

Effet de trois types de composts et fertilisants chimiques sur la croissance et le rendement de la courgette (*Cucurbita Pepo* L.) dans des sols basaltiques et calcaires à la commune de Kenscoff, Haïti

Auteur : Benjamin, John

Promoteur(s) : Cognet, Stéphane

Faculté : Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

Diplôme : Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain

Année académique : 2018-2019

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/8079>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

EFFET DE TROIS TYPES DE COMPOSTS ET DE FERTILISANTS CHIMIQUES SUR LA CROISSANCE ET LE RENDEMENT DE LA COURGETTE (*CUCURBITA PEPO* L.) DANS DES SOLS BASALTIQUES ET CALCAIRES À LA COMMUNE DE KENSCOFF, HAÏTI

JOHN BENJAMIN

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER DE
SPECIALISATION EN PRODUCTION INTEGREE ET PRESERVATION DES RESSOURCES
NATURELLES EN MILIEU URBAIN ET PERI-URBAIN**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018-2019

PROMOTEUR : STEPHANE COGNET

Copyright : "Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech." ;

"Le contenu du présent document n'engage que l'auteur."

EFFET DE TROIS TYPES DE COMPOSTS ET DE FERTILISANTS CHIMIQUES SUR LA CROISSANCE ET LE RENDEMENT DE LA COURGETTE (*CUCURBITA PEPO* L.) DANS DES SOLS BASALTIQUES ET CALCAIRES À LA COMMUNE DE KENSCOFF, HAÏTI

JOHN BENJAMIN

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER DE
SPECIALISATION EN PRODUCTION INTEGREE ET PRESERVATION DES RESSOURCES
NATURELLES EN MILIEU URBAIN ET PERI-URBAIN**

ANNÉE ACADÉMIQUE 2018-2019

PROMOTEUR : STEPHANE COGNET

REMERCIEMENTS

L'aboutissement de ce travail a été rendu possible grâce à des efforts et investissements personnels complétés par la participation directe et indirecte combien importante de nombre de personnes auxquelles je tiens à exprimer toute ma gratitude en ces lignes. Mes mots de remerciements vont en premier lieu l'ARES, pour le financement de cette formation qui m'a permis d'acquérir de nouvelles connaissances.

Je tiens à remercier grandement tout le corps professoral de Gembloux Agro-Bio Tech et de la Haute École de Charlemagne de leurs dévouements inlassables tout le long de la formation. Un merci particulier au professeur Haïssam Jijakli, responsable du Master et à mon promoteur Stéphane Cognet, pour leurs conseils scientifiques.

J'adresse un remerciement très spécial à la SOHADERK pour leurs supports en mettant disponible pour la réussite de cette étude les parcelles, les composts et des matériels. J'exprime ma gratitude envers tout le staff administratif et technique : Pierre Paul Jules, Esther Saint-Hilaire, Farah Aurélus, Nau Paul et Daniel Dolciné. Un grand merci aux Ingénieurs-Agronomes du CRDD de Robin : Colomb Louisma et Gelin Doréus pour leurs conseils techniques. Les techniciens : Alezy Jacques pour les composts préparés, Jean Evens Duverlus et Esdras Charles pour leurs aides dans la mise en place et entretiens des parcelles expérimentales.

J'envoie mes remerciements envers le département de Phytotechnie de la FAMV de l'UEH, particulièrement les enseignants-chercheurs Robers-Pierre Tescar, Gelin Doréus et Predner Duvivier pour leurs conseils scientifiques. Au responsable et aux techniciens du laboratoire de sols de la FAMV pour les analyses de composts.

Un grand merci à Waselin Salomon, Fructueux Houngbegnon et Paul Hessen Saint-Louis pour la lecture et les remarques faites sur le texte du document. Merci à mes collègues agronomes : Mackenson Desrosiers, Kettly Jean, Ernest Monfiston et Fritz Joseph pour leurs mots d'encouragements et leurs supports sur le terrain.

Merci à mes collègues de promotion pour l'entraide et les mots d'encouragement partagés. Je veux remercier particulièrement : Ginette Sandrine Liégui, Justin Kaboré, Christelle Armelle Fouédjio, Victoire Munene Aganze et mes compatriotes Roselie Valmir et Lucedito Preval.

Enfin, un grand merci à tous ceux qui ont contribué d'une façon ou d'une autre à la réalisation de ce travail, plus particulièrement à : mon père, Enold ; mes frères et sœur Peterson, Weinberger et Sherley. Merci à Judith Edmond, Gaitana Guillaume-Sam et Wislande Ménard pour leurs mots d'encouragements et leurs supports affectifs.

RESUME

Entre mars et juin 2019, deux parcelles expérimentales en plein champs ont été conduites sur des sols basaltiques et calcaires en Haïti afin d'étudier la réponse de la courgette (*Cucurbita pepo* L.) en fonction d'amendements organiques à base de composts et d'engrais chimique. Cette étude a été composée de cinq traitements : un compost de fumure de cheval (CFC), un compost de fiente de poule (CFP), un mélange 1/1 des composts CFC et CFP (CM), un fertilisant chimique (FC) et un témoin (T) n'ayant reçu aucun amendement. Des échantillons de sols et de composts ont été prélevés puis analysés. Les cinq traitements ont été répartis selon un dispositif en bloc aléatoire complet mise en place sur deux parcelles établies dans deux zones de sols différents (basalte et calcaire). Les données collectées sur la précocité, la longueur tige, le diamètre tige, le nombre de feuilles par plante, le nombre de fruits par plante, le poids moyen d'un fruit et le rendement ont été soumises à une analyse de variance. En cas de différence significative relevée, une comparaison multiple des moyennes a été réalisée selon le test de Duncan au seuil de probabilité de 5% ($p < 0,05$).

Les résultats ont montré que l'application d'un amendement organique ou chimique a permis d'améliorer significativement la croissance et rendement de la courgette et que les plantes témoins ont été caractérisées par une récolte précoce, une mauvaise croissance et des rendements faibles. Globalement, les rendements moyens de la courgette obtenus avec le compost fiente de poule ($3,63 \text{ kg/m}^2$) et l'engrais chimique ($3,54 \text{ kg/m}^2$) ont été significativement supérieurs aux résultats du compost mélangé ($3,19 \text{ kg/m}^2$) et du compost fumure de cheval ($2,52 \text{ kg/m}^2$). Cependant, sur les sols basaltiques de Robin, le rendement a varié de manière non significative entre les amendements CFP, FC et CM respectivement de : $4,31 \text{ kg/m}^2$; $3,90 \text{ kg/m}^2$ et $3,71 \text{ kg/m}^2$. Toutefois, à Obléon où le sol est plutôt calcaire le rendement obtenu avec le CM ($2,67 \text{ kg/m}^2$) a été significativement inférieur au FC ($3,19 \text{ kg/m}^2$) : le plus haut rendement. En conclusion, les résultats ont montré qu'avec l'amendement organique à partir du CFP, des performances de croissances et des rendements similaires avec l'application de fertilisants chimiques peuvent être atteintes. Toutefois, le compost fabriqué à partir des matériaux les plus disponibles de la zone : résidus de récoltes mélangés au fumure de cheval donne des résultats peu intéressants.

Mots-clés : Compost, amendements organiques, *Cucurbita pepo*, basalte, calcaire, Kenscoff, agriculture de montagne.

ABSTRACT

Between March and June 2019, two open field experimental plots were conducted on basaltic and calcareous soils in Haiti to study the response of squash zucchini (*Cucurbita pepo* L.) based on organic amendments from compost and chemical fertilizer. This study consisted of five treatments: horse manure compost (CFC), hen manure compost (CFP), 1/1 mixture of CFC and CFP composts (CM), chemical fertilizer (FC) and a control treatment (T) that had not received any amendments. Soil and compost samples were collected and analyzed. The five treatments were distributed according to a complete random block system set up on two plots established in two different soil zones (basaltic and calcareous). Data collected on earliness, stem length, stem diameter, number of leaves per plant, number of fruits per plant, average fruit weight and yield were subjected to an analysis of variance. In case of a significant difference found, a multiple comparison of the means was performed according to Duncan's test at the 5% probability level ($p < 0.05$).

The results showed that the application of an organic or chemical amendment significantly improved the growth and yield of squash zucchini and that the control plants were characterized by early harvest, poor growth and low yields. Overall, the average yields of squash zucchini obtained with chicken manure compost (3.63 kg/m^2) and chemical fertilizer (3.54 kg/m^2) were significantly higher than the results of mixed compost (3.19 kg/m^2) and compost horse manure (2.52 kg/m^2). However, on Robin's basalt soils, yield varied insignificantly between the CFP, FC and CM amendments respectively from: 4.31 kg/m^2 ; 3.90 kg/m^2 and 3.71 kg/m^2 . Nonetheless, in Obléon, where the soil is rather calcareous, the yield obtained with the CM (2.67 kg/m^2) was significantly lower than the CF (3.19 kg/m^2): the highest yield. In conclusion, the results showed that with the organic amendment from the CFP, growth performance and similar yields with the application of chemical fertilizers can be reached. However, compost made from the most available materials in the area: crop residues mixed with horse manure gives poor results.

Keywords: Compost, organic amendments, *Cucurbita pepo*, basalt, calcareous, Kenscoff, mountain agriculture.

Table des matières

REMERCIEMENTS	i
RESUME.....	ii
ABSTRACT	iii
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES ANNEXES	vii
LISTE DES ABREVIATIONS	viii
I. INTRODUCTION.....	1
II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	3
2.1. Sols tropicaux	3
2.1.1. Caractéristiques	3
2.1.2. Classification	3
2.1.3. Amendement organique des sols tropicaux.....	5
2.2. Sols d'Haïti	5
2.2.1. Caractéristiques	6
2.2.2. Caractéristiques des sols de Kenscoff	6
2.3. Gestion de la fertilité des sols en Haïti	7
2.3.1. Pratiques précoloniales.....	7
2.3.2. Les pratiques de l'ère coloniale et postcoloniale	7
2.3.3. Engrais chimiques synthétiques en Haïti	7
2.4. Evaluation des sols	8
2.4.1. Fertilité des sols, qualité de la terre et capacité du sol	8
2.4.2. Qualité des sols.....	8
2.4.3. Indicateurs de qualités de sols.....	9
2.4.4. Nouveaux indicateurs de sols	9
2.5. Description du compost	10
2.5.1. Propriétés agronomiques du compost	10
2.5.2. Application du compost	12
2.6. Gestion de la matière organique en zones tropicales.....	12
2.6.1. Pratiques du compostage en milieu tropical.....	12
2.6.2. Compostage des sous-produits agro-alimentaires	13
2.6.3. Compostage des déchets agricoles en milieu paysan	13
2.6.4. Réalité du compostage en milieu rural tropical.....	14
2.7. Agriculture de montagne	15
2.7.1. Cultures maraîchères en zones de montagnes tropicales.....	16

2.7.2.	Culture de la courgette en zones tropicales de montagnes	16
2.8.	Quelques travaux scientifiques sur les amendements organiques	17
III.	MÉTHODOLOGIE	20
3.1.	Zone d'étude	20
•	Climat	21
3.2.	Matériels	21
3.2.1.	Végétal	21
3.2.2.	Composts.....	22
3.2.3.	Sols.....	22
3.3.	Dispositif expérimental.....	24
3.4.	Conduit de l'essai	26
3.4.1.	Choix des parcelles et préparation de sol	26
3.4.2.	Amendement organique des parcelles.....	26
3.4.3.	Application du fertilisant chimique.....	26
3.4.4.	Le semis des parcelles	26
3.4.5.	Entretien de l'essai	27
3.5.	Collectes des données	28
3.5.1.	Précocité	28
3.5.2.	Mesures de croissance	28
3.5.3.	Rendement et ses composantes	28
3.6.	Traitement et analyse des données	29
IV.	RESULTATS	30
4.1.	Précocité	30
4.2.	Croissance.....	31
4.2.1.	Longueur tige	31
4.2.2.	Diamètre tige	32
4.2.3.	Nombre de feuilles par plante	33
4.3.	Rendement et ses composantes.....	34
4.3.1.	Poids moyen d'un fruit	34
4.3.2.	Total fruits par plante	35
4.3.3.	Rendement.....	36
V.	DISCUSSION	37
VI.	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	40
VII.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	41

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation de la commune de Kenscoff et ses limites administratives.....	20
Figure 2. Température et pluviométrie de Kenscoff	21
Figure 3. Croquis du dispositif expérimental	25
Figure 4. Variation de la précocité de la courgette en fonction du type d'amendement et de la zone	30
Figure 5. Variation de la longueur des tiges de la courgette en fonction du type d'amendement et de la zone.....	31
Figure 6. Variation du diamètre des tiges de la courgette en fonction du type d'amendement et de la zone.....	32
Figure 7. Variation du nombre de feuilles par plante en fonction du type d'amendement et de la zone	33
Figure 8. Variation du poids moyen d'un fruit de la courgette en fonction du type d'amendement et de la zone.....	34
Figure 9. Variation du nombre total de fruits par plante en fonction du type d'amendement et de la zone.....	35
Figure 10. Variation du rendement de la courgette en fonction du type d'amendement et de la zone	36

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Matrice des données.....	a
Annexe 2. Précocité à la récolte de la courgette en fonction des amendements	b
Annexe 3. Longueur tige (en cm) de la courgette en fonction des amendements.....	b
Annexe 4. Diamètre tige (mm) de la courgette en fonction des amendements.....	b
Annexe 5. Nombre de feuilles par plante en fonction des amendements.....	c
Annexe 6. Poids moyen d'un fruit (en kg) de la courgette en fonction des amendements	c
Annexe 7. Total fruits par plante en fonction des amendements	c
Annexe 8. Rendement (en kg/m ²) de la courgette en fonction des amendements	d
Annexe 9. Localisation Google Earth des parcelles expérimentales à Kenscoff.	d
Annexe 10. Photos des parcelles expérimentales.....	e

LISTE DES ABREVIATIONS

Al	Aluminium
ARES	Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur
BME	Bureau des Mines et Energie
C.E.	Conductivité Electrique
Ca	Calcium
CFC	Compost Fumure de Cheval
CFP	Compost Fiente de Poule
Cl	Chlore
CM	Compost Mélangé
CRDD	Centre Rural de Développement Durable
dS/m	Déci siemens par mètre
FAMV	Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire
FAO	Food and Agricultural Organization of the United Nation
FC	Fertilisant Chimique
Fe	Fer
IHSI	Institut Haïtien de Statistique et d'Informatique
K ⁺	Ion potassium
K ₂ O	Oxyde de potassium
Mg	Magnésium
Mn	Manganèse
P ₂ O ₅	Hémipentoxyde de phosphore
ppm	Partie par million
SO ₄ ²⁻	Ion sulfate
SOHADERK	Solidarité Haïtienne pour le Développement Rural de Kenscoff
T	Témoin
UEH	Université d'Etat d'Haïti
EC	Emulsion concentrée
WP	Wettable powder
meq	milliéquivalent
t/ha	tonne à l'hectare

I. INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, le phénomène de la dégradation des sols agricoles est devenu un problème mondial significatif (Mekuriaw et *al.*, 2017 ; Pham et *al.*, 2018). Étant une ressource limitée et finie pour laquelle il faut entre 200 à 1000 années pour la formation d'une couche de 2,5 cm d'épaisseur, son exploitation à des fins agricoles est fragilisée par l'augmentation de la population mondiale et le changement climatique (Ciampalini et *al.*, 2011 ; Pimentel et *al.*, 1995 cité par Moges et Taye, 2016). La dégradation des sols est causée en partie par les mauvaises pratiques agricoles, ce qui conduit au déclin de leur fertilité et entraînant nombre d'impacts environnementaux négatifs (Prasannakumar et *al.*, 2011). Cette situation se révèle d'autant plus problématique dans les pays tropicaux, les régions semi-arides et plus spécifiquement en zones de montagneuses (Hishe et *al.*, 2017). En effet, le sol dégradé est caractérisé par une perte importante en éléments nutritifs et une baisse de la disponibilité en eau pour la plante (Ganasri et Ramesh, 2015 ; Terranova et *al.*, 2009). Ainsi, sur beaucoup d'îles des Caraïbes, la dégradation des sols, liée principalement à l'érosion, provoque une baisse importante de la productivité agricole (Barker et McGregor, 1995). En Haïti, pays montagneux, elle est un problème écologique et économique majeur du fait que les terres arables représentent seulement 21% des sols du pays et que près 70 % de la population dépend du secteur agricole qui absorbe environs 2/3 de la population active (Bayard et *al.*, 2006 ; Dolisca et *al.*, 2008).

