer Cinq espèces d'engrais verts comme jachère améliorée sur l'amélioration du rendement du manioc.

Le rendement a été plus significativement augmenté par le *Tithonia diversifolia* jusqu'à 343.02% pour la variété Mayombe par rapport au témoin, soit 44.17 t/ha contre 9.97 t/ha pour le témoin. Quant à la variété Sawasawa, le rendement a été aussi amélioré de l'ordre de 39.04%, soit 38.4 t/ha contre 7.83 t/ha pour le témoin. L'espèce Lablab a amélioré le rendement de l'ordre de 30.92% soit 40.80 t/ha pour la variété Mayombe contre 9.97 t/ha pour le témoin, quant à la variété Sawasawa, le rendement a été supérieur de 11.96% soit 17.2 t/ha contre 7.83 t/ha pour le témoin. Les autres espèces dont *Mucunapreta*, *Crotalaria grahamiana* et *Crotalaria ochroleuca*, ont amélioré le rendement de la variété Mayombe de l'ordre respectif de 137.7%, 129.3% et 62.7%. La variété Sawasawa, seul *Crotalaria grahamiana* a amélioré son rendement de l'ordre de 10.65% par rapport au témoin.

D'après Dr. Harilala Andriamaniraka (2016) sous le titre Le phosphore et la fertilisation phosphatée dans les sols ferrallitiques à Madagascar : Amélioration de la fertilité des sols Les résultats montrent que pour les ions phosphates dans la solution du sol, le niveau de concentration est très faible, au voisinage du seuil de détection (0,003 mg P L⁻¹) dans le système labour avec une fertilisation organique seulement. Pour le système SCV avec fertilisation mixte et dolomie, la concentration des ions phosphates en solution peut aller jusqu'à 0,024 mg P L⁻¹. Ces différences s'expliquent par la modification des propriétés physico-chimiques du sol suite aux apports des matières organiques par les couvertures du SCV, des engrais minéraux et de la dolomie. Quant à l'étude des différents types d'engrais biologiques phosphatés, ils ont pu voir que les cultures sur la parcelle témoin sans aucun apport donnent des rendements plus faibles, suivi par celles sur les parcelles témoin compost de déchet urbain. Les cultures issues des traitements d'engrais phosphatés Guanotsar et Guanobarren à dose plus faible donnent des rendements plus élevés. Les rendements obtenus sont inversement proportionnels à la dose d'engrais phosphatés apportée. L'association des engrais phosphatés avec le compost de déchet urbain augmente l'activité microbienne, par conséquent, la dose significativement forte d'engrais phosphaté diminue le rendement par l'immobilisation microbienne de P de l'engrais.

SCV : Système de culture sous couvert végétal.

III.2.2. Impacts sur l'eau :

D'après les recherches de BIAOU et al. (2017), sur l'effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota L.*) sur sol ferrallitique au sud Bénin, l'apport des différentes formes d'engrais organiques ainsi que les doses d'application ont eu des effets très hautement significatifs ($P < 0,001$) sur le pH (eau) ainsi que sur la teneur du sol en carbone organique, en phosphore assimilable et en calcium échangeable après la récolte. Le compost enrichi aux fientes de volailles a significativement contribué à l'augmentation du rendement de carottes comparativement au guano avec une moyenne globale de $24,24 \pm 1,34$ t/ha de carottes fraîches contre $18,93 \pm 1,68$ t/ha pour le guano. Le compost enrichi avec les fientes de volailles a induit des niveaux de rendements de carottes significativement élevés aux doses de 30 et 40 t/ha.

Le compost enrichi avec les fientes de volailles pourrait être recommandé pour la production de la carotte à la dose de 30 t/ha. En zone tropicale sèche, la mise en cultures des terres entraîne une diminution rapide du stock de matières organiques et l'apparition de carences en azote, phosphore et éléments divers (Yoni et al. 2005). La contrainte majeure de la production en Afrique sur les sols fragiles est le bas niveau de la fertilité de ces sols (Saïdou et al. 2009). (Annexe 07). L'apport du compost enrichi avec de la fiente de volailles a amélioré les propriétés chimiques du sol après la récolte de la carotte et, le rendement en carottes fraîches, ceci à la dose de 30 t/ha. Il a donc eu des effets positifs très marqués sur le système racinaire de la carotte. Le compost enrichi avec les déjections d'ovins n'a pas influencé significativement le rendement. L'apport du guano a également amélioré les teneurs du sol en phosphore assimilable et en calcium échangeable comparativement au niveau initial de fertilité du sol avant l'installation des essais. Les différentes doses du guano n'ont eu aucun effet significatif sur les paramètres mesurés. Toutefois, au vue des résultats obtenus, le compost enrichi avec les fientes de volailles pourrait être recommandé aux producteurs de carottes à la dose de 30 t/ha. Mais pour une efficacité de l'amendement organique, il est suggéré des apports fractionnés pour éviter les pertes de nutriments par lessivage.

Table d'annexes :

Annexe1 : Quelques produits phytosanitaires (fongicides) et les engrais à base de Cu⁺⁺ et Zn⁺⁺les plus utilisés dans la région de Biskra

Type de produit	Nom commercial	Matière active ou la composition
Complexe d'oligo-éléments	Tradecorp AZII (WG)	Fe: 5%, Mn: 3.5%, Cu: 1%, Zn: 2.48%, B:0.65%, Mo: 0.30%
Engrais NPK + Mgo+OE	Khirsol 13 42 10	N:13%, P ₂ O ₅ : 42%, K ₂ O: 10%, B:0.04%, Cu: 0.04%, Fe: 0.02%, Mn: 0.02%, Mo: 0.02%, Zn: 0.05%
Biostimulant	Ruter AA	N:5.5%, P ₂ O ₅ : 5%, K ₂ O: 3.5%, 15% de Matière organique, 7% d'acides aminés, Mn: 0.05%, Mo: 0.10%, Zn: 0.07%
(Source : http://www.profert-dz.com)		
Fongicide	Antracol	70% Propinèbe à base de Zn
(Source : http://www.bayercropscience.com)		
Engrais potassique	Aquafeed	K ₂ O: 40%, B:50ppm, Cu: 250ppm, Fe: 1000ppm, Mn: 500ppm, Mo: 10ppm, Zn: 500ppm
(Source : http://www.doudah.com)		

Mélange d'oligo-éléments	CODA-MIX	Fe: 6%, Mn: 2.6%, Cu: 0.2%, Zn: 0.6%, B:0.4%, Mo: 0.10%
(Source : http://www.codacorp.com)		
Engrais	Borozinc	13% B et 4.1% Zn
Fongicide	Curzate R	39.75% oxychlorure de cuivre 4.2% cymoxanil
Fongicide	Kocide 2000	35% de cuivre métal de l'hydroxyde de cuivre
(Source : http://www.aci-algerie.com)		

- Une autre étude a révélé l'amélioration de la mobilité des métaux et de lessivage par les amendements organiques. L'ajout de déchets organiques ; tels que le fumier, des boues d'épuration, ordures urbaines, compost, sous-produits industriels, etc..., sur les sols agricoles ; est une pratique très courante culturel en raison de l'amélioration physiques, chimiques et biologiques observée du sol et, par conséquent augmenter le rendement des cultures et de sa qualité (Sikora et Azad, 1993 ; Albiach *et al.*, 2001; Tejada et Gonzalez, 2003 a, b in Mahrous, 2007).

L'ajoute de certains agents de chélation pour le sol augmente considérablement la solubilité du Cu. Ces agents chélateurs inclus EDTA (Wu *et al.*, 1999; Lombi et al., 2001 in Mahrous, 2007).

II.1.1. Il est à noter que Plusieurs études de laboratoire ont montré que l'acide éthylène diamine tétra-acétique (EDTA) est efficace dans la

mobilisation et la suppression de Pb, Zn, Cu et Cd dans les sols contaminés, bien que l'efficacité d'extraction dépend de nombreux facteurs tels que la labilité des métaux lourds dans le sol, la force de l'EDTA, des électrolytes et du pH du sol (Elliot et Brown, 1989; Brown et Elliot, 1992; Pichtel et Pichtel, 1997; Elliot et Shastri, 1999;. Heil et al., 1999; Papassiopi et al., 1999 in Mahrous, 2007).

EDTA a été utilisé comme chélateur modèle pour examiner la mobilisation accrue des métaux et la distribution de métaux lourds dans les tissus végétaux (Turgut et al., 2005 in Mahrous, 2007). La modifications chimiques, comme les chélates de synthèse organique, peut améliorer la phytoextraction en augmentant la biodisponibilité des métaux lourds dans le sol et donc l'amélioration de l'absorption des végétaux, et la translocation des métaux lourds à partir des racines aux parties vertes des plantes testées (Huang et al., 1997;. Epestein et al., 1999 in Mahrous, 200

Annexe 02 :

Introduction :

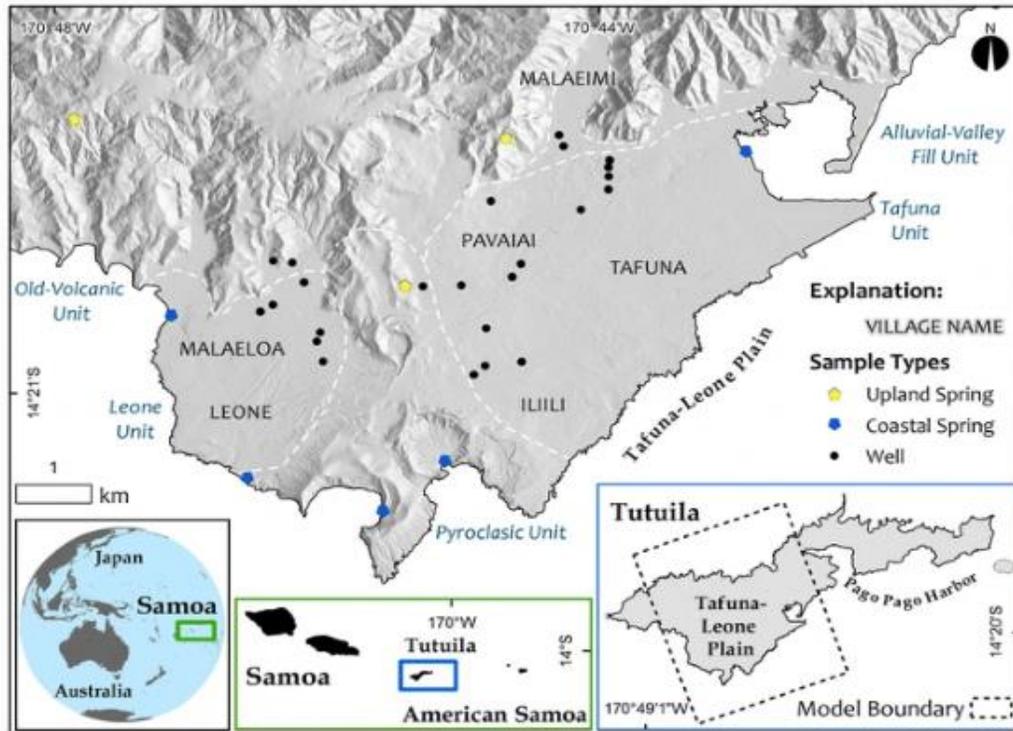
Sur de nombreuses petites îles volcaniques tropicales, les ressources en eaux souterraines sont d'une importance cruciale, mais sont souvent vulnérables à la contamination par la pollution anthropique diffuse. Les eaux souterraines sont très utilisées sur de nombreuses îles et fournissent environ 90 % de l'eau potable à Tutuila, l'île principale du territoire des Samoa américaines (AS DOC 2013). Les eaux souterraines de la zone la plus peuplée de Tutuila, la plaine de Tafuna-Leone, sont particulièrement vulnérables en raison de la forte perméabilité de l'aquifère de la région, des précipitations abondantes et de la forte densité de population. L'objectif général de cette étude est de développer un cadre de modélisation utile pour hiérarchiser les efforts de gestion des ressources en eau, guider le développement futur de l'eau et des terres et fournir une base conceptuelle pour comprendre et quantifier le transport des contaminants des eaux souterraines dans les îles volcaniques tropicales.

Méthodes de collecte et d'analyse d'échantillons géochimiques :

Soixante-quatorze échantillons d'eau ont été prélevés dans 32 puits et sources entre août 2013 et août 2015 aux emplacements indiqués à la Fig.1. Les puits de production ont été échantillonnés aux ports de collecte des têtes de puits et les sources ont été échantillonnées avec une pompe péristaltique et un échantillonneur d'eau interstitielle Push Point (produits MHE). Tous les échantillons ont été filtrés sur place avec des filtres capsules en polyéthersulfone hydrophile de 0,45 µm, et la température, la salinité, le pH, l'oxygène dissous et la turbidité ont été mesurés in situ avec une sonde YSI (modèle 6600 V2-2). Tous les échantillons ont été prélevés dans des flacons en PEHD nettoyés à l'acide et rincés trois fois. Les échantillons de nutriments ont été refroidis immédiatement après le prélèvement et réfrigérés pour un stockage à court terme (< 2 semaines) ou congelés lorsque des durées de stockage plus longues étaient nécessaires. Les échantillons d'isotopes d'azote ont été congelés le jour de la collecte et décongelés immédiatement avant l'analyse. Les échantillons de nutriments ont été

analysés dans un délai d'un mois et échantillons de $\delta^{15}\text{N}$ ont été analysés dans les 4 mois suivant la collecte.