En plus des pertes physiques de sols engendrées par l'érosion, la baisse de fertilité est une expression majeure de l'ampleur des dégâts. En Haïti, le déclin de fertilité n'est pas reconstitué ni par l'application d'engrais chimique, ni par des amendements organiques adéquats. D'une manière générale, la consommation d'Haïti en engrais chimiques synthétiques par unité de surface arable, principalement en azote, comparée aux pays voisins comme la République Dominicaine et les Etats-Unis d'Amérique, est très faible (Bargout et Raizada, 2013). Cependant, au niveau de certains bassins de production du pays, des études ont relevées des cas de sur fertilisation phosphatée et potassique en raison de l'application d'engrais chimiques de formulation inadaptées aux caractéristiques de sols (Duvivier et *al.*, 2006 ; Bargout et Raizada, 2013). En outre, la mauvaise gestion de la fertilité des sols est identifiée parmi les principales causes des faibles rendements obtenus dans le maraîchage en Haïti et plus précisément à Kenscoff (Pierre, 2007). Toutefois, ce problème peut être pallié durablement par la régénérescence effective et à long terme de la fertilité des sols en améliorant la structure du sol par accroissement du taux de matière organique (Inckel et *al.*, 2005 ; Shourije et *al.*, 2014).

En effet, la commune de Kenscoff située à 15 km de la région métropolitaine de Port-au-Prince (Capital d'Haïti) est une zone de montagne humide qui fournit le capital en produits maraichers et en fleurs coupées. Elle est l'une des plus importantes zones de production de légumes du pays (IICA, 2011). Sa proximité à la région métropolitaine de Port-au-Prince est un atout favorable non seulement pour l'écoulement des produits mais aussi par rapport à la quantité de déchets organiques disponibles. En fait, plus de 2 500 tonnes de déchets seraient produits par jour à Port-au-Prince et parmi lesquels 70% sont des matières fermentescibles (MTPTC, 2006 ; Thonart et *al.*, 2002). Il en ressort donc une potentialité énorme pour la production de compost. Par ailleurs, l'engrais chimique est à Kenscoff, le principal moyen de fertilisation des sols et les agriculteurs en deviennent dépendants. Le compostage des déchets organiques urbains, des résidus de cultures et des effluents d'élevages de Kenscoff constituerait une alternative viable face à l'utilisation inadéquate des engrais chimiques. En plus, il permettrait de diminuer les contraintes liées au faible moyen financier des agriculteurs à se procurer des intrants agricoles. Toutefois, le compostage est une pratique peu courante dans le milieu rural haïtien du fait que le procédé exige d'importants investissements en temps de travail et parfois en matériels. Très peu des centres de compostages existent en Haïti. De plus, beaucoup d'agriculteurs manifestent une méfiance vis-à-vis de la qualité du compost disponible qu'ils jugent inefficace comparé à l'utilisation des engrais chimiques (Finisse, 2013).

En outre, des études réalisées à travers le monde sur les pratiques d'amendements organiques ont obtenus des résultats intéressants où la fertilité des sols a été améliorée durablement et des rendements comparables à la fertilisation chimique ont pu être atteints (Koopmans et Bloem, 2018 ; Vanden Nest et *al.*, 2014 ; Ezzo et *al.*, 2012). Toutefois, ces résultats ont varié d'une année à d'autres et sont notamment influencés par nombre de facteurs comme, le type de compost, l'espèce cultivée, le type de sol et le régime pluviométrique des régions d'études. Ainsi, ce travail vise à améliorer la fertilité des sols par la pratique d'amendement organique afin de limiter l'utilisation des fertilisants chimiques pour une agriculture durable. De façon spécifique, il s'agira :

- d'analyser les principaux composts disponibles à la commune de Kenscoff ;
- de tester l'efficacité de différents types d'amendements à partir de composts et d'un fertilisant chimique sur les paramètres agronomiques de la courgette dans des sols basaltiques et calcaires de la commune de Kenscoff.

II. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1. Sols tropicaux

2.1.1. Caractéristiques

Les sols tropicaux représentent environ un tiers des sols mondiaux (Hartemink, 2004). Ce sont généralement des sols très âgés ayant évolués à plus d'un million d'années dans des conditions climatiques fluctuantes mais à température élevée (Giresse, 2008). Par rapport aux régions tempérées, ces sols sont d'une variabilité plus grande. Ils ont une palette de coloration caractéristique, ocre, brune ou rouge foncé, qui est due à la cristallisation sous l'effet de la chaleur d'oxyde de fer et d'oxyde d'aluminium les relâchant sous des formes libres. Cela confère au sol une teneur élevée en ces éléments. L'évolution de la matière organique dans les sols tropicaux est très rapide comparée aux sols tempérés et par conséquent l'évolution naturelle des sols en profondeur sous l'action des acides organiques est moins importante. Par contre, sous l'action des températures élevées, l'hydrolyse des minéraux primaires est plus importante. De ce fait, les roches mères s'altèrent lentement de manière permanente et prononcée. En absence de matières organiques, les phases d'altération des minéraux se font chronologiquement de la fersiallisation, puis la ferrugination et enfin vers la ferrallitisation. Cependant, la dernière phase est atteinte uniquement en conditions climatiques chaudes et humides. En climat moins chaud et sec, la deuxième phase est uniquement atteinte. Néanmoins, dans les conditions subtropicales sèches et méditerranéennes, l'évolution des sols est bloquée sur la première phase. Toutefois, on trouve également des sols fersiallitiques dans des endroits à sols tropicaux jeunes ou certaines conditions ont ralenti le processus d'évolution. Par ailleurs, les caractéristiques des sols sont étroitement liées avec la composition chimique de la roche-mère qui jouent sur l'évolution des argiles, le départ des bases et le mouvement du fer et de l'alumine. Un autre facteur important dans l'évolution des sols est la topographie qui influence l'accumulation des éléments solubles vers l'aval par le phénomène d'érosion. Cependant, ce phénomène peut provoquer le rajeunissement des sols en mettant à nu périodiquement les matériaux géologiques ou en apportant de nouveaux matériaux sur des sols situés en aval (Mustin, 1987).

2.1.2. Classification

La classification des sols tropicaux se fait selon des approches différentes qui varient en fonction de la référence en question. La Base de Référence Mondiale pour les ressources en sols développée par les organismes des nations unies : la FAO et l'UNESCO identifie 28 groupes de sols dominant en régions tropicales et subtropicales. Parmi lesquels : des acrisols,

des calcisols, des ferralsols, des podzols et des vertisols pour ne citer que ceux-là. Ces nominations sont différentes selon le système de taxonomie américaine des sols. Ainsi, pour les types de sols cités, leurs équivalences dans le système américain sont respectivement : ultisols, aridisols, oxisols, spodosols et vertisols (Tagami et *al.*, 2012). Cependant, selon les travaux du pédologue français Philippe Duchaufour cité par Mustin (1987), les sols tropicaux sont classés en fonction des phases d'évolutions des minéraux en trois grands groupes dans le système français de l'INRA/ORSTOM qui sont : les sols fersiallitiques, les sols ferrugineux et les sols ferrallitiques. En outre, il existe des sols de transitions qui prennent naissance quand l'humidité est très faible et que la teneur en matière organique dans tout le profil du sol est la même. Ces sols appelés les vertisols appartiennent aux sols isohumiques. Il s'agit des sols des bas-fonds où les conditions de drainage sont mauvaises. On peut citer comme exemple les sols bruns subarides au Sud du Sahara et les sols marrons en Afrique du Nord. Le processus d'évolution en ces trois groupes de sols est fondamentalement influencé par le facteur eau. Toutefois, d'autres facteurs comme l'action de l'homme exercée depuis des millénaires sont non négligeable dans le processus d'évolution.

- **Sols fersiallitiques, ferrugineux, ferrallitiques**

Les sols fersiallitiques sont rencontrés en conditions climatiques méditerranéennes, subtropicales et parfois tropicales. Ils sont caractéristiques des régions où il existe des contrastes saisons sèche chaude et saison humide tiède. Ils se développent sur n'importe quel type de roche-mère riche en calcium, en fer et en magnésium mais dépourvue de carbonates. Dans ce groupe se trouve *La Terra rossa* qui sont des sols fragiles développés sur du calcaire et dont leurs argiles proviennent de la décalcification. En absence de couvert végétal, ces sols sont exposés à une meilleure aération accompagnée d'une minéralisation rapide des composés humiques, à l'érosion sur des pentes et la perte de la matière organique des argiles et des limons. De telle dégradation conduit à des sols rouges avec une capacité de rétention en eau réduite où survivent pratiquement que des espèces xérophytes (Dudal, 2003 ; Mustin, 1987).

Toujours selon Mustin (1987), les sols ferrugineux sont caractéristiques des climats chauds avec une saison sèche longue. En terme d'évolution des sols, il s'agit d'un groupe de sols intermédiaire entre les sols fersiallitiques et les sols ferrallitiques. Ces sols sont dominés par la présence d'argile pauvres en silice comme la kaolinite résultant d'une translocation des minéraux primaires dans des sols fortement altérés.

Les sols ferrallitiques se retrouvent plutôt en conditions climatiques chaude et humide et correspondent à la dernière phase de l'évolution des sols. Par conséquent, ce sont des sols très âgés et très profonds atteignant 3 m à 10 m de profondeurs sur des roches altérées. Au niveau

de ce groupe de sols, la totalité des minéraux s'est hydrolysée, les bases et les silices sont absentes. La cristallisation en masse des oxydes de fer et d'alumine rendent est problématique à l'agriculture sur de pareils sols (Dudal, 2003 ; Mustin, 1987).

2.1.3. Amendement organique des sols tropicaux

La fertilité naturelle des sols tropicaux décroît dans le sens de l'évolution pédologique décrite (sols fersiallitiques, les sols ferrugineux et sols ferrallitiques). En effet, suivant le sens de cette évolution, les sols sont plus pauvres en base minérales nutritives et en silice, contiennent moins d'argiles susceptibles de former le complexe argilo-humique, et possèdent une capacité d'échange cationique faible. Par conséquent, les sols très évolués sont naturellement plus inertes, moins fertiles et plus enclins à la dégradation. Ainsi, un bon amendement organique des sols tropicaux doit se faire en fonction des groupes de sols étant donné que ceux-ci ont des caractéristiques différentes et évoluent également dans des conditions climatiques variées. Ainsi, les amendements peuvent être adaptés en fonction des trois principaux groupes de sols auxquels il est important d'ajouter le groupe intermédiaire des vertisols (Mustin, 1987).

Les sols fersiallitiques étant sujets aux phénomènes de remontée par capillarité des bases comme le calcium en saison sèche, et la libération importante d'oxyde de fer en saison humide, il est préférable de prioriser des apports en matière organique riche en humus en saison sèche et d'éviter des apports de matières organiques acides et des complexes trop solubles en saison humide. Dans le cas des sols ferrugineux caractérisés par la présence d'argiles pauvres en silice comme la kaolinite et la migration en profondeur des montmorillonites et des illites, un apport de matière organique plus considérable que le cas précédant est nécessaire. L'apport important de matière organique humifiée en surface des sols ferrallitiques est crucial à l'amélioration de leurs fertilités. En effet, sur ces sols très développés et profond la fertilité naturelle est liée uniquement à la remontée des éléments nutritifs par voie biologique. Etant des sols naturellement peu fertiles composés uniquement d'argile de type kaolinite, il est toutefois conseillé de faire des apports de poudres de roches broyées riches et basiques, de garder le sol couvert le plus longtemps, de faciliter la présence d'arbres afin de favoriser une vie biologique intense. L'apport de la matière organique sur les vertisols a très peu d'effets à court terme, cependant, il est conseillé de garder une couverture organique (*Ibid.*).

2.2. Sols d'Haïti

Les sols de la République d'Haïti proviennent de la dégradation de roches magmatiques (13,21%) et de roches sédimentaires (86,78%). Les calcaires éocènes au-dessus des roches volcaniques de types basaltes ou andésites de l'ère du Crétacé constituent la principale roche-

mère. Située sur la faille géologique la plus active entre la plaque tectonique Caraïbes et la plaque nord-américaine, Haïti possède une grande variété de roches sédimentaires et ignées. Celles-ci sont formées de la fin du Jurassique à nos jours, comme des diorites quartzifères, des calcaires et des schistes argileux, des calcaires massifs et crayeux, des marnes, des calcaires coralliens et des roches alluvionnaires (Chaves, 2010).

2.2.1. Caractéristiques

Du fait du relief accidenté d'Haïti constitué d'environ 75% de montagne, et de l'humidité relative élevé de ces milieux, les sols sont très évolués et peu fertiles en raison du drainage important au cours du processus de leur formation. Dans diverses régions du pays, des ferrisols de coloration plus ou moins vive sont formés à partir de l'altération des coulées basaltiques ou andésites. Ces sols se trouvent surtout dans des zones à forte pluviométrie annuelle comprise entre 1 500 à 2 000 mm avec un pH situé entre 5,2 et 6,2. D'autres part, des rendzines se développent sur des calcaires crayeux blancs donnant des sols d'apparence presque blanche. Ces sols dérivés de roche-mère calcaire vont du rendziniformes aux vertisols en passant par toute une gamme de sols calcimorphes. L'argile au niveau de ces sols est essentiellement montmorillonitique. D'autres types de sols sont développés sur du calcaire durs. Ils sont souvent observés proche des sols calcimorphes noirs avec des argiles de types montmorillonitiques. Ces sols se situent entre 700 et 1000 m d'altitude et jouissent d'une forte pluviométrie. Leurs caractéristiques permettraient de les qualifier fersiallitiques selon la classification française. Par ailleurs, il existe aussi d'autres types de sols comme des sols ferralitiques formés sur de la gibbsite et des sols ferralitiques moyennement désaturés où l'argile de type kaolinite prédomine (Colmet-Daage et *al.*, 1969).

2.2.2. Caractéristiques des sols de Kenscoff

A Kenscoff, zone de montagne humide culminant à une altitude moyenne de 1 500 m, deux types morphologiques prédominent : une morphologie karstique à laquelle les calcaires cristallins affleurent ; et une morphologie qui est caractérisée par des pentes ravinées, des crêtes étroites et très accidentées, ciselées par des vallées sur des roches-mère volcaniques basaltiques ou andésites. Les conditions climatiques de Kenscoff le classe dans la catégorie des montagnes humides. Ce qui a favorisé l'évolution pédologique vers une dominance du groupe des sols ferralitiques développés sur les principaux matériaux géologiques de base : le calcaire et le basalte (Destin, 2012 ; BME, 2006).

2.3. Gestion de la fertilité des sols en Haïti

2.3.1. Pratiques précoloniales

Les pratiques de gestion de la fertilité des sols ont changé à travers les siècles en fonction des différentes populations qui ont vécu sur l'île. En effet, au cours de la période précolombienne, les premiers habitants qui peuplaient Haïti (connus sous le nom de Taïnos), géraient la fertilité des sols par la pratique d'une forme d'agriculture dénommée conuco. Cette pratique consistait à faire sur des pentes ou des terrains plats des monticules de 0,7 m de haut et de 2 m de circonférence disposés en rangées. Ces monticules sont faits à partir de branchages et de résidus de récoltes laissés en décomposition sur lesquels les Taïnos cultivaient le maïs, le haricot et des tubercules. Ce système permettait au sol de garder un bon niveau de matière organique, restituait au sol des éléments nutritifs par la décomposition des résidus de récolte et des branchages. Chaque monticule était cultivé pendant 15 à 20 ans. Ils pratiquaient également un système assimilable à l'agroécologie de nos jours en associant la culture de plantes annuelles avec l'arboriculture (Bargout et Raizada, 2013).

2.3.2. Les pratiques de l'ère coloniale et postcoloniale

Ces pratiques de gestion de la fertilité de sols des Taïnos ont été abandonnées avec l'arrivée des colons qui ont instauré la monoculture de canne-à-sucre, de cacao et de café. Les pratiques agricoles pendant la colonisation et après l'indépendance favorisant l'abattage excessif des arbres (pour dégager suffisamment d'espaces agricoles) et l'exploitation du bois ont conduit à la dégradation des sols. De nos jours, les agriculteurs utilisent les engrais chimiques synthétiques, des fumiers provenant principalement de l'élevage de chèvres, de bovins, de volailles, de porcs et de chevaux pour amender leurs sols. L'une des sources majeures de fertilisants local sont les résidus de cultures de légumineuses qui ont une forte capacité à fixer l'azote de l'air. En dépit de tout, les pertes en éléments nutritifs du sol ne sont pas adéquatement restituées (*ibid.*).

2.3.3. Engrais chimiques synthétiques en Haïti

De façon générale, Haïti consomme très peu de fertilisants chimiques synthétiques. La consommation annuelle d'Haïti en engrais azoté est autour de 7 670 tonnes alors qu'elle est de 43 743 tonnes en République Dominicaine. La consommation en engrais azotés par km² de terre arable aux États-Unis est 700% plus élevé qu'en Haïti. Cette application à faible dose de fertilisants chimiques est attribuée au faible moyen financier des agriculteurs en dépit du fait que les engrais sont souvent subventionnés par l'état ou par des ONG. Toutefois, il existe une inadéquation entre les éléments nutritifs disponible dans les sols au niveau de plusieurs grandes

zones de production en Haïti et la formulation des principaux engrais disponibles. En zone de montagne, le principal fertilisant disponible et utilisé est l'engrais ternaire 12-12-20. Cet engrais utilisé en continu crée un excès de potassium dans le sol au fil du temps. C'est le même constat qu'on relève en zone de plaine où l'engrais 20-20-10 ou le di-ammonium phosphate (DAP) : 18-46-0 sont appliqués systématiquement après chaque culture. Pour preuve, des cas de sur fertilisation en phosphore et en potassium ont été relevés respectivement dans la Vallée de l'Artibonite (principale zone de production du riz en Haïti) et dans les zones de montagne de Kenscoff. L'urée (46-0-0) est également disponible, il est utilisé plus fréquemment en zones de plaine (Duvivier *et al.*, 2006 ; Bargout et Raizada, 2013).

2.4. Evaluation des sols

Pour évaluer les sols, les scientifiques définissent et utilisent plusieurs concepts comme : la fertilité des sols, la qualité de la terre, la capacité du sol, la qualité du sol. À part du domaine d'extraction des mines, l'intérêt principal d'évaluation du sol a été porté sur son potentiel de production agricole. Pour cela, des indicateurs sont déterminés et assemblés pour constituer des indices de qualité de sol qui sont spécifiques à des régions, des pays, des types de sols, etc. (Bünemann *et al.*, 2018 ; Juhos *et al.*, 2015).

2.4.1. Fertilité des sols, qualité de la terre et capacité du sol

Le concept de fertilité des sols est défini comme l'aptitude d'un sol à soutenir la production agricole associée au rendement des cultures (Bünemann *et al.*, 2018). Selon la FAO, la fertilité des sols est « la capacité du sol à fournir les éléments nutritifs essentiels aux plantes, l'eau en quantité et proportion adéquate pour la croissance et la reproduction des plantes, ceci en absence de substances toxiques pouvant inhiber la croissance des plantes ». En effet, cette définition prend en compte uniquement les propriétés physiques et chimiques du sol. Toutefois, le concept qualité de la terre intègre à la fois les caractéristiques du sol, de l'eau, du climat, de la topographie et de la végétation. Ainsi, il permet d'identifier les terres fertiles et celles à amender en particulier par la fumure organique. La capacité du sol tient compte de son potentiel intrinsèque à fournir des services écosystémiques et des moyens permettant d'atteindre ce potentiel.

2.4.2. Qualité des sols

Le concept qualité des sols a évolué au cours des siècles. Il met principalement l'accent sur les propriétés dynamiques du sol qui peuvent être fortement influencées par le mode de gestion et concernent souvent l'horizon supérieur du sol. Ce concept dépasse donc la productivité des sols en incluant les interactions entre l'homme et le sol, en englobant la durabilité des écosystèmes.

Ce dernier est primordiale pour les services écosystémiques tirés du sol ainsi que les valeurs intrinsèques des sols qui sont unique et irremplaçable. La notion de qualité des sols est l'un des trois composants de la qualité de l'environnement à côté de la qualité de l'air et de l'eau. C'est une notion très complexe à mesurer par rapport aux deux autres composants à cause de nombre de liens existant entre la fonction du sol et les services écosystémiques rendu par celui-là. Le concept de qualité des sols est défini de plusieurs façons. Toutefois, la définition la plus acceptée est « la capacité du sol à fonctionner dans les limites écologiques et d'utilisation des terres, à pérenniser la productivité biologique, à maintenir la qualité de l'air et à promouvoir la santé animale et végétale » (Bünemann et *al.*, 2018 ; Juhos et *al.*, 2015).

2.4.3. Indicateurs de qualités de sols

Il existe plusieurs types d'indicateurs permettant de mesurer la qualité d'un sol. Ils sont divisés en 3 groupes tenant compte des grandes fonctions du sol qui sont d'assurer : l'infiltration de l'eau ; le stockage de l'eau et des éléments nutritifs, l'approvisionnement et le cycle des éléments nutritifs ; le maintien des activités biologiques. Ces indicateurs peuvent être de type chimique, physique ou microbiologique. Les propriétés physiques du sol sont généralement liées à sa capacité à stocker et fournir de l'eau à la plante. Les indicateurs physiques expriment la capacité de rétention, la densité apparente et la texture du sol. Les indicateurs chimiques prennent en compte la capacité du sol à stocker, fournir et assurer le cycle des éléments nutritifs. Les indicateurs chimiques les plus utilisés sont : la teneur en carbone organiques, le pH, le phosphore et le potassium disponible, l'azote total, la conductivité électrique, la capacité d'échange cationique et l'azote minérale. La matière organique du sol est parmi des plus importants indicateurs du fait qu'elle affecte les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Les indicateurs biologiques définissent l'aptitude du sol à maintenir des activités biologiques. Les principaux indicateurs biologiques sont : la respiration du sol, la biomasse microbienne, la minéralisation de l'azote et la densité des vers de terre (Bünemann et *al.*, 2018 ; Giacometti et *al.*, 2012 ; Lima et *al.*, 2012).

2.4.4. Nouveaux indicateurs de sols

De nouveaux indicateurs de sols sont mentionnés dans les revues scientifiques récentes. Il s'agit notamment des organismes jouant un rôle central dans le fonctionnement des sols et l'activité racinaire (Lima et *al.*, 2012). La composition de la communauté des nématodes est parmi les meilleurs indicateurs de mesure de la santé des sols. Elle exprime le niveau de perturbation des sols et augmente avec la pratique de la fertilisation organique (Ugarte et *al.*, 2013). D'autres espèces comme les micro-arthropodes et d'autres biotes sont d'importants indicateurs de la

santé du sol à cause de leurs réactivités aux changements dans le sol. Toutefois, ces indicateurs ne sont pas assez connus par le monde scientifique (Bünemann et *al.*, 2018).

L'ensemble de tous ces indicateurs exprime la qualité du sol qui est donc le résultat des interactions entre les caractéristiques chimiques, physiques et biologiques du sol. Comme il est cité précédemment, ces indicateurs permettent de déterminer le potentiel agricole d'un sol exprimé en grande partie par le rendement des cultures (D'Hose et *al.*, 2016).

2.5. Description du compost

Selon Mustin (1987), le compost est un produit stable riche en humus provenant du processus de dégradation de toutes les matières organiques et contenant des organismes vivants et des éléments nutritifs pour les plantes. Ce produit provient du procédé appelé le compostage qui est un processus naturel de dégradation ou de décomposition de la matière organique fraîche par les micro-organismes (FAO, 2005). Ce procédé est non seulement utilisé pour traiter les matières biodégradables qui polluent les centres urbains des pays en développement mais aussi pour ces valeurs agronomiques.

2.5.1. Propriétés agronomiques du compost

L'utilisation du compost dans l'agriculture est considérée comme étant une pratique durable garantissant la conservation et l'équilibre environnemental, la sécurité sanitaire des fermiers, des opérateurs et des consommateurs, et est économiquement viable pour les agriculteurs. Toutefois, l'évaluation de la qualité agronomique du compost est difficile à réaliser à cause de sa propriété à libérer lentement les éléments nutritifs responsables de l'augmentation du rendement des cultures. Ainsi, une bonne évaluation doit se faire au cours de plusieurs années successives. Comme pour les indicateurs de qualité de sol, l'évaluation du compost tient compte des propriétés chimiques, physiques et biologiques du produit (Tittarelli et *al.*, 2007).

- **Propriétés chimiques**

Pour évaluer les propriétés chimiques du compost, sa concentration en azote est la plus importante du point de vue agronomique. L'azote est en effet l'élément de base pris en compte lors des calculs des taux d'application de fertilisant. Cependant, selon les auteurs le pourcentage d'azote total disponible pour la plante au fil des années varie. Si pour Al-Bataina et *al.* (2016) les composts relâchent 1 à 3% du contenu en azote total par an en fonction de l'âge du compost, pour Tittarelli et *al.* (2007) 10 à 15% de l'azote total contenu dans le compost est immédiatement disponible sous forme minérale et 30 à 35% sont relâchés au cours de la première année. Toutefois, selon Sullivan et *al.* (2018) le pourcentage de l'azote totale disponible pour la plante au cours de la première année fluctue en fonction du ratio C/N du

compost. Ainsi, si le ratio C/N est supérieur à 20, il se produit alors une faim d'azote au niveau du sol, le peu d'azote relâché est consommé par les microorganismes pour continuer la décomposition du compost. Par conséquent, il n'y a donc pas d'azote disponible pour la plante. Si le ratio C/N est entre 10 et 20, environ 5% de l'azote total est disponible au cours de la première année. Dans le dernier cas, si le rapport C/N est inférieur à 10, entre 10 à 20% de l'azote total est alors disponible au cours de la première année après l'application. Cependant, le type de sol a des effets sur la vitesse de minéralisation de l'azote après un amendement organique. Les sols limono-argileuse se caractérisent par une forte capacité (2 fois plus) de minéralisation de l'azote par rapport aux sols sableux (Elherradi et *al.*, 2005). Le reste d'azote se relâche à un taux dégressif au cours des années suivantes et le processus de lixiviation peut durer de nombreuses années. Par ailleurs, le compost contient entre 0,6 à 2% de phosphore par matière sèche ce qui est suffisant à la plante si les besoins en azote sont ajustés. Les composts ont généralement une faible concentration en potassium (Tittarelli et *al.*, 2007).

- **Propriétés physiques**

Comme pour l'aspect chimique, l'application du compost améliore également les propriétés physiques du sol en augmentant par ricochet sa fertilité. La pratique de l'agriculture conventionnelle détruit la structure du sol par la réduction du taux de matière organique du sol. Par contre, l'utilisation du compost améliore la structure du sol en organisant ses particules en agrégats. D'autres bienfaits physiques sont apportés au sol par le compost comme l'amélioration de sa capacité d'échange cationique (CEC), sa capacité de rétention en eau ainsi que sa perméabilité (Tittarelli et *al.*, 2007).

- **Propriétés biologiques**

La dynamique des communautés microbiennes au cours du compostage évolue en fonction des conditions environnementales et se succèdent dépendamment des phases. Les trois grands groupes de microorganismes : bactéries, champignons et virus sont présents dans le compost. Cependant, les plus importants pour la fertilité des sols sont les communautés des cellulolytiques, pectinolytiques, protéinolytiques, des bactéries nitrifiantes qui contribuent au cycle des éléments nutritifs du sol. Les communautés saprophytiques du compost sont également d'une grande importance vue qu'elles participent au contrôle des pathogènes éventuellement présents dans le compost mais constituent aussi une source d'azote et de carbone par la minéralisation de leurs biomasses après leurs morts (*ibid.*).

2.5.2. Application du compost

Il est souvent recommandé d'appliquer le compost en surface et de ne le pas enfouir dans le sol. La dose à appliquer varie dans la littérature de 25 t/ha jusqu'à 150 t/ha en fonction des matériaux de base qui entre dans la fabrication du compost, de la culture et de la région. Selon « la directive suisse de 2010 sur la qualité du compost et du digestat », il est recommandé d'appliquer au plus 25 tonnes de composts solides (matière sèche) à l'hectare sur trois ans. Cette valeur correspond en fonction de la masse volumique du compost à environ 80-90 m³ (environ 80 à 100 tonnes) de matière fraîche. Aux Etats-Unis, jusqu'à 155 t/ha de composts ont été appliqués lors d'une étude et ont obtenu des relâchements d'azote pendant une période de sept ans (Horrocks et *al.*, 2016).

2.6. Gestion de la matière organique en zones tropicales

La gestion de la matière organique dans les pays tropicaux qui sont pour la plupart des pays en voie de développement se diffère des pratiques en zones tempérées. En effet, les conditions pédoclimatiques différentes sont à la base de cette catégorisation. Ainsi, des contraintes liées à l'érosion des sols (pluviale et éolienne), les longues périodes de sécheresses surtout dans la région sahélienne d'Afrique constituent des freins au développement de l'agriculture dans ces endroits. En zones tropicales, la minéralisation de la matière organique est plus rapide qu'en zones tempérées à cause de la température. Par conséquent, le maintien de la fertilité chimique et biologique des sols est un défi du fait que la restitution de la matière organique au sol est insuffisante dans les systèmes agricoles pratiqués. La biomasse en milieu tropical se trouve donc piégée dans un cercle vicieux où les mauvaises conjonctions des facteurs de production comme l'érosion des sols et les sécheresses conduisent à la réduction de la biomasse produite par unité de surface. Ce qui entraîne une diminution progressive de la disponibilité de la nourriture, des matières premières ainsi que la restitution des matières organiques au niveau du sol. En somme de tout cela, le taux d'humus au niveau des sols cultivés diminue drastiquement d'où les sols pauvres et dégradés des zones tropicales (Mustin, 1987).

2.6.1. Pratiques du compostage en milieu tropical

Dans les pays tropicaux, la biomasse et l'eau sont d'une importance capitale dans le fonctionnement du système en place. La biomasse sert comme nourriture, source d'amendement organique des sols, matières premières pour la confection d'outils, de vêtements ou d'habitats, mais aussi comme principale source d'énergie de cuisson et d'éclairage. L'eau qui est rare dans certains cas reste l'élément central de toute cette production. La modification d'un des facteurs extérieurs comme la démographie ou le climat peut bouleverser profondément

le fonctionnement de tels systèmes traditionnels souvent peu écologiques. De ces désorganisations surviennent la répétition dans ces régions des crises alimentaires, économiques et politiques. Dans de pareils systèmes, le recyclage de la matière organique est nécessaire et englobe les principales sources de matières premières disponibles classées en deux situations distinctes : les sous-produits animaux et végétaux (sous-produits de l'agro-alimentaire par exemple), et les sous-produits agricoles, artisanaux ou alimentaires des zones rurales (*ibid.*).