Fig. 1



Conclusion :

Comme de nombreuses petites îles qui dépendent des ressources en eaux souterraines, l'eau potable de Tutuila est vulnérable à la contamination par trois sources de pollution non ponctuelles prédominantes : les eaux usées OSDS, les produits chimiques agricoles et le fumier de bétail (porc). Des niveaux élevés de N dans les eaux souterraines dans les zones d'influence humaine suggèrent la pertinence d'utiliser le TN dissous comme traceur des impacts anthropiques sur la qualité de l'eau.

Ici, les données d'utilisation des terres et les paramètres hydrologiques ont été intégrés pour développer un cadre de modélisation du transport des contaminants destiné à quantifier et répartir ces impacts. Ce cadre de modélisation démontre une technique de partitionnement des sources de contamination non ponctuelle spatialement hétérogène sur les petites îles tropicales pour aider à la conception des meilleures pratiques de gestion.

Annexe 03 :

MATÉRIEL ET MÉTHODES :

Le matériel biologique :

Durant toute l'étude, nous avons utilisé la souche Bora de *Ae. aegypti* originaire de la Polynésie Française. Cette souche dépourvue de mécanisme de résistance aux insecticides est maintenue depuis plus de dix ans à l'insectarium du laboratoire de Lutte contre les Insectes Nuisibles (LIN-IRD) de Montpellier, France. Les femelles de *Ae. aegypti* fécondées par les mâles présents dans la même cage ont été gorgées sur les oreilles d'un lapin, sept jours après leur émergence imaginale. Quarante-huit heures après la prise du repas de sang, les femelles gravides ont été utilisées afin de réaliser les essais sur le comportement de ponte.

Les collections d'eaux : Trois bacs en plastic d'une contenance de 60 litres ont été remplis, chacun, avec 30 litres d'eau osmosée.

Le comportement de ponte d'*Aedes aegypti* :

Les tests d'attractivité à la ponte des femelles d'*Ae. Aegypti* ont été réalisés dans des tunnels expérimentaux dont l'armature rectangulaire en verre (tunnel) mesurait 0,25 × 0,25 m de section sur 0,75 m de longueur. Les échantillons de MV, NPK et de MV+NPK prélevés à J2, J9, J16 et J23 ont été testés.

Les analyses physicochimiques des eaux : Les analyses physico-chimiques des eaux prélevées à J0, J2, J9, J16 et J23 se sont centrées sur le dosage des matières organiques en suspension, du carbone organique total (C), du phosphore (P), du potassium (K), de l'azote (N) global, de l'azote Kjeldahl, de l'azote ammoniacal (NH₄⁺), de l'azote nitrique (NO₃⁻) et de l'oxygène dissous (O₂). L'azote Kjeldahl totalise les quantités d'azote organique et ammoniacal. Tous les prélèvements ont été traités selon les Normes Françaises, Normes Européennes, International Standard of Organisation (NF EN ISO) par les laboratoires Bouisson Bertrand de Montpellier ([www. bouisson-bertrand.fr](http://www.bouisson-bertrand.fr)). Pour un affichage à la fois plus clair et plus synthétique des résultats, l'interprétation des analyses physico-chimique des eaux a été réalisée à partir de la teneur moyenne des composés relevée au cours des cinq prélèvements

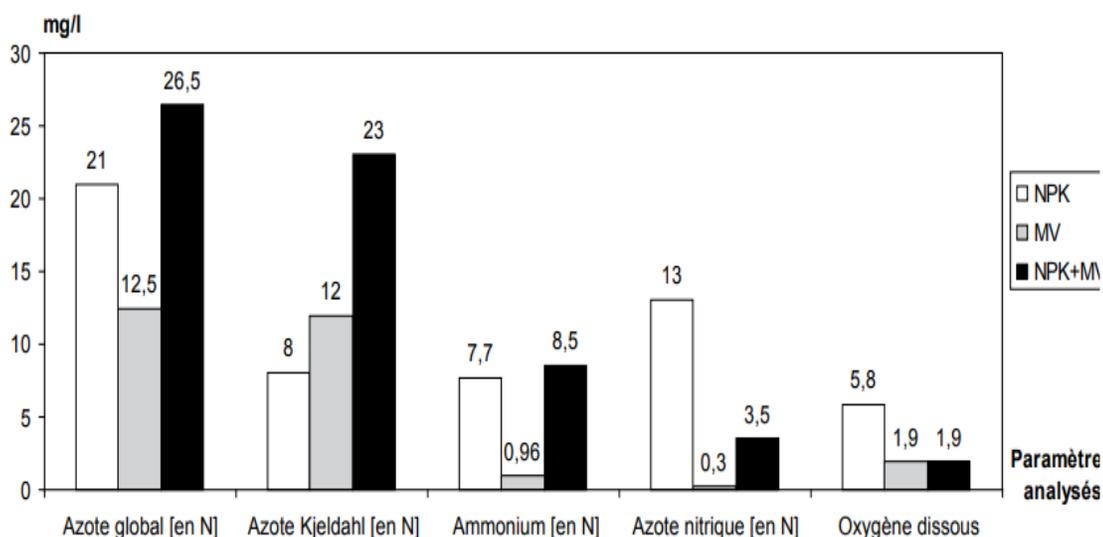


Fig. 1. – Analyses physico-chimiques des eaux contenant de la matière végétale (MV), de l'engrais NPK et un mélange de MV+NPK (moy des teneurs en mg/l à partir des prélèvements faits à J₀, J₂, J₉, J₁₆ et J₂₃).

NB : les dosages affichés pour chacun des paramètres analysés représentent la moyenne effectuée sur les cinq prélèvements.

Annexe 04 :

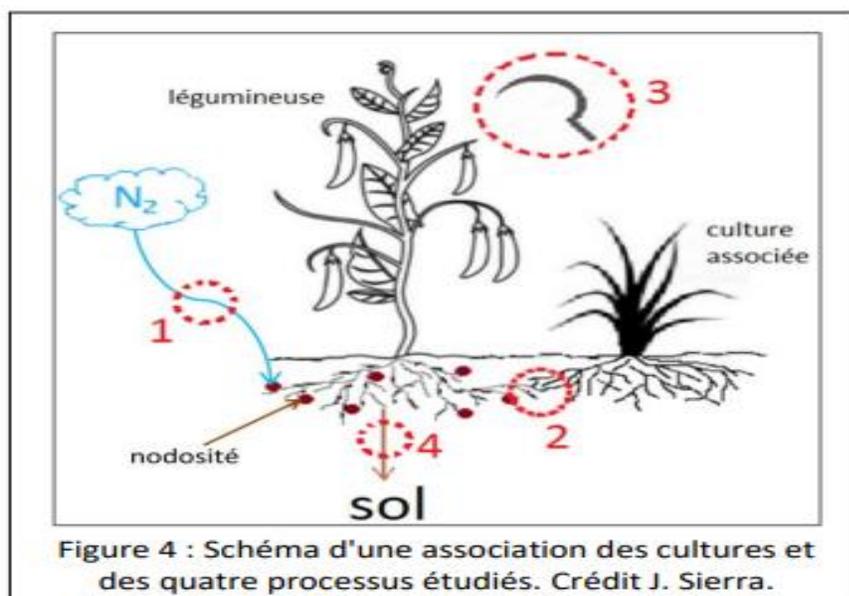


Les processus :

Nous avons analysé quatre processus (Figure 4) :

- la fixation symbiotique (processus 1 dans la Figure 4) (Estimation de la fixation symbiotique)
- le transfert racinaire de l'N fixé par la légumineuse vers la plante associée (processus 2)
- le transfert de l'N fixé vers la plante associée via l'engrais vert (processus 3) ; Effet de l'engrais vert et transfert d'azote vers le sol.