2.6.2. Compostage des sous-produits agro-alimentaires

Dans les pays en voie de développement les sous-produits agro-alimentaires sont des matières premières importantes et disponibles en grandes quantités pour le compostage. Ils représentent un potentiel énorme de par leurs teneurs élevées en minéraux majeurs qui auraient représenté entre 5 à 10 fois l'équivalent en NPK des engrais chimiques utilisés (Mustin, 1987). Le compostage de ces sous-produits nécessite cependant des techniques appropriées afin d'éviter la contamination du sol et de la nappe phréatique par des composés chimiques nocifs. Ces sous-produits agro-alimentaires sont en grande partie : les parches de café, les cabosses de cacaoyer, les coques d'arachides, les bagasses de canne à sucre, la farine d'os, les litières (volailles, chèvres, moutons, etc.), les tourteaux d'oléagineux ou des boues résiduelles. Le compostage industriel de ces sous-produits est surtout réalisé dans des grandes villes Sud-Américaines, Africaines ou Asiatiques et est quasi totalement absent en milieu rural. Cette production à grande échelle se fait selon les techniques appropriées comme le compostage en : andains retournés, andains aérés passivement ou en tas statique aéré. Ils peuvent-être également compostés selon des techniques en récipient clos comme le compostage en casier ou en lits rectangulaires remués, l'aération et le retournement mécanisés sont généralement nécessaires dans de tels cas (FAO, 2005).

2.6.3. Compostage des déchets agricoles en milieu paysan

A l'opposé du secteur de l'agro-alimentation où des sous-produits organiques sont disponibles en grande quantité, dans le milieu paysan, le gaspillage de la matière organique est très rare. Dans ce cas, le peu de ressources disponibles doit être combinés à d'autres techniques permettant d'améliorer la fertilité des sols comme les cultures associées, les rotations culturales appropriées, les engrais verts et la couverture du sol par les modes de paillage. Toutefois, l'aspect sanitaire doit être pris très au sérieux dans le compostage des sous-produits organiques en zones rurales afin d'éviter la propagation des maladies infectieuses et parasitaires, notamment à cause de l'utilisation de techniques inappropriées de compostage de déjections

animales et humaines. Différentes méthodes sont applicables au compostage en milieu paysan. On peut citer la méthode *Indore* et ses dérivées, la méthode *Bangalore* et la méthode des fosses fumières modifiées (Mustin, 1987).

Le procédé *Indore* consiste à mélanger des déchets végétaux et animaux suivant des couches superposées jusqu'à ce que le tas atteigne 1,5 à 2 m de hauteur. Ce tas est retourné au bout de 2 à 3 semaines et l'action est répétée jusqu'à 3 fois. Le compostage selon ce procédé dure entre 3 à 6 mois en fonction des conditions du milieu et de la composition du matériel de départ. Dans les conditions idéales, une base est ajoutée au mélange afin de neutraliser les excès d'acides. Le mélange est par la suite traité afin de créer des conditions favorables au bon déroulement des activités des microorganismes. Le procédé *Bangalore* diffère du procédé *Indore* par le fait que dans ce cas le mélange est hermétiquement protégé de l'air ambiant par des mottes de boues ou d'herbes appliquées après le montage du tas. Il a l'avantage d'être plus économe en eau et en temps de travail puisque le tas ne nécessite pas de retournement et la perte en eau est considérablement réduite. Cependant, le processus de compostage est plus long du fait que les microorganismes favorisés par ce procédé sont anaérobiques. La présence de germes pathogènes et de graines de mauvaises herbe est plus importante vu que la température de compostage est plus basse par rapport au procédé *Indore*. Le procédé de compostage en fosse consiste à creuser des fosses de 1,5 à 2 m de large et de 50 cm de profondeur dans lesquelles des déchets végétaux frais et sèche sont entassés, arrosés puis recouverts d'une couche d'herbes ou de feuilles afin de limiter l'évaporation. Cependant, la profondeur peut aller jusqu'à 1 m dépendamment du niveau de la nappe phréatique. Le contenu des fosses est reversé dans deux autres fosses consécutives dans un intervalle de deux à trois semaines. Cette méthode à l'avantage d'être facilement applicable, économe en investissement en matériels et convenable dans les régions sèches. Elle peut également permettre de maintenir une température élevée dans des tas de peu de volume et de garder une humidité correcte le long du processus. Toutefois, elle ne convient pas dans les régions à pluviométrie élevée où l'excès en eau peut provoquer l'arrêt du processus aérobie du compostage, le lessivage du produit et la contamination de la nappe. Le contrôle du processus est plus difficile, l'accès limité et les retournements manuels problématiques (Inckel, 2005).

2.6.4. Réalité du compostage en milieu rural tropical

En milieu rural des zones tropicales, la réalisation du compost se fait généralement avec très peu d'outils motorisés et par conséquent la force musculaire prédomine. Le transport des matériels se font pratiquement dans des sacs ou paniers acheminés sur le site de compostage à

travers des brouettes et parfois sur des charrettes à traction animale. De ce fait, il est souhaitable que les sites de compostage soient placés proches de la source de provenance des matières premières et des champs cultivés pour lesquels les produits sont destinés. Les travaux de retournement de tas, de creusement de fosses et de broyage des déchets végétaux sont faits à partir d'outils manuels comme la pelle, la fourche, la pioche et la machette et dans de rare cas des broyeurs mécaniques. Parfois, le broyage des matériaux végétaux se fait par le piétinement du bétail. Les structures comme les bacs sont faites en bois, parfois en béton et les clôtures à partir de haies brise-vent. L'apport en eau comme les autres opérations précédentes est manuel et provient du pompage manuel ou par la force motrice animale, et dans certaines situations à partir d'énergie solaire ou éolienne. Pour les mêmes raisons liées au transport des matières premières le site de compostage doit être placé le plus proche possible d'un point d'eau afin de réduire les heures de travail supplémentaire. Dans certains endroits, de la chaux ou des cendres sont ajoutés au produits finis afin de corriger des problèmes d'acidification de sols. En conditions tropicales, le processus de fabrication du compost et son épandage nécessite deux à trois homme/jour/tonne (Mustin, 1987). Après une étude réalisée par Ouédraogo et *al.*, (2000) au Burkina Faso, ils ont relevé que l'une des contraintes de l'application du compost en zone rurale des pays en développement est que sa production exige d'important investissement en temps, en ressources organiques et travail intensif. D'où l'importance du mode de tenure des terres. Elle exige aussi un investissement en matériel, tels que la fourche, des brouettes, des broyeurs, etc. que les petits planteurs ne peuvent s'offrir le luxe. Toutes ces contraintes compromettent l'adoption du compostage par les planteurs. Toujours selon Ouédraogo et *al.*, (2000), la quantité de matière organique n'est pas influencé par l'application à court terme du compost. De ce fait, des expériences à long terme sont donc nécessaire pour tirer des réponses concluantes.

2.7. Agriculture de montagne

La commission européenne dans l'article 18.1 de la réglementation (EC) 1257/1999 : *LFA Mountain*, définit les zones de montagne comme étant caractérisées par des limitations considérables des possibilités d'utilisation des terres et par une augmentation du coût de leur exploitation en raison : des conditions climatiques difficiles l'altitude, des pentes trop abruptes rendant difficile l'utilisation de machines (Santini et *al.*, 2013). Les régions montagneuses au niveau mondial couvrent 24% de la surface terrestre et sont peuplées par 12% de la population. Dans les régions tropicales les zones de montagne présentent de grande potentialités agricoles puisque les pluies y sont plus fréquentes qu'en plaine et la température est plus favorable à la

production de certaines cultures. Par conséquent, dans ces régions on y trouve des systèmes agricoles très variés de la production fruitières, caféières, des cultures maraîchères, des condiments et même dans certains cas des cultures céréalières. Toutefois, les contraintes liées aux pentes abruptes et la mécanisation de l'agriculture subsistent en zones tropicales. Dans la plupart des pays l'agriculture de montagne est une agriculture de subsistance caractérisée par une faible productivité liée aux nombreuses contraintes (FAO, 2013).

2.7.1. Cultures maraîchères en zones de montagnes tropicales

La production maraîchère dans les zones de montagne tropicales est très variée d'un pays à l'autre et peut jouer un rôle important dans l'économie de certains pays comme l'Égypte. Les principales cultures trouvées au niveau de ces régions sont : la tomate, l'oignon, le poireau, l'ail, les choux, l'aubergine, le piment, le poivron, la carotte, le navet, le radis, la pomme de terre, les concombres, les cornichons, le melon, les amarantes, les courges et courgettes. Ces cultures sont pour la plupart très exigeantes en eau et s'adaptent beaucoup plus dans les zones de montagnes humides. Généralement très gourmandes en azotes et en sol de bonne qualité, la production durable de ces cultures nécessite pour la plupart le maintien d'une bonne pratique de fumure organique (Nyabyenda, 1994).

La production en zones tropicales d'Afrique est concentrée en Afrique du Nord principalement en Égypte qui produit jusqu'à 199 kg/habitant de légumes suivie du Cameroun (84,91 kg/habitant) et le Nigéria (68,36 kg/habitant). Cependant, la production fait face à de nombreuses contraintes dont celle de gestion de la fertilité des sols. En effet, la configuration du relief des zones tropicales de haute altitude favorise l'érosion des sols et son appauvrissement. La culture maraîchère dans ces conditions épuise davantage les sols et les rend encore plus fragiles. Ainsi, la durabilité de ces systèmes de production est menacée sans une bonne gestion des sols. En plus des contraintes liées au relief des zones de montagnes, les problèmes phytosanitaires sont un souci majeur étant données que ces régions sont souvent très humides et favorisent la présence et la prolifération des bio-agresseurs (*ibid.*).

2.7.2. Culture de la courgette en zones tropicales de montagnes

Originaire d'Amérique central, la courgette (*Cucurbita pepo* L.) est cultivée dans les zones tropicales de haute altitude d'Afrique et est consommée comme légume frais ou cuits. Elle est une herbacée rampante à croissance indéterminée. Toutefois, certaines variétés ont un port dressé. La multiplication de la courgette se fait par graines. La culture débute par la plantation qui se fait par semis direct en poquets au champ. La courgette est exigeante en azote et nécessite un sol riche en humus et léger. De ce fait, le fumier est ajouté au début de la préparation des

sols. Son développement est favorisé par un climat ensoleillé, un peu humide bien qu'elle peut supporter des températures basses. Par rapport aux autres cultures comme la tomate, la pomme de terre ou l'oignon, la culture de la courgette est moins sensible aux problèmes phytosanitaires. La maladie principale des courgettes est l'oïdium. Cette dernière, cause très peu de dégâts vu qu'elle apparaît souvent en fin de cycle. Après la récolte, la courgette est consommée soit directement ou après un temps de conservation. Le produit se vend souvent dans les marchés locaux (Nyabyenda, 1994).

2.8. Quelques travaux scientifiques sur les amendements organiques

Entre 2005 et 2012, une étude sur champs expérimental a été menée en Belgique sur des cultures fourragères, des légumes et d'autres cultures annuels afin de comparer plusieurs types de fertilisants et leurs capacités à faire augmenter le taux de matière organique du sol sans pour autant augmenter la perte potentielle de phosphore par lessivage. Pendant huit ans, trois types de composts, du lisier de bétail, du fumier de ferme et des engrais minéraux ont été comparés en mesurant le contenu du sol en phosphore et en carbone, l'exportation et lessivage du phosphore dans le sol et le rendement de plusieurs cultures. Chaque année, les apports sont faits après calcul des doses à appliquer en fonction de la balance d'azote disponible dans le sol après chaque amendement. Comme attendu, le fumier de ferme et les composts ont été les meilleures options pour faire augmenter le contenu en carbone du sol. Les engrais minéraux et les lisiers de bétail avait tendance à produire les rendements les plus bas que les composts et le fumier de ferme. Les résultats sur l'augmentation du contenu du sol en carbone par les composts et le fumier de ferme, l'amélioration des qualités chimiques, physiques et biologiques ont été fermement prouvés. Cependant, ceux à propos d'une nette augmentation ou diminution du rendement des cultures n'ont pas été tout à fait concluants bien que dans nombre de cas leurs résultats sont similaires à l'engrais minéral. En outre, les conditions d'humidité différentes au niveau du sol au cours des années d'expérimentation, notamment en 2005, auraient également influencé aussi les résultats de rendement (Vanden Nest et *al.*, 2014).

D'autres part en Belgique, D'Hose et *al.* (2013) ont mené une expérience en plein champs pendant six ans pour étudier la relation entre la qualité des sols et la production agricole. Au cours de cette étude, ils ont testé les effets du compost de ferme sur les rendements de la pomme de terre, de la betterave fourragère, du maïs fourrager et des choux de Bruxelles. Le rendement des cultures a été l'élément fonctionnel pour vérifier la relation entre les indices de qualité de sols et la production végétale. Sur chaque parcelle, les éléments NPK ont été appliqués à dose égale en complétant les apports des composts par des engrais minéraux. Ils ont observé une

augmentation des rendements des cultures tant que le contenu du sol en carbone organique augmente. Ainsi, l'étude a relevé que le pourcentage de carbone organique du sol est l'indice de qualité de sol qui influence le plus la production végétale.

Toujours en Belgique, Koopmans et Bloem (2018) ont effectué une recherche de longue durée en collectant des données pendant dix-sept ans sur l'effet du compost et des fumiers sur la production des plantes cultivées (maïs, poireau, salsifis, etc.). Au cours de cette étude qui a démarré en 1999, différents types d'amendements ont été comparés : des engrais minéraux ou traitements au lisier ; des composts de plantes, ménagers et composts naturels ; des fumiers de volaille, des traitements au fumier profondément stable et compost ménager et de boues. Après dix-sept années d'amendements en appliquant au maximum 100 kg d'azote par hectare par an (calculé en fonction du contenu en azote minéral de chaque type d'amendement), des mesures ont été effectuées sur le taux de matières organiques du sol, la minéralisation de l'azote au niveau du sol, la vie biologique du sol et le rendement des cultures. Les résultats obtenus ont montré une augmentation significative du taux de matières organiques au niveau des sols traités au compost naturel, fumier profondément stable et le compost ménager et de boues alors qu'aucune augmentation n'a été observée pour les engrais minéraux et le lisier. Le même cas de figure a été noté pour la minéralisation de l'azote au niveau du sol, où les engrais minéraux ont obtenu les résultats les plus faibles par rapports aux composts. Pour les résultats concernant le rendement des cultures, ils ont une grande variabilité en fonction de l'année et de la culture. Si pour le salsifis (*Tragopogon porrifolius* L) les rendements les plus faibles ont été obtenus avec l'engrais minéral et le compost de plante, les rendements les plus élevés ont été observés avec le fumier de volaille, le fumier profondément stable et le compost ménager et de boues. Pour le poireau (*Allium ampeloprasum* var. *porrum*, L.) le compost a un rendement de 2% supérieur à la moyenne en 2014 et 56% inférieure à la moyenne en 2015 pour le maïs (*Zea mays*, L.). Toutefois, les meilleurs résultats en général ont été obtenus avec les traitements améliorant en même temps la nutrition des plantes et la qualité des sols.

En outre, une étude a été menée au Sri Lanka pendant deux ans sur les amendements organiques avec comme objectif de comparer l'impact de l'utilisation des engrais verts et des engrais minéraux sur la matière organique du sol et la productivité agricole dans les zones en pente. Les traitements ont été comparés entre les champs de production (faible teneur en matière organique) et les jardins de case (teneur élevée en matière organique). Les meilleurs résultats en terme de rendement pour l'amendement organique à partir d'engrais vert ont été obtenus dans les jardins de case où le taux de matières organiques du sol a été plus important. Cependant, les

engrais minéraux ont donné les plus hauts rendements au niveau des jardins de case. L'amendement organique n'avait aucun impact sur le rendement des cultures dans les champs cultivés bien qu'il a amélioré la capacité de rétention en eau du sol. Bien que les risques d'érosion persistent dans les sols en pente mais, l'utilité de l'amendement organique (engrais vert à partir du *Gliricidia*) dans la lutte contre l'érosion a été prouvée (Egodawatta et *al.*, 2012).

Par ailleurs, en Hongrie, Juhos et *al.* (2015) ont étudié l'influence de la qualité des sols sur le rendement des cultures à travers les indicateurs pédologiques. Au cours de cette étude, des données de rendement sur dix ans ont été collectées et des échantillons de sols prélevés et analysés. Au bout de leurs analyses, les facteurs principaux ayant déterminé le rendement ont été : l'humidité du sol (résultant de sa position topographique), la teneur en argile et la faible teneur en matière organique du sol.