- le transfert de l'N fixé vers le sol (processus 4).



Conclusions et perspectives :

Notre étude a démontré que les légumineuses peuvent offrir plusieurs services à l'agriculteur. Premièrement, le niveau de fixation symbiotique des deux espèces analysées est important, ce qui apporte des bénéfices agronomiques et économiques non négligeables. Dans le cas du système sylvopastoral, la qualité du fourrage de la savane s'améliore significativement grâce à l'N apporté par *Gliricidia* et aussi à l'amélioration des teneurs azotées de l'herbe. Dans le cas de l'association bananier/*Canavalia* le bénéfice concerne notamment la réduction de l'utilisation des engrais azotés. Les légumineuses (pois, haricots, soja, arachide, trèfles, luzerne...) sont une famille de plantes regroupant environ 20.000 espèces, lesquelles constituent une source de protéines essentielle pour l'alimentation humaine et animale.

Les racines des légumineuses possèdent la particularité de former des associations de coopération (symbiose) avec des bactéries du sol qui ont la capacité de fixer l'azote (N) atmosphérique, lequel n'est pas assimilable par les végétaux, et le transformer en substances azotées utilisables par la plante hôte.

La légumineuses a un rôle clé dans la dynamique de l'N au sein des systèmes de culture, car elles permettent de réduire l'utilisation d'engrais, diminuer le risque de pollution azotée et améliorer la fertilité des sols.

La valeur agronomique des légumineuses étudiées et leur bonne performance en tant que plantes de services. Ces services écosystémiques peuvent être utilisés pour améliorer la qualité fourragère des savanes, pour réduire l'emploi d'engrais minéraux, et pour accroître la résilience des sols de Guadeloupe face aux impacts négatifs du changement climatique.

Annexe 05

Matériel et méthode :

Les outils de collectes des données :

Un questionnaire a été élaboré et administré aux producteurs dans les 04 grandes localités de production d'ananas au Sud-Togo. Le Global Positioning System (GPS) Garmin Estrex10 a été utilisé pour la détermination des superficies et les prises des points coordonnées.

Collecte de données : Les techniques utilisées ont porté sur la démarche participative au niveau de chaque zone ciblée avec l'implication des groupements ou coopératives agricoles d'ananas, ensuite des entretiens structurés avec 110 exploitants d'ananas répartis dans les quatre zones de production d'ananas au Togo. Les questions administrées étaient d'ordre ouvertes et fermées en vue de disposer des informations primaires sur la concentration des producteurs, les zones de fortes et faibles production, les types de variétés, historiques d'occupation de l'exploitation, le mode de culture (bio ou conventionnel), les pratiques agricoles, les typologies de fertilisation, la taille des exploitations, les indicateurs agroenvironnementaux et socioéconomiques. Le cadre conceptuel des différents niveaux d'impacts générés par l'agriculture est présenté par la figure 3.

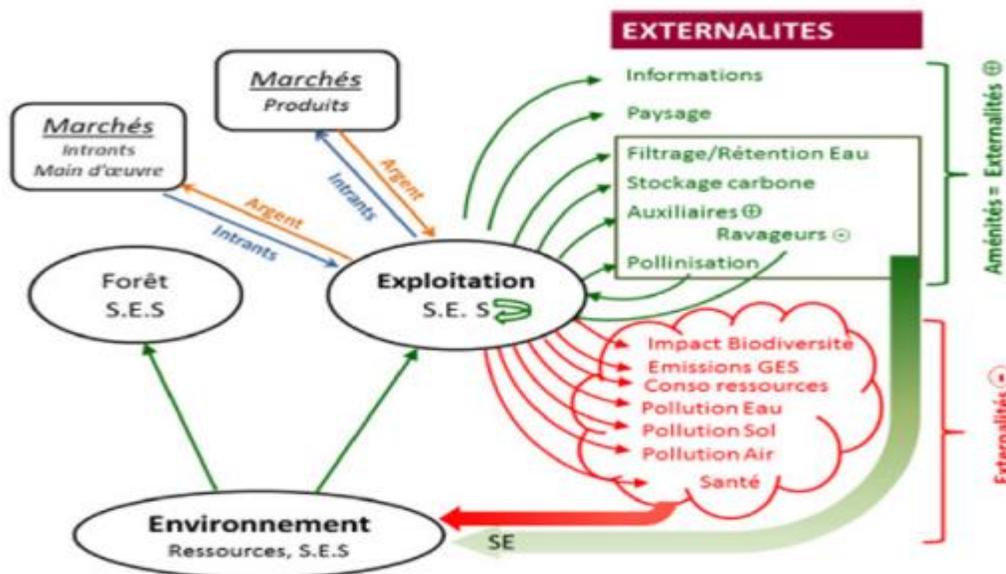


Figure 3 : Représentation d'un modèle de cadre conceptuel des externalités potentiellement générées par l'agriculture. Source Sautereau et Benoit, 2016.

Annexe 06

Introduction

Quatre techniques de conservation de la fertilité des sols sont testées depuis 1976 à Changins : la restitution systématique des pailles de céréales, l'insertion d'engrais verts durant l'interculture et l'apport régulier d'engrais de ferme, fumier ou lisier. Ces quatre techniques reposent sur l'apport régulier « d'engrais organiques ». En effet, les pailles de céréales, les engrais verts et les engrais de ferme apportent des éléments nutritifs sous forme organique, assimilable après minéralisation, mais aussi sous forme minérale, directement assimilable par les cultures. Ils présentent en ce sens un rôle amendant et fertilisant. Maltas et al. (2011) ont analysé les effets de ces engrais sur les propriétés organiques, chimiques et biologiques du sol. La présente étude complète ce travail, en évaluant leurs effets sur le rendement des cultures et le stock d'azote (N) minéral dans le sol et en quantifiant la valeur fertilisante en N de ces engrais.