Pour comparer l'amélioration de la croissance et du rendement de la courgette en Egypte sous fertilisation organique, deux années d'études expérimentales ont été menées sur la possibilité de remplacer totalement des engrais minéraux azotés par des azotes issus d'amendements organiques. Dans le cadre de cette étude en plus de l'engrais minéral et du fumier de volaille, trois traitements supplémentaires hormonaux jouant un rôle de régulateur de croissance et d'améliorateurs de sex-ratio ont été appliqués. Les résultats ont montré qu'avec le remplacement complète des engrais minéraux azotés par du fumier de poulet les courgettes ont une croissance lente, une floraison précoce, des petits fruits et des rendements faibles. Parmi les fertilisants organiques, les traitements hormonaux ont été supérieurs sur tous les paramètres que le fumier de volaille. L'engrais azoté minéral a donné de meilleurs résultats sur tous les paramètres. Cependant, l'un des traitements hormonaux a donné des résultats sur la croissance, le poids moyen de fruit et le rendement précoce significativement pareils à l'engrais minéral (Ezzo et *al.*, 2012).

III. MÉTHODOLOGIE

3.1. Zone d'étude

L'étude a été menée à Kenscoff, commune du département de l'Ouest située à 14 km de la zone métropolitaine de Port-au-Prince, capitale de la République d'Haïti (figure 1). Divisé en cinq sections communales : Nouvelle-Tourraine, Bongars, Sourçailles, Belle-Fontaine et Grand-Fond, Kenscoff a une superficie de 208 km² et contient 54 809 habitants dont 67,39 % vivent en milieu rural (IHSI, 2012). Kenscoff fait partie du Massif de la Selle, plus haute chaîne de montagne en Haïti culminant jusqu'à 2680 m d'altitude. Il est par conséquent la commune la plus pentue du département de l'Ouest. Ses sols proviennent de la dégradation des deux grandes classes de roches dominant la chaîne de montagne, à savoir : les roches sédimentaires de type calcaire et les roches volcaniques de type basaltique ou andésites (BME, 2006). De fait, deux parcelles expérimentales ont été mise en place dont l'un à Obléon, localité de la section communale de Sourçailles dominées par des sols développés sur du calcaire et l'autre à Robin, localité de la section communale de Grand-Fond où les sols basaltiques dominent.

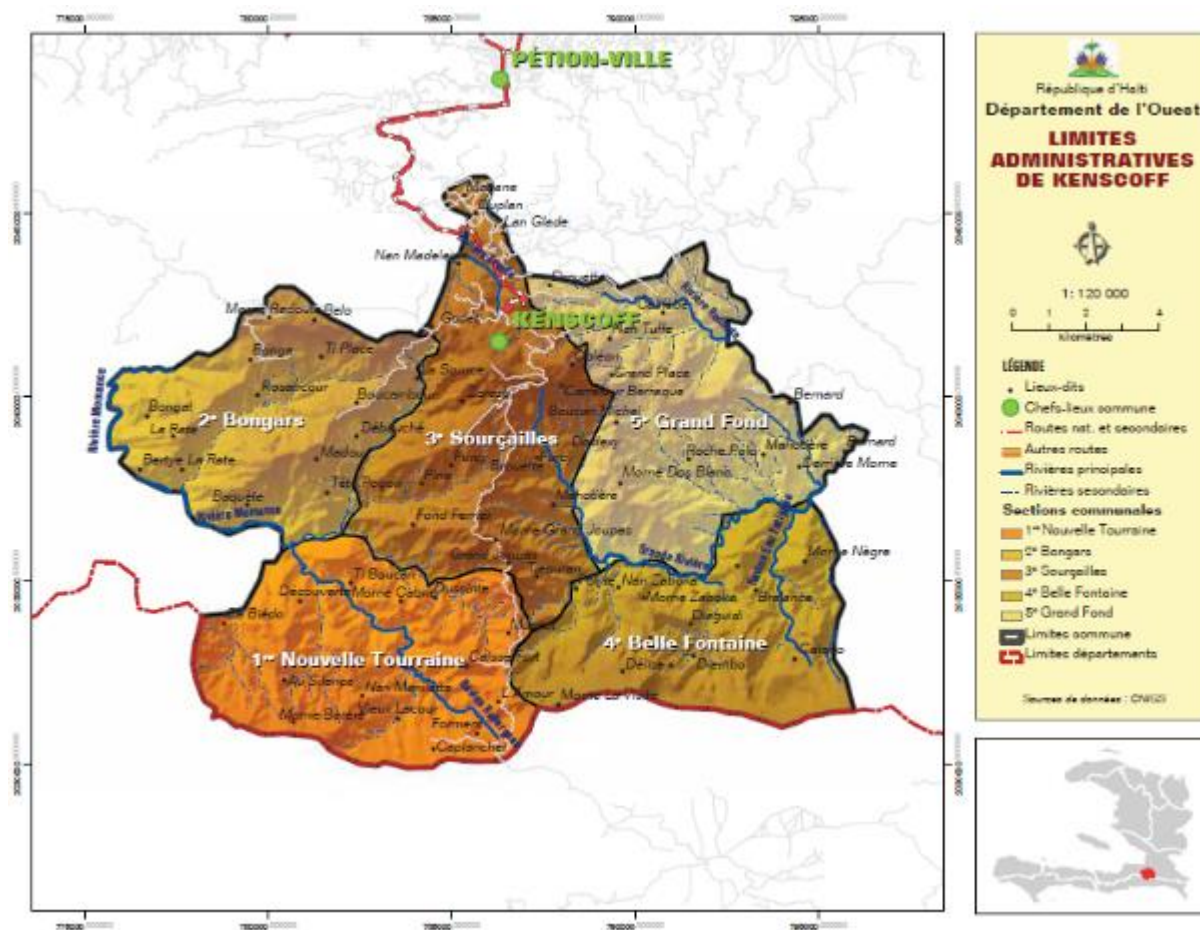


Figure 1. Localisation de la commune de Kenscoff et ses limites administratives.

Source : Mairie de Kenscoff, 2015.

- **Climat**

Par son altitude élevée, Kenscoff jouit d'un climat doux où la température moyenne varie entre 15 °C et 18,6 °C (figure 2) pour un gradient de température de 0,75 °C par 100 m. Ces températures propices à la production agricole font de Kenscoff, l'une des plus grandes zones de production maraîchère du pays fournissant des fruits et légumes à la région métropolitaine de Port-au-Prince. La répartition des pluies divise l'année en deux grandes saisons. D'abord, la saison pluvieuse qui débute au mois d'avril et prend fin au mois d'octobre avec une baisse de la fréquence des pluies en juin. Et la saison sèche qui s'étend du mois de novembre à mars (figure 2). Ainsi, Kenscoff reçoit annuellement entre 1600 et 2000 mm de pluies. Ce qui le classe dans la catégorie de zone de montagne humide. Dans le cadre de cette étude, l'expérience a été menée du 26 mars au 12 juin, donc cours de la saison pluvieuse.

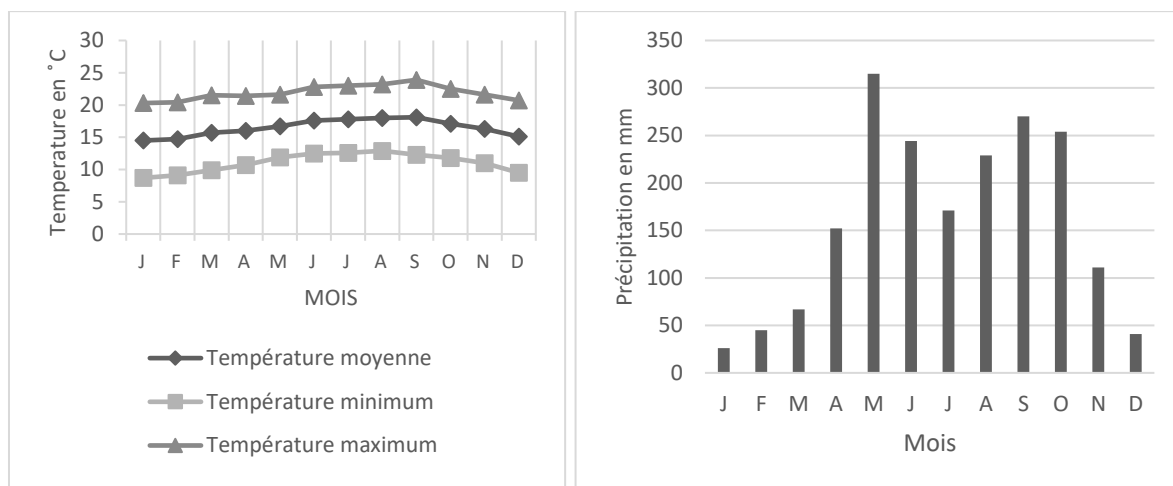


Figure 2. Température et pluviométrie de Kenscoff

Source : <https://en.climate-data.org/north-america/haiti/departement-de-l-ouest/kenscoff-435395/>.

3.2. Matériels

3.2.1. Végétal

L'étude a été menée sur la courgette Grey Zucchini (*Cucurbita pepo* var. *cylindrica* L.). C'est une plante herbacée annuelle de la famille des Cucurbitacées. Elle est un légume à cycle court dont la première récolte se situe entre le 45^e et le 50^e jour après la mise en place de la culture par semis direct. La variété de courgette Grey Zucchini est très adaptée aux conditions climatiques de la zone et très commune sur les parcelles paysannes. Elle a été choisie pour la réalisation de cette étude.

3.2.2. Composts

Pour mener cette étude, les composts produits au niveau de l'unité de compostage du Centre Rural de Développement Durable de Robin ont été utilisés. En effet, en fonction des deux principaux effluents d'élevage accessibles dans la zone (fumure de cheval et litière d'élevage de poule) deux types de composts étaient disponibles. Un compost fait à partir de fumure de cheval mélangé aux résidus de récoltes (CFC) et un compost fait à partir de fiente de poule mélangé aux résidus de récoltes (CFP). Ainsi, avant la mise en place des essais, 5 sous-échantillons ont été pris dans 5 sacs de 25 kg différents contenant du compost pour chaque type. Ses sous-échantillons ont été par la suite mélangés pour former un échantillon composite distinct par type de compost. Par la suite, 500 g de l'échantillon composite de chaque type de compost ont été envoyé au laboratoire de la Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV) de l'Université d'État d'Haïti pour analyse. Le pourcentage de matière organique a été déterminé par la méthode Walkey Black, l'azote total par la méthode de Kjeldahl, l'hémipentaoxyde de phosphore (P_2O_5) assimilable par la méthode de Olsen et le l'ion potassium (K^+) assimilable par la méthode à l'acetate (Elherradi et *al.*, 2005).

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques des composts

Paramètres	Unité	Types composts	
		CFC	CFP
pH eau	-	7,01	6,98
C.E.	dS/m	0,99	5,60
Carbone organique	%	17,67	24,74
Azote total	%	0,89	2,11
P_2O_5 assimilable	ppm	100	188
K^+ assimilable	meq/100 g	25,64	38,46

A la lecture du tableau 2, il est remarqué que les deux composts ont un pH neutre, ce qui serait signe qu'ils sont bien mûrs. Cependant, le CFP a une conductivité électrique près de 6 fois supérieure au CFC. Le CFP serait de meilleurs qualités vu sa plus grande teneur en azote total, carbone organique, phosphore et potassium assimilables.

3.2.3. Sols

Avant le démarrage des travaux de préparation de sol pour la mise en place des essais, deux échantillons de sols ont été prélevés à raison d'un par zone d'étude. Les prélèvements ont été faits selon la méthode d'échantillonnages composites qui consiste à prélever au minimum 4

sous-échantillons au hasard puis les mélangés et les homogénéisés pour former un échantillon composite (Morvan et *al.*, 2007). Ces sous-échantillons ont été pris sur chaque parcelle expérimentale sur une épaisseur de 0 – 30 cm. Après les avoir mélangé, un échantillon composite de 500 g a été pris dans chaque zone et acheminé au laboratoire de Bas-Boën ; (entité du Ministère de l’Agriculture) pour analyse. La texture du sol a été déterminée par la méthode hydromètre avec échelle Bouyoucos, le pH eau et la conductivité après mélange 1:2 (volume eau/volume sol), le taux en matière organique ainsi que les quantités d’ions ont été déterminés par dosage colorimétrique Mehlich-1. Le tableau 1 illustre les caractéristiques physico-chimiques des sols de Robin et d’Obléon.

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques des sols de Robin et de Obléon

Paramètres	Unité	Zones	
		Robin	Obléon
Texture : Sable	%	36	64
Limon	%	30	20
Argile	%	34	16
pH eau		6,22	7,74
C.E.	dS/m	0,28	0,27
Matière organique	%	<3	<5
N-NO ₃	ppm	10	10
P ₂ O ₅	ppm	115	86,2
K ₂ O	ppm	180	108
Ca	ppm	5000	7000
Mg	ppm	25	5
SO ₄ ²⁻	ppm	<50	<50
Mn	ppm	5	5
Fe	ppm	<2,50	<2,50
Cl	ppm	<12,50	<12,50
Al	ppm	80	80

Sur base du tableau 1, on peut déduire que les sols de Robin sont de texture limono-argileuse, avec un pH faiblement acide et une faible conductivité électrique. Pour les éléments majeurs, ils sont pauvres en azote et ont des teneurs élevées en phosphore et en potassium. Cependant, la teneur en Aluminium est aussi assez élevée ce qui peut entraver la disponibilité du phosphore.

À Obléon, la texture du sol est plutôt limono-sableuse avec un pH légèrement alcalin et une faible conductivité électrique. Le taux de matière organique est moyen mais reste très pauvre en azote. Sa teneur en phosphore et en potassium est moyenne. Comme à Robin, la teneur du sol en aluminium est élevée.

3.3. Dispositif expérimental

Cette étude expérimentale a été menée dans deux localités de Kenscoff différentes par leurs types de sol : Robin dominé par des sols basaltiques et Obléon dominé par des sols calcaires. De ce fait, deux parcelles ont été mis en place, l'un dans chacune des zones rendant ainsi l'expérience répétée dans l'espace. Cet essai spatial a été mené selon un Dispositif en Blocs Aléatoires Complètes mis en place sur une parcelle au niveau de chaque zone afin de contourner le gradient de fertilité dû à l'effet des pentes. Chaque essai a été constitué de cinq traitements dont quatre types d'amendement et un témoin (T). Les types d'amendements utilisés ont été : un compost de fumure de cheval (CFC), un compost de de fiente de poule (CFP), un compost mélangé (CM[50%CFC+50%CFP]) et un fertilisant chimique (FC). Ces cinq traitements ont été répartis de façon aléatoire dans des unités expérimentales au niveau de trois blocs dans lesquels chaque traitement a été répété une fois. Cela a amené le nombre d'unités expérimentales à 15 (5 traitements×3 blocs).

Les unités expérimentales ont été conçues en des carrés de 3 m×3 m ce qui donne une superficie de 9 m². Elles sont séparées entre-elles par des allées de 1 m de large afin d'éviter les éventuelles interférences. Ainsi, chaque essai a été établi sur une parcelle de 21 m de long sur 13 m de large, ce qui fait une superficie totale de 273 m². La figure 3 illustre le dispositif expérimental.

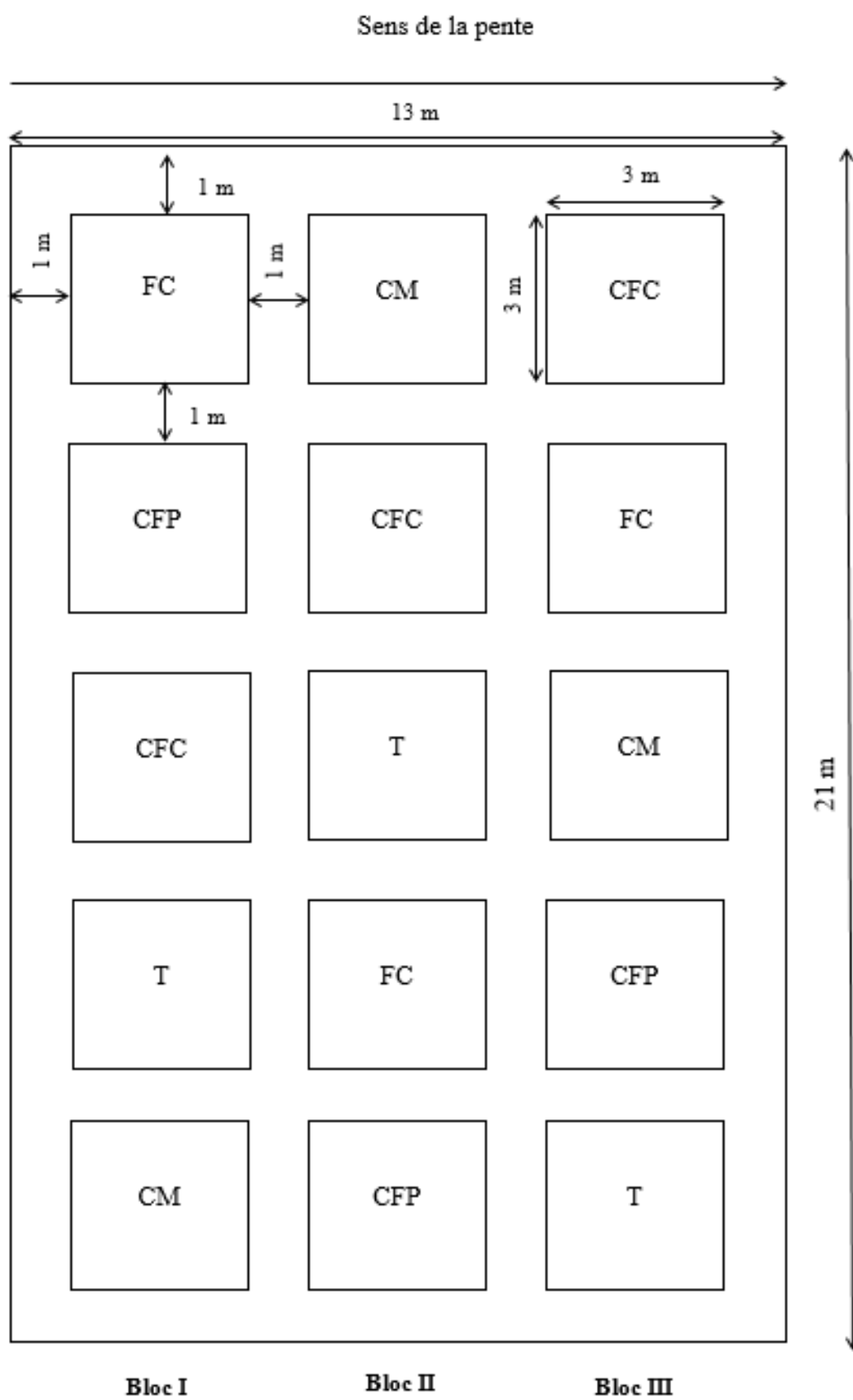


Figure 3. Croquis du dispositif expérimental

3.4. Conduit de l'essai

3.4.1. Choix des parcelles et préparation de sol

L'aire d'étude est en zone de montagne où plus de 70% de la superficie ont des pentes supérieures à 30%. Pour réaliser cette étude, les deux parcelles d'essais ont été choisies sur des pentes inférieures à 12% afin de minimiser le gradient de fertilité dû au lessivage des éléments nutritifs vers l'aval. Les précédents culturaux comme les familles des Solanacées et des Cucurbitacées ont été évitées. Ainsi, le précédent à Robin a été la culture de la pomme de terre et à Obléon la culture du persil. Le choix des parcelles a été fait aussi en fonction de sa proximité à un point d'eau. Le labourage des parcelles a été réalisé à la houe à une profondeur moyenne de 30 cm. Au niveau de chaque unité expérimentale, cinq billons de 3 m de long ont été érigés.

3.4.2. Amendement organique des parcelles

Le choix de la dose d'application du compost a été fait en tenant compte des considérations de Kahle et Belau (1998) cité par Larbi (2006) stipulant qu'une application de 100 tonnes de composts (frais) à l'hectare en une seule fois contribuerait à une augmentation durable de la teneur en carbone organique et en azote total du sol. Par conséquent, l'application du compost sur les unités expérimentales a été faite à la dose de 100 t/ha. Ainsi, après les travaux de préparation des sols, 90 kg de composts ont été épandus aux unités expérimentales comme prédéfini dans le croquis pour les traitements CFP, CFC et CM. L'application des composts a été faite en surface seulement cinq jours avant le semis.

3.4.3. Application du fertilisant chimique

Les chiffres disponibles dans la littérature sur les exigences de la courgette varient selon les auteurs. Ils se situent entre 100 à 200 unités d'azote, 60 à 80 unités de phosphore et 160 à 250 unités pour le potassium. L'application des amendements organiques étant faite à forte dose de 100 t/ha, le calcul pour l'application des fertilisants chimiques a été fait de manière à satisfaire les 200 kg d'azote/ha nécessaire à la conduite de la courgette. L'engrais chimique de formule 12-12-20 disponible dans la zone a été utilisé. L'application du fertilisant chimique en fumure de fond a été faite en fractionnant la dose de moitié. Ainsi, 750 g de 12-12-20 par unité expérimentale FC a été appliqués avant le semis, ce qui équivaut à la dose de 100 kg d'azote/ha. La deuxième moitié de la dose a été appliqué après la première récolte.

3.4.4. Le semis des parcelles

Cinq jours après l'épandage des composts et des engrais de fond sur leurs unités expérimentales respectives, le semis des essais a été réalisé à la distance 60 cm×60 cm à raison de 2 graines par

poquet sur tous les cinq traitements. Cette opération a été réalisée le 27 mars à Robin et le 28 mars à Obléon. Aucun arrosage n'a été fait après le semis vu qu'il pleuvait abondamment durant de cette semaine. Le démariage a été réalisé 15 jours après le semis afin de ramener les poquets à une plante. Ainsi, chaque unité expérimentale contenait un total de 25 plantes.

3.4.5. Entretien de l'essai

Bien que l'étude ait été menée au cours de la saison pluvieuse, l'arrosage est l'une des principales opérations d'entretiens qui ont été réalisées. Si les pluies étaient très fréquentes au cours du démarrage des essais, elles étaient devenues rares au cours du mois d'avril jusqu'à la première semaine du mois de mai. Une situation inhabituelle dans le régime pluvial de la région de Kerscoff. Pour pallier cela, tout au long de la période de rareté des pluies, les parcelles ont été arrosées deux fois par semaine. L'arrosage a été fait à l'aide d'un tube flexible à jet fin raccordé à un réservoir d'eau. Chaque séance d'arrosage durait en moyenne 30 minutes. Ainsi, chaque parcelle a reçu 5 séances d'arrosage avant la reprise des pluies à la fin de la première semaine du mois de mai.

La courgette n'étant pas une culture très sensible aux dégâts des bio-agresseurs, seulement deux traitements phytosanitaires ont été réalisés. Huit jours après la levée, une aspersion a été faite à titre préventive à l'aide du fongicide Mancozèbe M-45 (80WP) à la dose recommandée sur l'étiquette du produit : 13g/gallon. A l'apparition des premières fleurs, la présence de mouche blanche a été observée sur les deux parcelles. Des feutrages blancs ont été aussi observés en dessous des feuilles de plusieurs plantes sur les deux parcelles mais avec une plus forte incidence à Obléon où le microclimat est plus frais. Ces derniers seraient des symptômes de l'oïdium de la courgette. De ce fait, un second traitement a été administré aux deux parcelles à l'aide du même fongicide utilisé précédemment suivi d'un traitement à partir d'huile de Neem (70% EC) pour lutter contre les mouches blanches. L'application a été faite à la dose recommandée sur l'étiquette soit, 30 ml/gallon d'eau ou 2 cuillères à soupe par gallon.

L'autre opération d'entretien réalisée a été le désherbage des parcelles. En effet, les deux parcelles ont été désherbées à deux reprises le long du cycle. Le premier désherbage a été fait 30 jours après le semis soit le 26 avril à Robin et le 27 avril à Obléon. L'opération a été réalisée par trois ouvriers munis de serpette. Le second désherbage a été réalisé juste après le début de la récolte soit le 21 mai à Robin et le 22 à Obléon. Comme pour le premier, l'opération n'était pas mécanisée mais a été faite à l'aide de serpette. Ces opérations ont permis de réduire la compétition entre les plantes de courgette et les mauvaises herbes pour les éléments nutritifs et

la lumière mais aussi de limiter les risques d'attaques par des éventuels bio-agresseurs qui seraient favorisés par la présence des mauvaises herbes.

3.5. Collectes des données

Dans le cadre de cette étude, trois catégories de paramètres ont été mesurées sur les plantes conduites en essai : Un paramètre de précocité, trois paramètres de croissance ainsi que trois paramètres de rendement. La collecte des données a été faite en suivant les principes d'expérimentation décrite par Dagnelie (2012). Le paramètre de précocité ainsi que les paramètres de rendement ont été mesurés ou observés sur l'unité expérimentale en entière (9 m²) vu que celle-ci sont séparées entre-elles par des allées d'un mètre de large de manière à réduire les interférences. Cependant, les données sur les paramètres de croissance ont été collectées sur cinq plantes au centre de chaque unité expérimentale.

3.5.1. Précocité

Le paramètre de précocité considéré dans cette étude a été le nombre de jours écoulés entre le semis et la première récolte. La première récolte a été effectuée quand au moins une plante de l'unité expérimentale donne un fruit mesurant au minimum 12-15 cm de longueur selon Ezzo et *al.* (2012).

3.5.2. Mesures de croissance

La longueur des tiges, le diamètre des tiges et le nombre de feuilles par plantes sont les trois paramètres de croissance qui ont fait l'objet de mesure. La période de la prise des mesures de ces paramètres sur la courgette varie selon les auteurs. Si El- Yazeid et *al.* (2007) les avaient faites au 50^e jour après le semis, Ezzo et *al.* (2012) les avaient collectées au stade de floraison. Étant donné que la croissance de la courgette est indéterminée, dans le cadre de cette étude, ces mesures ont été prises à la dernière récolte soit, le 12 juin 2019. Ainsi, sur cinq plantes situées au centre de chaque unité expérimentale :

- 1- La longueur des tiges a été mesurée à partir du collet au point de jonction à la tige du pétiole de la plus jeune feuille ouverte. La mesure a été faite à l'aide d'un ruban métrique et exprimée en cm ;
- 2- Le diamètre des tiges au collet a été pris à l'aide d'un pied à coulisse et exprimé en mm ;
- 3- Le nombre de feuilles ouvertes a été compté.

3.5.3. Rendement et ses composantes

La période de récolte a été étalée entre le 16 mai et le 12 juin 2019 à Robin et entre le 23 mai et 12 juin 2019 à Obléon. Au cours de cette période, des séances de récoltes ont été effectuées

selon des intervalles trois jours. Les fruits récoltés ont été fonction de leurs longueurs, entre 12 et 15 cm minimum. Toutefois, certains ont atteints 20 cm au moment de la récolte. A chaque séance, le poids de la récolte pour chaque unité expérimentale a été mesuré à l'aide d'une balance (sensibilité au 1/10 de kg) et exprimé en kg. Par la suite, le nombre de fruit récolté à chaque unité expérimentale a été compté. Le rendement en kg/m², le nombre total de fruits récolté et le poids moyen d'un fruit (kg) ont été déterminées de la manière suivante :

1. $Rendement = \frac{\text{Le poids total des récoltes}}{\text{Surface de l'unité expérimentale}}$, avec le poids total de la récolte exprimé en kg et la surface de l'unité expérimentale qui est de 9 m² ;
2. $Total\ fruit\ par\ plante = \frac{\text{Nombre total de fruits récoltés}}{\text{Nombre total de plante par unité expérimentale}}$, le nombre total de plante par unité expérimentale a été de 25 ;
3. $Poids\ moyen\ d'un\ fruit = \frac{\text{Poids total des récoltes}}{\text{Nombre total de fruits récoltés}}$, avec le poids total des récoltes exprimé en kg.

3.6. Traitement et analyse des données

Toutes les informations collectées ont été enregistrées dans un tableur Excel et séparées par variable. Des analyses de variance à un facteur ont été d'abord faites afin de tester la significativité des différences observées entre les moyennes des traitements au niveau de chaque zone (Robin et Obléon) séparément. Puis, l'analyse des données de l'ensemble des deux zones a été faite. Par la suite, des analyses de variance à deux facteurs suivant le modèle mathématique pour les expériences en bloc aléatoires complets et répétées dans l'espace décrit par Dagnelie (2012) ont été faites pour tester la significativité des différences entre les moyennes des traitements entre-eux et aussi entre les zones. Le test de comparaison multiple de Duncan a été utilisé pour comparer les moyennes lorsque l'analyse de variance révèle des différences significatives. Pour réaliser ces analyses le logiciel R 3.6.0 a été utilisé et les tests statistiques ont été faits au seuil de probabilité de 5%.

IV. RESULTATS

4.1. Précocité

Le nombre moyen de jours écoulés entre le semis et la première récolte au niveau des deux sites d'étude a varié de $48 \pm 1,73$ à $56 \pm 0,00$. A Robin, les plantes témoins (T) ont été significativement les plus précoces ayant pris en moyenne $48 \pm 1,73$ jours pour atteindre la première récolte. Elles ont été suivies par les plantes fertilisées aux engrais chimiques (FC) qui ont pris de leur part $49 \pm 1,73$ jours en moyenne. Les plantes amendées au CFC ($53,33 \pm 2,87$) ont été un peu moins précoces par rapport aux CFP et CM. Cependant, aucune différence significative n'a été relevé entre CFP, CM, CFC et FC. Par ailleurs, à Obléon, les plantes témoins ont pris $53,33 \pm 2,31$ pour atteindre la première récolte. Elles ont été significativement plus précoces que les autres traitements qui ont tous pris $56 \pm 0,00$ jours à la première récolte (figure 4). Considérant les valeurs moyenne des deux zones, les courgettes non amendées (T) ont pris seulement $50,66 \pm 3,44$ jours pour atteindre leurs premières récoltes et ont été par conséquent les plus précoces (Annexe 2).

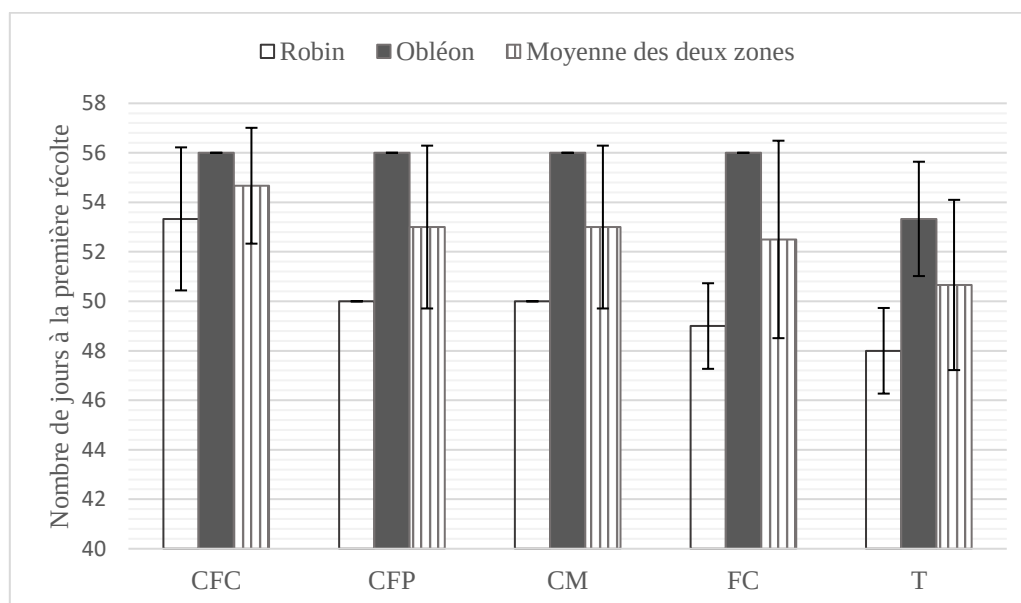


Figure 4. Variation de la précocité de la courgette en fonction du type d'amendement et de la zone

Barre d'erreur : Ecart-type

Les amendements organiques et chimiques à Obléon où le sol est de type calcaire n'ont montré aucune variation entre-eux et ont eu tous en moyenne 3 jours de précocité de plus que les plantes témoins. Cependant, à Robin les résultats ont varié entre les types d'amendements sans significativité bien que les plantes fertilisées à l'engrais chimique ont eu une précocité en moyenne d'un jour par rapport au CFP et au CM et de 4 jours par rapport au CFC.