Matériel et méthodes :

Descriptif de l'essai :

L'essai, présenté en détail dans Maltas et al. (2012), a débuté en 1976 à Changins (VD, 430 m). Le dispositif expérimental est un split-plot avec quatre répétitions. Six procédés permettent de tester la nature et la dose des engrais organiques : Emin (témoin recevant uniquement des apports minéraux), EV (insertion d'engrais vert de moutarde tous les deux ans), Pailles (restitutions des pailles de céréales), Fu35 (35 t ha⁻¹ de fumier de bovins tous les 3 ans), Fu70 (70 t ha⁻¹ de fumier de bovins tous les 3 ans) et Li60 (60 m³ ha⁻¹ de lisier de bovins dilué tous les ans de 1975 – 1993 et tous les trois ans après 1993). Les sous-procédés, A, B, C et D reçoivent des doses croissantes d'azote minéral (Maltas et al. 2012). Le sous-procédé A ne reçoit pas de N minéral alors que le sous-procédé D est sur-fertilisé en N (105 – 200 kg N ha⁻¹ selon les cultures).

En 2003 et 2004, les modalités du procédé Emin (aucun engrais organique apporté) sont appliquées sur les six procédés, afin d'étudier l'arrière-effet des procédés et des sous-procédés. Le sous-procédé A ne reçoit toujours pas d'azote et les sous-procédés B, C et D reçoivent tous trois la même dose d'azote (30 kg N ha⁻¹ en 2003 et 40 kg N ha⁻¹ en 2004). En 2003, la culture est un colza et en 2004 un blé d'automne.

Les rotations font alterner cultures de printemps et cultures d'automne et permettent ainsi l'insertion d'un engrais vert une année sur deux. D'une durée de 5 à 6 ans, elles comprennent 60 à 70 % de céréales, du colza et du maïs. Les pailles de maïs et de colza sont broyées puis enfouies dans le sol sur l'ensemble des traitements. Les pailles de céréales sont exportées après la récolte sauf dans le procédé « Pailles » où ces dernières sont restituées au sol. La fumure phospho-potassique (sous forme de superphosphate et de sel de potasse) est optimale sur l'ensemble des procédés selon les données de bases pour la fumure des grandes cultures (Ryser et al. 1987). Elle tient compte de la valeur fertilisante des restitutions de pailles et des arrières-effets du fumier et du lisier (Ryser et al. 1987).

Mesures et analyses statistiques :

Les rendements en grains sont mesurés tous les ans à la récolte sur l'ensemble des traitements. Les rendements obtenus en absence de limitation en N sont qualifiés de rendements potentiels. Pour une année et un procédé donné, ils correspondent à la moyenne des rendements des sous-procédés qui ne diffèrent pas significativement du sous-procédé présentant le rendement maximal (généralement le sous-procédé D).

La valeur fertilisante des engrais organiques est calculée, chaque année, en comparant l'augmentation de rendement due aux engrais organiques à l'augmentation de rendement due à la fertilisation azotée selon l'équation suivante : $Valeur\ fertilisante = (Rdt\ iA - Rdt\ EminA) * dose\ EminB / (Rdt\ EminB - Rdt\ EminA)$ Avec Rdt iA, Rdt EminA et Rdt EminB : rendement en grains respectivement du procédé i sous-procédé A, du procédé Emin sous-procédé A et du procédé Emin sous-procédé B, exprimés en dt ha-1 ; dose Emin B : dose d'engrais azoté apportée dans le procédé Emin sous-procédé B exprimée en kg N ha-1. Nous supposons ainsi que la réponse des cultures à la dose de N est linéaire. Les cultures sont vraisemblablement suffisamment carencées en N dans les sous-procédés A et B pour justifier cette hypothèse.

La teneur en N de la plante (grains et pailles) est mesurée en 2003 et 2004 dans les sous procédés A afin de calculer le N absorbé par la culture.

Les stocks d'azote minéral dans le sous-procédé C sont mesurés en 2009, juste avant le semis, le 26 mars et un mois après récolte, le 24 août (Stations de recherche ART& ACW 2011). Les

horizons 0 – 30 ; 30 – 60 et 60 – 90 cm sont prélevés à l'aide d'une tarière. Chaque prélèvement est constitué d'un composite de 8 à 10 carottes. Quatre répétitions sont effectuées.

Les analyses de variance sont réalisées en utilisant le logiciel XLSTAT 2010, Copyright Addinsoft 1995 – 2009, le test de Fisher est appliqué pour comparer les moyennes des procédés et sous procédés.

Résultats et discussion :

Rendement potentiel des cultures :

Lorsque l'azote est non limitant, les rendements observés sur maïs, blé, orge, colza et avoine (tabl. 1) sont proches de ceux mentionnés dans les « Données de base pour la fumure », respectivement 81, 51, 47, 33 et 47 dt sec ha⁻¹ (Sinaj et al. 2009).

L'effet des procédés sur le rendement potentiel est constant quelle que soit la culture puisque l'interaction entre procédé et culture n'est pas significative ($P > 0,05$).

En moyenne sur 34 ans d'essai, l'effet des engrais organiques, bien que significatif, reste faible (-4,7 à +2,2 % par rapport à Emin ; tabl. 1).

Le procédé EV obtient un rendement potentiel significativement plus faible que celui du témoin Emin (-3,6 % ; tabl. 1). Duval (1996) a également observé que les engrais verts de crucifères, et plus particulièrement ceux de moutarde, peuvent avoir un effet nuisible sur la culture qui suit en raison de la présence de composés phytotoxiques dans leurs résidus. Dans cet essai, l'effet supposé allélopathique de la moutarde est observé aussi bien sur les cultures qui suivent l'engrais vert (maïs et orge) que sur les cultures suivantes (blé et colza ; tabl. 1). Seule l'avoine ne semble pas affectée. Le rendement du procédé Pailles est inférieur de 4,7 % à celui du témoin Emin (tabl. 1). La restitution des pailles de céréales dans une rotation largement céréalière a probablement favorisé les maladies des céréales (Charles et al. 2011).

L'effet moyen des engrais de ferme (Fu35, Fu70 et Li60) sur la période 1976 – 2010 est très faible (+0,4 à +2,2 % par rapport à Emin ; tabl. 1) et n'est pas significatif. Toutefois, ces procédés présentent tous des rendements potentiels supérieurs à celui du témoin Emin. Ce résultat est cohérent avec un autre essai longue durée mené à Changins, qui a mis en évidence une augmentation des rendements potentiels, en moyenne sur 12 années d'essai, de 2 à 13 % avec engrais de ferme (Maltas et al. 2012). Cette augmentation peut être imputée à un effet « matière

organique » qui améliore les propriétés physiques, hydriques et biologiques du sol (Lal 2009) et/ou à une augmentation de la disponibilité en nutriments (Zhang et al. 2009). En effet, les sols des procédés avec engrais de ferme présentent des teneurs en matière organique (MO) supérieures à celles du témoin mais aussi des teneurs en zinc et fer extractibles à l'acétate ammonium EDTA plus importantes (Maltas et al. 2011). Le zinc et le fer sont des micronutriments favorables à la croissance des cultures à faible concentration mais qui peuvent devenir toxiques au-delà d'un certain seuil (Marschner 1995).

Compte tenu de la forte variabilité interannuelle du rendement potentiel relatif, il est difficile de mettre en évidence une évolution significative des effets procédés (fig. 1). L'effet des procédés EV et Pailles n'évolue pas avec le temps, tandis que celui des engrais de ferme croît significativement. Cependant, ces effets restent faibles même après 34 années d'application (+4, +9 et +6 % respectivement dans Fu35, Fu70 et Li60 ; fig. 1).

Valeur fertilisante des engrais organiques :

Suivie de 1976 à 2010, la valeur fertilisante des cinq types d'engrais organiques (EV, Pailles, Fu35, Fu70 et Li60) montre des différences importantes (fig. 2). Compte tenu du mode de calcul de cette dernière, les valeurs présentées incluent l'effet direct dû à l'apport de N rapidement disponible et l'effet indirect dû à la minéralisation de la MO stockée dans le sol.

La valeur fertilisante des engrais organiques à long terme n'augmente pas au cours du temps (fig. 2), malgré l'enrichissement progressif du sol en MO dans les procédés avec engrais organiques (Maltas et al. 2011). Les valeurs fertilisantes varient, par contre, en fonction du nombre d'années écoulées depuis le dernier apport organique. Entre 1994 et 2010, la valeur fertilisante de l'engrais vert est en moyenne de -27 kg N ha⁻¹ l'année de sa destruction et de +7 kg N ha⁻¹ l'année suivante (fig. 2). L'engrais vert absorbe de l'azote et réduit ainsi l'offre en N pour la culture suivante par rapport au témoin Emin. Une partie de cet azote est ensuite remis à disposition l'année suivante, lors de la minéralisation des résidus d'engrais vert. Avant 1993, cet effet négatif de l'engrais vert sur l'offre en N l'année de sa destruction n'est pas observé (fig. 2). Sa valeur fertilisante est de +20 kg N ha⁻¹ l'année de sa destruction et +17 kg N ha⁻¹ l'année suivante (fig. 2a). Les 60 kg N ha⁻¹ appliqués sur les engrais verts avant 1993 ont vraisemblablement permis de compenser le N absorbé par l'engrais vert et même d'augmenter l'offre en N pour les cultures suivantes. Lorsque

la moutarde est fertilisée, sa valeur fertilisante sur les deux années après sa destruction s'élève à 37 kg N ha⁻¹, alors qu'elle est de -20 kg N ha⁻¹ lorsqu'elle n'est pas fertilisée. La différence de 57 Kg N ha⁻¹ correspond assez bien aux 60 kg N ha⁻¹ épandus sur la moutarde, preuve que cet azote est peu sorti du système sol-plante. Par contre, l'azote disponible dans le sol peut être moins absorbé et potentiellement perdu par lixiviation.

La valeur fertilisante des pailles de céréales est très faible (fig. 2b). Elle est en moyenne de -3 kg N ha⁻¹ l'année d'incorporation des pailles et de +3 kg N ha⁻¹ l'année suivante. Les pailles de céréales possèdent un ratio C/N élevé, ce qui provoque une immobilisation de N par la biomasse microbienne l'année de l'incorporation. L'année suivante, une partie de cet azote est remis à disposition lors de la décomposition de la biomasse microbienne. Sinaj et al. (2009) préconisent ainsi en Suisse un renforcement de la fertilisation N de 10 à 20 kg N ha⁻¹ selon la culture suivante lorsque des pailles de céréales sont incorporées.

La valeur fertilisante des engrais de ferme est positive et diminue avec le nombre d'années écoulées depuis le dernier apport organique. L'année de l'apport, un et deux ans après l'apport, les valeurs fertilisantes sont respectivement de +31, +15 et +10 kg N ha⁻¹ sous Fu35 (fig. 2c) ; +58, +28 et +21 kg N ha⁻¹ sous Fu70 (fig. 1c) et +38, +18 et +10 kg N ha⁻¹ sous Li60 (fig. 2d). Les valeurs fertilisantes exprimées en pourcentage du N total apporté par l'engrais organique donnent une indication sur la proportion du N total assimilé par les cultures. Ainsi, avec le fumier (moyenne de Fu35 et Fu70), la proportion de N total assimilé par les cultures est de 16 % l'année d'application, 8 % un an après l'apport et 5 % deux ans après l'apport. Avec le lisier, ces valeurs atteignent respectivement 37 %, 18 % et 10 %. La MO contenue dans le lisier est généralement moins stable que celle du fumier (Lecomte 1980) et se dégrade donc plus rapidement (Su et al. 2006). Ceci explique les valeurs plus élevées du lisier. Dans les données de base pour la fertilisation des grandes cultures (DBF-GC), les valeurs fertilisantes proposées pour le fumier en stabulation libre sont du même ordre de grandeur que celles de cet essai (20 % du N total l'année d'application et 10 % l'année suivante ; Sinaj et al. 2009). Le lisier de cet essai s'est dégradé un peu plus lentement que ceux proposés dans les DBF-GC (45 % du N total l'année d'application et 5 % l'année suivante (Sinaj et al. 2009)). Les lisiers de cet essai semblent plus réfractaires à la dégradation. La qualité de leur matière organique demanderait donc à être analysée. Actuellement, la valeur fertilisante des engrais de fermes deux ans après l'apport n'est pas comptabilisée dans les normes de fumure azotée (Sinaj et al. 2009). Ces résultats et ceux de Maltas et al. (2011b) montrent que deux ans après

l'apport, la valeur fertilisante du fumier comme du lisier est encore importante et devrait être comptabilisée.

Arrière-effet :

En 2003 et 2004, aucun procédé n'a reçu d'apport organique, ce qui permet d'évaluer les arrière-effets des procédés. Ces effets sont analysés sur des cultures supposées carencées en azote : sur le sous-procédé A sans azote et sur la moyenne des sous-procédés B, C et D qui reçoivent chacun 30 kg N ha⁻¹ en 2003 et 40 kg N ha⁻¹ en 2004 (tabl. 2). Lorsque les cultures sont carencées en N, les procédés recevant régulièrement des engrais organiques présentent tous des rendements supérieurs à celui du témoin Emin (tabl. 2). L'arrière-effet est plus marqué sur le sous-procédé A sans azote (tabl. 2) que sur les sous-procédés B, C et D qui reçoivent 30 à 40 kg N ha⁻¹. Ainsi, plus les cultures sont carencées en N, plus l'effet résiduel des procédés est important. Cet effet résiduel est donc vraisemblablement dû à une meilleure offre en N dans les sols recevant régulièrement des engrais organiques. Ceci est cohérent avec les résultats précédents qui ont montré des valeurs fertilisantes positives, pour tous les engrais organiques, l'année suivant l'apport. L'augmentation de l'offre en N proviendrait principalement d'une plus forte minéralisation dans ces sols mieux pourvus en MO (Maltas et al. 2011).