4.2. Croissance

4.2.1. Longueur tige

La longueur moyenne de tige la plus élevée ($31,67 \pm 4,04$ cm) a été obtenue pour l'amendement au CFP et la plus basse ($16,00 \pm 3,71$ cm) sur les plantes témoins à Robin. Toujours à Robin, aucune différence significative n'a été observée entre les parcelles ayant reçu l'un des types d'amendements. A Obléon, les plantes fertilisées à l'engrais chimique (FC) ont eu la plus haute longueur tige moyenne ($24,89 \pm 0,19$ cm) et ont été significativement supérieures aux résultats de CFC ($21,22 \pm 1,35$ cm). Toutefois, aucune variation significative n'a été relevé entre le FC et les amendements organiques CFP ($24,22 \pm 0,38$ cm) et CM ($22,00 \pm 2,40$ cm). Les parcelles témoins au niveau des deux zones d'études ont obtenus des longueurs tige moyens ($16,00 \pm 3,71$ cm à Robin et $16,67 \pm 2,52$ cm à Obléon) significativement inférieure aux parcelles amendées. La comparaison entre chaque type d'amendement à son correspondant de l'autre zone a relevé des différences significatives de 5,02 cm en moyenne (figure 5). Cependant, aucune différence significative n'a été observé entre les parcelles témoins des deux zones (Annexe 3).

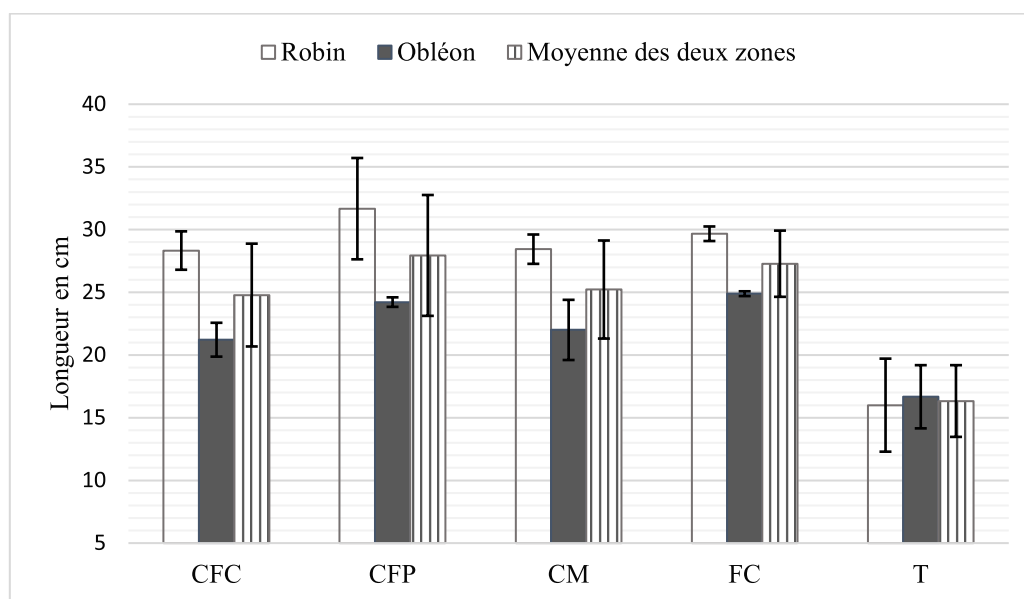


Figure 5. Variation de la longueur des tiges de la courgette en fonction du type d'amendement et de la zone

Barre d'erreur : Ecart-type

Les amendements organiques aussi bien que le fertilisant chimique ont favorisé une meilleure croissance en terme de longueur tige 2 fois supérieure aux parcelles témoins à Robin. Cette différence a été moins prononcée à Obléon bien que les résultats des parcelles témoins restent bien inférieurs aux autres.

4.2.2. Diamètre tige

Les mesures effectuées sur le diamètre moyen des tiges pour les amendement organiques et chimique ont montré une variation de $16,89 \pm 1,26$ mm (pour le CFC à Obléon) à $18,97 \pm 0,94$ mm (pour le CFP à Robin). Bien que les valeurs moyennes enregistrées à Robin aient une tendance supérieure à celle d'Obléon, aucune différence significative n'a été relevée entre les deux localités ($p=0,08$). Cependant, données sur le diamètre moyen des tiges enregistrées sur les plantes témoins à Robin et Obléon, respectivement : $14,63 \pm 1,62$ mm et $13,81 \pm 1,23$ mm, ont été significativement inférieures aux valeurs des amendements CFP, CM et FC des deux zones. Comme pour la moyenne des longueurs tiges, le plus grand diamètre moyen a été obtenu par le CFP à Robin tandis qu'à Obléon il a été atteint par le FC ($18,95 \pm 0,79$ mm). Entre les amendements organiques et chimique le diamètre moyen des tiges a varié de façon non significative dans chacune des zones (figure 6).

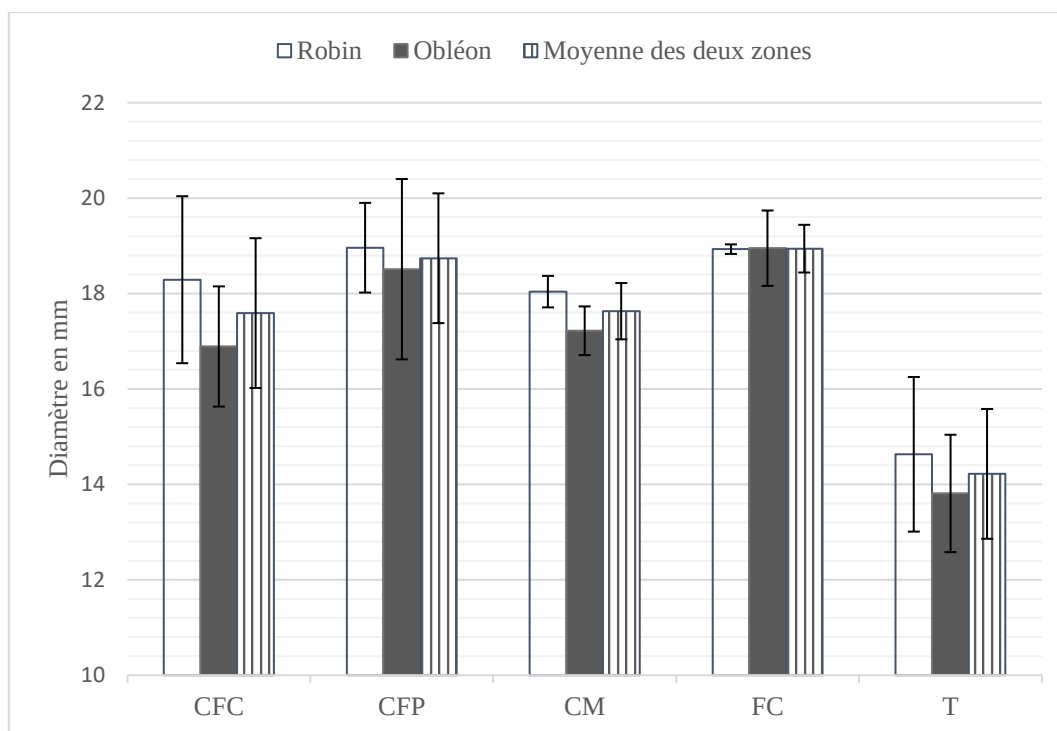


Figure 6. Variation du diamètre des tiges de la courgette en fonction du type d'amendement et de la zone

Barre d'erreur : Ecart-type

De même que pour la longueur tige, les amendements organiques aussi bien que l'engrais chimique ont favorisé une bonne croissance des plantes de courgette. L'écart entre Robin et Obléon a été moins prononcé pour ce paramètre de croissance (Annexe 4).

4.2.3. Nombre de feuilles par plante

Les résultats obtenus pour le nombre moyen de feuilles par plante ont varié de $15,22 \pm 0,69$ (pour les plantes témoins) à $21,55 \pm 1,50$ (pour l'amendement au CFP) à Robin. A Obléon, le nombre moyen de feuille par plante le plus élevé a été obtenu pour le FC ($20,00 \pm 0,88$) et le faible pour le témoin ($15,44 \pm 0,51$). Comme pour les deux premiers paramètres de croissance, les valeurs obtenues par les plantes témoins ont été significativement inférieures aux amendements organiques et chimique. Aucune différence significative n'a été relevée entre les amendements organiques et chimique sauf qu'à Obléon où l'amendement au CFC ($18,78 \pm 1,17$) a été significativement inférieur au CFP ($20,55 \pm 0,19$). Aucune différence significative n'a été trouvée entre les types d'amendements et leurs correspondants de l'autre zone ($p=0,12$). Néanmoins, les valeurs enregistrées à Robin comme pour les paramètres précédents ont été légèrement supérieures à celles d'Obléon sauf sur les parcelles témoins (figure 7).

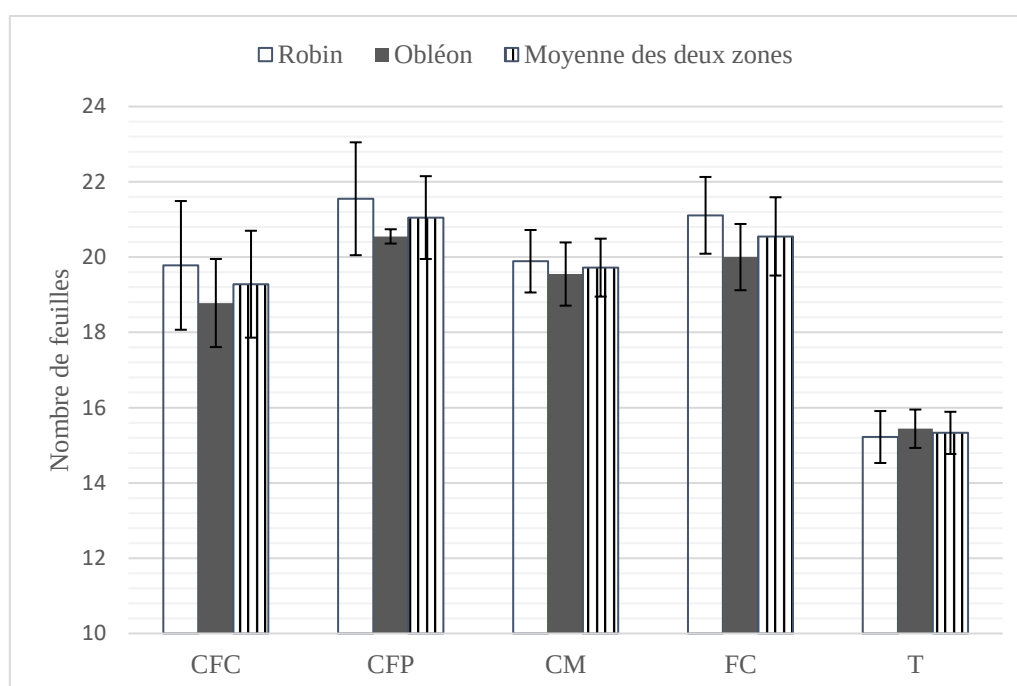


Figure 7. Variation du nombre de feuilles par plante en fonction du type d'amendement et de la zone

Barre d'erreur : Ecart-type

En somme, les trois paramètres de croissance mesurés (la longueur tige, le diamètre tige et le nombre de feuilles par plante) ont d'une façon générale exprimé la même tendance avec peu de différence entre les amendements organiques et le fertilisant chimique. Cependant, pour la longueur des tiges, la localité de Robin a enregistré les meilleurs résultats (Annexe 5).

4.3. Rendement et ses composantes

4.3.1. Poids moyen d'un fruit

Le poids moyen d'un fruit le plus élevé ($0,39 \pm 0,03$ kg) a été obtenu à Robin par le CFP et le plus faible ($0,27 \pm 0,03$ kg) sur les plantes témoins à Obléon. Cependant, pour les amendements organiques et chimique, les valeurs les plus faibles ($0,33 \pm 0,01$ kg dans les deux zones) ont été obtenues par le CFC. Aucune différence significative n'a été relevée entre les amendements CFP, CM ($0,36 \pm 0,03$ kg) et FC ($0,37 \pm 0,01$ kg) à Robin. Cependant, entre le témoin où les poids moyens les plus faibles ont été enregistrés, et l'amendement au CFC, la variation des valeurs mesurées a été non significative à Robin. A Obléon, aucune différence significative n'a été noté entre les amendements organiques dont le poids moyens d'un fruit a varié de $0,33 \pm 0,01$ kg (pour le CFC) à $0,35 \pm 0,01$ kg (pour le CFP). Cependant, le poids moyen d'un fruit du FC ($0,36 \pm 0,01$ kg) a été significativement supérieur à l'amendement organique au CFC (figure 8). Aucune différence significative n'a été relevée en Robin et Obléon ($p=0,09$). Ainsi, les écarts entre les deux localités n'ont pas été importants sauf pour l'amendement CFP (Annexe 6).

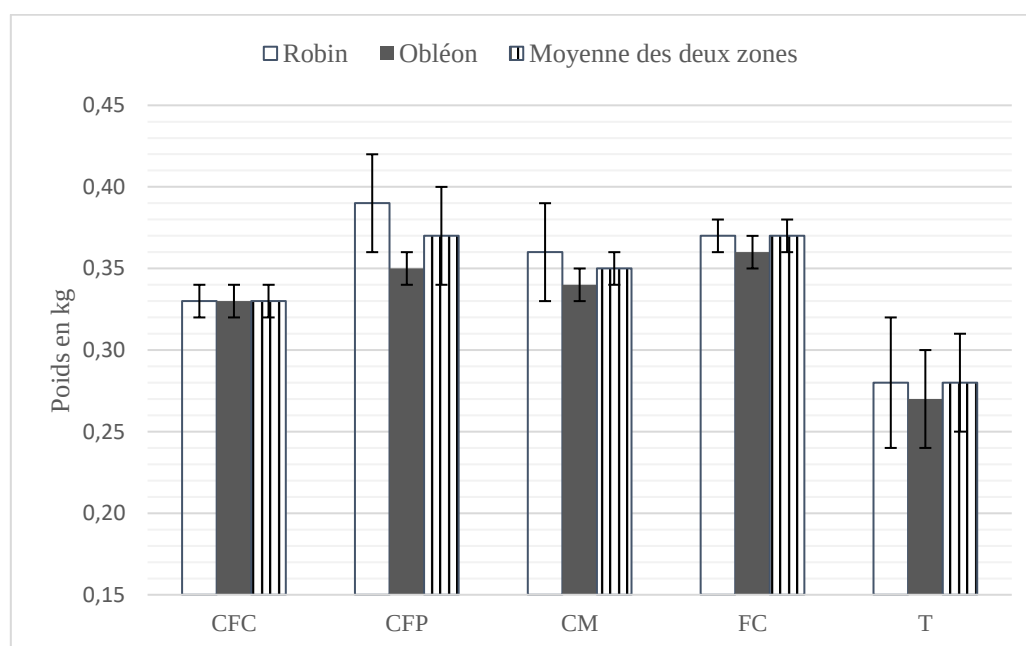


Figure 8. Variation du poids moyen d'un fruit de la courgette en fonction du type d'amendement et de la zone

Barre d'erreur : Ecart-type

L'application d'un type d'amendement organique ou chimique a permis d'avoir de plus gros fruits selon les données analysées. Toutefois, l'amendement au CFC a donné des résultats inférieurs à ceux obtenus par le CFP à Robin et le FC à Obléon. En outre, cette différence a été moins prononcée à Obléon.