L'arrière-effet des sous-procédés (B, C et D) est analysé sur la moyenne des procédés (tabl. 3) en 2003 et en 2004. Les rendements ne diffèrent pas significativement entre sous-procédés. Cependant, ils tendent à croître avec la fertilisation azotée passée (tabl. 3). L'effet positif de la dose d'engrais azoté sur la teneur en MO du sol (Maltas et al. 2011) explique vraisemblablement ce résultat.

Stocks d'azote minéral

Les stocks d'azote minéral dans les 90 premiers cm de sol (N-min) ont été mesurés en 2009, avant le semis et après la récolte de l'avoine de printemps (tabl. 4). Les pailles de la culture précédente (colza) ont été enfouies dans tous les procédés ; un engrais vert de moutarde est inséré avant la culture d'avoine dans le procédé EV ; et aucun engrais de ferme (fumier ou lisier) n'est épandu. Des engrais de ferme ont par contre été apportés en 2008 sur Fu35, Fu70 et Li60. Les N-min ont été mesurés dans les sous-procédés C qui reçoivent tous 90 kg N ha⁻¹. Avant semis et après récolte, les N-min du procédé Pailles diffèrent peu de ceux du procédé Emin (tabl. 4), ce qui est cohérent avec la faible valeur fertilisante des pailles de céréales observée l'année suivant leur incorporation (fig. 2a).

Le procédé EV affecte négativement le N-min avant semis (tabl. 4). La moutarde non fertilisée absorbe donc bien de l'azote qui n'est plus disponible pour la culture suivante.

Les N-min avant semis les plus élevés sont observés dans les procédés avec engrais de ferme (Fu35, Fu70 et Li60 ; tabl. 4). Vraisemblablement, la forte minéralisation de la MO du sol (Maltas et al. 2012) combinée à la minéralisation de la MO fraîche apportée l'année précédente serait à l'origine de ces valeurs. Cependant, la forte minéralisation dans ces procédés occasionne également des N-min après récolte supérieurs. Le risque de lixiviation du N après récolte est donc accru dans les procédés avec fumier et lisier lorsque leurs arrière-effets ne sont pas pris en compte dans le calcul de la fertilisation N.

Annexe 07

Zone d'étude

Les travaux ont été réalisés sur le site du Centre International d'Expérimentation et de Valorisation des Ressources Africaines (CIEVRA) situé dans la Commune d'Abomey-Calavi au Bénin (Figure 1) à environ 30 km au Nord de Cotonou à 06°54' Nord et 02°25' Est. La zone est caractérisée par un climat de type sub-équatorial chaud marqué par une humidité relativement élevée, et une pluviométrie variant entre 900 et 1100 mm d'eau par an. On y distingue quatre saisons à savoir : deux saisons sèches (de mi-novembre à mi-mars et mi-juillet à mi-septembre) et deux saisons pluvieuses (de mi-mars à mi-juillet et de mi-septembre à mi-octobre) et deux saisons pluvieuses (de mi-mars à mi-juillet et de mi-septembre à mi-octobre). La température moyenne annuelle est de 27 °C (les amplitudes diurnes et saisonnières sont faibles). L'hygrométrie est toujours élevée (supérieure à 70% à 12 heures, supérieure à 89% à 6 heures). Le sol du site est de type ferrallitique désaturé, développé sur des sédiments argilo-sableux du continental terminal (terres de barre).

Au démarrage de l'essai, la composition granulométrique du sol se présente comme suit : 74,50% de sable, 5,17% de limon et 7,85% d'argile, ce qui confère une texture sablo-limoneuse au sol. Le pH (eau) du sol est légèrement neutre (6,90), les teneurs en azote totale et carbone sont respectivement de 0,33 g/kg et 5,5 g/kg. La concentration en phosphore assimilable est de 15 mg/kg. La teneur en cations échangeables est de 2,2 cmol/kg ; 1,4 cmol/kg et 0,05 cmol/kg respectivement pour le calcium, le magnésium et le potassium.

Matériel végétal

Substrats organiques

La variété Hybride NX39 de la carotte (*Daucus carota L.*) a été utilisée dans le cadre de cette expérimentation. Les semences issues de cette variété hybride constituent une première génération homogène. Les plantes qu'elles engendrent sont toutes identiques à feuillage vigoureux, racine longue, lisse et très uniforme. Elle est de très belle coloration interne et externe. C'est une variété précoce de 90 jours, résistante aux maladies avec une bonne aptitude à la conservation et un rendement potentiel qui varie entre (30-35) t/ha.

Méthode de collecte des données :

Le diamètre au collet ainsi que la longueur des carottes ont été mesurés. Ces observations ont été effectuées sur 4 carottes sélectionnées au hasard. La circonférence de la carotte a été mesurée au collet puis le diamètre a été calculé par la formule $d = \text{circonférence} / \pi$ ($\pi = 3,14$); par contre la mesure de la longueur a été réalisée du collet à l'extrémité de la racine.

Le poids frais des carottes a été pris après avoir détaché la partie aérienne et rincé les racines. Une balance électronique de portée 4 kg a été utilisée. Les mesures ont été effectuées au niveau de la surface interprétable (0,80 m x 1 m) tout en éliminant les plants et lignes de bordure. Le rendement est estimé en rapportant la production à l'hectare.

Des échantillons de sol ont été prélevés à 0-20 cm de profondeur par parcelle élémentaire à la fin de la culture de la carotte afin d'évaluer le niveau de la fertilité du sol.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **Anani et al, J. Appl. Biosci.** (2020) Analyse des impacts agroenvironnementaux et socioéconomiques des systèmes de culture d’ananas (*Ananas comosus* L.) au Sud-Togo.
- **J. Haverkort & C. Rutayisire,** (1986) Utilisation des engrais chimiques sous conditions tropicales.
- **A.B. Syuhada, J. Shamshuddin, C.I. Fauziah, A.B. Rosenani, and A. Arifin,** (2016) Biochar as soil amendment: Impact on chemical properties and corn nutrient uptake in a Podzol, Canadian journal of soil science
- **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) : 156–163 P.
- **Anonyme,** (2003) Les engrais et leurs applications. Précis à l’usage des agents de vulgarisation agricole. 04^{em} éd.FAO, IFA et IMPHOS. Rabat. 77 p.
- **Anonyme,** (2001) Pollution du sol : danger. INRA – OPIE.
- **Anonyme,** (2002) Pesticides et protection phytosanitaire dans une agriculture en mouvement. Association deCoordination Technique agricole, Paris. 976 p.
- **Anonyme,** (2007) Index des produits phytosanitaires à usage agricole. Direction de la protection des végétaux et descontrôles techniques, Ed. 2007. Alger 8 p.
- **Anonyme,** (2010) Weather. Climate. Africa. Algeria. Biskra. www.Tutiempo.net/en.
- **Albert DAUJAT et Al,** (2003) <https://www.universalis.fr/encyclopedie/engrais/3-mise-sur-le-marche/>

- **Bliefert C., et Perraud R.,** (1997) Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. 1^{ère}éd. Espagne. 477p
- **Baize D.,** (1997) Teneurs totale en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA. Paris .406 p.
- **Baize D.,** (2000) Guide des analyses en pédologie.2^{ème} éd. INRA. Paris .257 p.
- **Coïc Y., et Coppenet M.,** (1989) Les oligo-éléments en agriculture et élevage. INRA. Paris : 113 p.
- **Christopher K. Shuler¹ & Aly I. El-Kadi &Henrietta Dulai³ & Craig R. Glenn³ & Joseph Fackrell,** (2017) Répartition des sources d'azote d'origine humaine dans l'eau souterraine dans un contexte d'usages multiples, Tutuila, Samoa Américaines.
- **Deneux-Mustin S., Roussel-debet S., Mustin C., Henner P., Munier-Lamy C., Colle C.,Berthelin J., Garnier-Laplace J., leyval C.,** (2003) Mobilité et transfert racinaire des éléments en traces : influence des micro-organismes du sol.Lavoisier. Londre-Paris- New York. 281 p.
- **Dr. Harilala Andriamaniraka** (2016) Le phosphore et la fertilisation phosphatée dans les sols ferrallitiques à Madagascar : Amélioration de la fertilité des sols.
- **Darriet F., Zumbo B., Corbel V., Chandre F.** (2010) Influence des matières végétales et des engrais NPK sur la biologie de *Aedes aegypti* (Diptera : Culicidae)
- **Daniel Mika-NsimbiPoultney,** (2021) Effet de l'apport de produits résiduaire organiques sur le cycle biogéochimique de l'azote en culture de canne à sucre à la Réunion.

- **Kaho, M. Yemefack, P. Feujio-Teguefouet & J.C. Tchantchaouang** (2011) Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun.
- **Gérard MIQUEL M.**, (2001) Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. France. 366 p.
- **Giroux M., Chassé R., Deschênes L. et Côté D.**, (2005) Etude sur les teneurs, la distribution et la mobilité du cuivre et du zinc dans un sol fertilisé à long terme avec des lisiers de porcs au Québec. Agrosol. Vol. 16, n° 01, Pp 23-32.
- **Guemaz F.**, (2006). Analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux usées des trois sites de la ville de Biskra (Chaabet Roba, Oued Biskra et Oued Zemour). Thèse Magister. Inst. D'agro. Annaba. 83 p.
- **Jorge Sierra ; Régis Tournebize**, (2019) Fixation symbiotique d'azote par les légumineuses en association. Résultats obtenus en Guadeloupe.
- **Lamy I. Jaulin A. et Van-Oort F.**, (2006) Physicochimie et écotoxicologie des sols d'agrosystèmes contaminés (PESSAC), Centre INRA www-pessac.versailles.inra.fr
- **Loué A.**, (1993) Oligo-éléments en agriculture. Nathan : SCPA. 210p.
- **Mazoyer M.**, (2002) Larousse agricole. Montréal (Québec). Larousse. 767 p.
- **Mijno V.**, (2007) Modifications de la composition de déchets métallifères, miniers et industriels, stabilisés par liants hydrauliques et soumis à des tests de lixiviation. Thèse de Doctorat. Université de Limoges. 145p
- **Mahrous Y. M. A.**, (2007) Mobility of Heavy Metals in Some contaminated Egyptian soils treated with certain organic materials. Thèse de Doctorat. Université d'Assiout, Egypt. 202p.
- **O. D. B. BIAOU ; A. SAIDOU ; F-X. BACHABI ; G. E. PADONOU et Al ;** (2017) Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota L.*) sur sol ferrallitique au sud Bénin.

- **Haddad Azzeddine**, (2011) Contribution à l'étude de la répartition spatiale de la végétation spontanée de la région de Biskra.

- **Saïdou A, Bachabi SFX, Padonou GE, Biaou ODB, Balogoun I, Kossou D** (2012) Effet de l'apport d'engrais organiques sur les propriétés chimiques d'un sol ferrallitique et la production de laitue au Sud Bénin. *Rev. CAMES-Série A.*, 13(2): 281-285

- **Tran T.S., Giroux M., Audesse P. et Guilbault J.**, (1995) Importance des oligo-éléments en agriculture : symptômes visuels de carence, analyses des végétaux et des sols. *Agrosol*, Vol. 8 (1). pp12-22.

- **Romain, Mungangawa Muhwandju; Henri, Ugenth Ukany; Oswald, Koleramungu Cimanuka; Eric, Musungayi Mpongolo; Pacifique, Bulambo Kilongo**, (2018) Dans leur journal intitulé : Effets des engrais verts sur le rendement du manioc à l'Est de la République Démocratique du Congo PP264_274.

- **Yoni M, Hien V, Abbadie L, Serpentié G.** (2005) Dynamique de la matière organique du sol dans les savanes soudaniennes du Burkina Faso. *Cahiers d'Agriculture.*, 14(6) :525-532.

- **Z. Kouyaté et A.S.R. Juob** (1990-1995) Effets des engrais verts et des rotations de cultures sur la productivité des sols au Mali.

Sites internet :

<http://www.aci-algerie.com>

<http://www.bayercropscience.com>

<http://www.codacorp.com>

<http://www.doudah.com>

<http://www.Profert-dz.com>

<https://oxfordbusinessgroup.com/>

<http://www.ifgdg.org>

Année universitaire : 2021-2022

Présenté par : HEDJAZI oussama faouzi
BENENEUMISSI Med Ouassim

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie Fondamentale et Appliquer

Intitulé : Synthèse Actualisée sur l'effet des engrais chimiques et organiques utilisés en agriculture et leurs impacts sur l'environnement

Résumé :

L'agriculture intensive, par ses besoins élevés en éléments nutritifs, est l'une des causes de l'appauvrissement du sol aussi bien en nutriments qu'en matière organique. Pour combler cette perte et rétablir les paramètres du sol dans le but d'augmenter les rendements, les agriculteurs appliquent des amendements chimiques et/ou organiques, mais ceux-ci peuvent avoir aussi des impacts négatifs sur les trois compartiments du biotope et sur la biocénose ; ce qui a été prouvé par notre synthèse bibliographique actualisée dont les recherches n'encouragent pas souvent la fertilisation et particulièrement chimique, à cause de la pollution qu'elle pourra induire telle que la libération des métaux lourds. Quelque soit le type de fertilisant chimiques ou organique, les études montrent que la dose utilisée, le type de sol, ainsi que la méthode d'épandage doivent être pris en considération ; pour une agriculture fiable, le développement durable des sols, la qualité des aliments et la protection de notre environnement.

Mots-clefs : Développement durable des sols, fertilisation chimique, fertilisation organique, agriculture, rendement.

Encadreur : BAZRI Kamel-eddine (maître de conférences A - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 1 : TOUATI Laïd (maître de conférences A - Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Examineur 2 : GANA Mohamed (maître de conférences B - Université Frères Mentouri, Constantine 1).