4.3.2. Total fruits par plante

A la fin de la période de récolte, le nombre total de fruits par plante a varié de $1,31 \pm 0,22$ (sur les plantes témoins) à $4,00 \pm 0,46$ (pour l'amendement au CFP à Robin). Toujours à Robin, les amendements au CFP, au FC ($3,76 \pm 0,14$) et au CM ($3,68 \pm 0,33$) ont obtenu le nombre total de fruits les plus élevés et non significativement différents entre-eux. Ils ont été toutefois significativement supérieurs à l'amendement organique au CFC ($2,87 \pm 0,36$) et au T ($1,31 \pm 0,22$). Cependant, à Obléon les amendements organiques n'ont obtenu aucune variation significative entre-eux mais le FC ($3,17 \pm 0,20$) a été significativement supérieur au CFC ($2,64 \pm 0,21$) et au CM ($3,79 \pm 0,19$). Contrairement à Robin où la valeur la plus élevée a été obtenue dans un amendement organique (CFP), celle à Obléon a été enregistrée sur les parcelles amendées à l'engrais chimique (FC). Le nombre total de fruit par plante pour le CFP, CM et FC à Robin a été significativement supérieur à leurs correspondants à Obléon (figure 9).

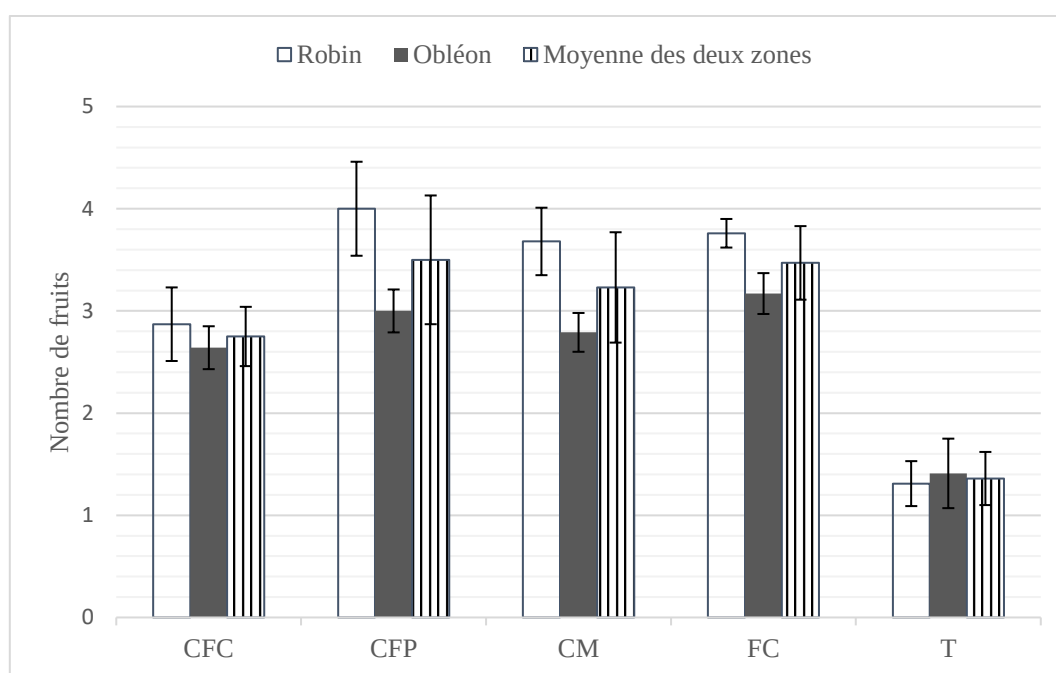


Figure 9. Variation du nombre total de fruits par plante en fonction du type d'amendement et de la zone

Barre d'erreur : Ecart-type

Le nombre total de fruits par plante a été fortement influencé par l'amendement des sols, ainsi il a été au moins multiplié par 2 sur les plantes amendées (Annexe 7). Cependant, l'amendement au CFC à Robin a été moins performant par rapport aux autres amendements organiques et chimique. Enfin, comme il a été le cas pour le poids moyen d'un fruit, cette différence enregistrée à Robin n'a pas été observée à Obléon.

4.3.3. Rendement

Les résultats ont relevé que les plants de courgette conduits sur les parcelles ayant été amendées au CFP, FC et au CM à Robin ont exprimés les rendements au m² les plus élevés obtenus respectivement : $4,31 \pm 0,52$ kg ; $3,90 \pm 0,15$ kg et $3,71 \pm 0,26$ kg. Aucune différence significative n'a été trouvée entre ces types d'amendements. Cependant, entre les amendements le CFC ($2,60 \pm 0,32$ kg/m²) a obtenu le rendement le plus bas significativement inférieur aux autres. Comme pour les autres paramètres, les témoins ont obtenu les valeurs les plus faibles : $1,04 \pm 0,24$ kg/m² à Robin et $1,07 \pm 0,24$ kg/m² à Obléon. Les meilleurs rendements à Obléon ont été obtenus par les amendements au FC ($3,19 \pm 0,34$ kg/m²) et au CFP ($2,94 \pm 0,33$ kg/m²). Ces valeurs ont été significativement supérieures au rendements obtenu à l'amendement organique CFC : $2,44 \pm 0,29$ kg/m² (figure 10). Sauf pour le cas des plantes témoins et celles amendées au CFC dans les deux zones, le rendement au niveau de chaque types d'amendement a été significativement différent à son correspondant et ceux de Robin ont été dans tous les cas supérieurs (Annexe 8).

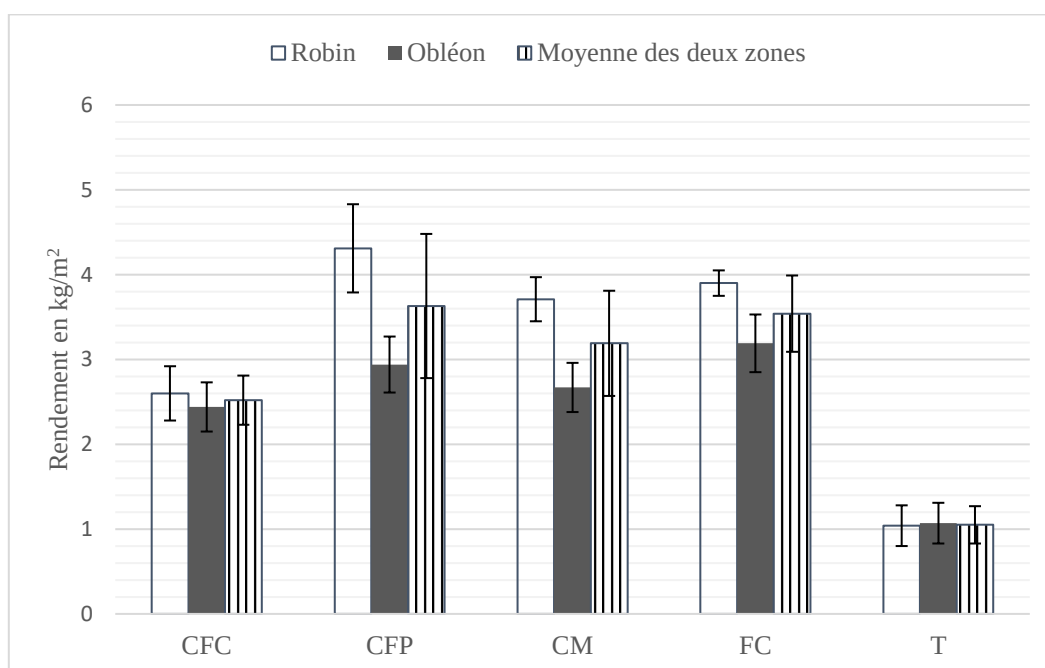


Figure 10. Variation du rendement de la courgette en fonction du type d'amendement et de la zone

Barre d'erreur : Ecart-type

Bien que la tendance générale au niveau des deux zones reste pratiquement la même, les résultats ont été statistiquement différentes pour les amendements au CFP, CM et FC. La localité de Robin a enregistré les plus fortes valeurs. Quant à l'amendement au CFC, les résultats ont été moins intéressants comparés aux autres types d'amendements.

V. DISCUSSION

L'une des multifonctionnalités du sol est sa capacité à assurer une bonne croissance aux plantes cultivées, ce qui renseigne sur son aptitude à fournir les éléments nutritifs à la plante et détermine par conséquent son niveau de fertilité (Bünemann et *al.*, 2018). Les résultats des trois paramètres de croissance mesurés dans le cadre de cette étude : la longueur des tiges (figure 5), le diamètre des tiges (figure 6) et le nombre de feuilles par plante (figure 7) ont montré une amélioration significative de la fertilité des sols par les amendements organiques et aussi le fertilisant chimique. Ces résultats sont similaires à ceux de Lawani (2017), où les amendements organiques ont garanti une bonne croissance du *Solanum macrocarpon* au Bénin.

Bien que les différences observées entre les amendements organiques et l'engrais chimique n'ont pas été significatives, la longueur moyenne des tiges des plantes et le nombre moyen de feuilles par plante à Robin pour l'amendement au CFP ont été supérieurs aux autres traitements. Cette différence serait due aux propriétés chimiques du compost à partir de fientes de poule (CFP), principalement son contenu en azote total, qui a été bien supérieurs au compost fumure de cheval (Tableau 2). De plus, la matière organique apportée par les composts augmente la capacité de rétention en eau du sol (Bünemann et *al.*, 2018 ; Tittarelli et *al.*, 2007 ; Giacometti et *al.*, 2012 ; Lima et *al.*, 2012), ce que l'engrais minéral n'a pu faire. Cela justifie le retard de croissance qui a été observé au cours de la période de rareté de pluies sur les unités amendées au FC. Toutefois, Ezzo et *al.* (2012) ont obtenu sur la courgette une croissance lente et mauvaise pour une fertilisation à base de fumure de poule à 100% comparé à d'autres fertilisants organiques. Ce qui pourrait être dû à un faim d'azote provoqué par une fumure de poule pas assez décomposée du fait que de pareilles observations ont été faites par Sullivan et *al.* (2018) sur des composts immatures. Ce cas de figure est différent pour cette étude puisque la fumure de poule a été compostée.

Toutefois, pour les différents amendements organiques et l'engrais chimique, les plantes à Robin ont eu une croissance (longueur tige) bien supérieure que celles d'Obléon (figure 5). Ces résultats pourraient s'expliquer par plusieurs facteurs. D'abord, le microclimat : Robin est à 1450 m d'altitude et Obléon à 1800 m. En outre, le versant de Robin a un nombre d'heure journalier d'exposition au soleil supérieurs à Obléon. De ce fait, la température moyenne journalière serait plus importante à Robin, d'où un meilleur degré jour de croissance. Ensuite, la texture limono-argileuse des sols de Robin permettrait aux plantes de courgette de mieux résister à la rareté des pluies survenue au cours de la période de croissance et aussi de mieux profiter des éléments nutritifs apportés par les amendements qu'à Obléon où le sol est plutôt

limono-sableuse (Tableau 1). Selon Elherradi et *al.* (2005), les sols limono-argileux se caractérisent par une forte capacité (2 fois plus) de minéralisation de l'azote par rapport aux sols sableux.

La figure 10 a montré que l'amendement organique CFP a pu obtenir des rendements similaires au fertilisant chimique (FC). Ces résultats sont analogues à ceux obtenus par Vanden Nest et *al.* (2014) sur des composts, Koopmans et Bloem (2018) sur le salsifis (*Tragopogon porrifolius* L.) avec du compost et des fumiers profondément stable. Cependant, Egodawatta et *al.* (2012), Ezzo et *al.* (2012) ont obtenus les rendements les plus élevés avec l'engrais chimique comparés à des amendements organiques. Koopmans et Bloem (2018) ont obtenus aussi des résultats en dessous de la moyenne pour les composts sur des cultures comme le poireau et le maïs. De même dans cette étude, le rendement moyen le plus élevé a été obtenu avec le fertilisant chimique (FC) à Obléon. Cependant, le compost fiente de poule (CFP) a obtenu le meilleur rendement à Robin. Cette variabilité des résultats peut être expliquée par les conditions d'humidité différentes au niveau des sols influencés par les composts dans des conditions climatiques sèches comme il a été observé par les études de Vanden Nest et *al.* (2014) et Juhos et *al.* (2015). Dans de telles situations, l'efficacité des fertilisants chimiques est donc réduite par rapport aux amendements organiques qui retiennent l'humidité autour de la zone racinaire (Tittarelli et *al.*, 2007).

Par ailleurs, le compost fumure cheval (CFC) a obtenu des rendements significativement inférieurs au fertilisant chimique (FC) dans les deux zones (figure 10). Bien qu'il peut fournir à la plante tous les avantages décrits dans le paragraphe précédent par ses propriétés physiques par rapport au FC, son contenu en azote faible (tableau 2) par rapport au CFP pourrait expliquer les différences de performance. La figure 10 a montré que sauf pour le cas du témoin, les rendements obtenus à Robin ont été supérieurs à ceux d'Obléon pour tous les traitements. Les mêmes raisons avancées pour les différences de croissances comme les types de sols différents, les microclimats et la vitesse de minéralisation différente en fonction des conditions pédoclimatiques sont valables pour expliquer ces variations. Les composantes du rendement : le poids moyen d'un fruit et le nombre total de fruit par plante ont suivi la même tendance que le rendement c'est aussi le cas pour l'étude d'Ezzo et *al.* (2012).

Enfin, dans les expériences d'Ezzo et *al.* (2012) sur l'amendement 100% fumier de volaille, ils ont obtenu sur la courgette une croissance lente, une floraison précoce, de petits fruits et des rendements faibles par rapport à l'engrais minéral et d'autres amendements organiques. Dans le cas de cette étude, des observations pareilles ont été faites sur les témoins qui ont eu une

mauvaise croissance, une première récolte précoce, des poids moyen fruit faible, le nombre de fruits par plante faible et au final des rendements faibles. Toutefois, le fertilisant a été un peu précoce également. Cela pourrait être dû au stress hydrique subi par le FC et le témoin, lequel phénomène a été moins accentué pour les amendements organiques.

VI. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats de cette étude ont montré que les amendements organiques à base de composts fabriqués à partir des matériaux disponibles sur place constituent des sources non négligeables capable d'améliorer la fertilité des sols et de donner des résultats similaires et même plus intéressants que les fertilisants chimiques. Cependant, il peut paraître oser de tirer une conclusion ferme à terme d'une expérience de moins de trois mois sur l'amendement des sols lorsque de pareilles études ailleurs ont été menées sur six, dix et voire dix-sept années consécutives. Toutefois, cette étude a pu mettre en évidence le potentiel que représente le compostage des déchets organiques de la zone dans le cadre d'une agriculture durable. Bien que la rareté des pluies au cours de la phase de croissance aurait influencée les résultats, il a permis néanmoins de confirmer l'avantage des amendements organiques par rapport au fertilisant chimique en augmentant la résilience des cultures. Dans le contexte actuel des changements climatiques où la rareté de pluies est devenue plus fréquente, ces résultats deviennent plus intéressants.

Au regard des résultats obtenus, le compost fabriqué à partir de l'effluent d'élevage disponible en plus grande quantité dans la zone : la fumure de cheval, mélangé aux résidus de récolte n'a pas donné un compost de haute qualité surtout dans les sols basaltiques de Robin. Ceci a été moins prononcé sur les sols plutôt calcaires d'Obléon. Il serait donc mieux, pour le moins d'ajouter de la fumure de volailles aux fumures de cheval dans la fabrication des composts pour espérer un meilleur résultat.

Dans l'optique d'assurer l'applicabilité et l'adoption par les agriculteurs de pareils amendements dans leurs pratiques agricoles, il serait souhaitable de :

- Réaliser d'autres essais sur plusieurs années sur les amendements organiques des sols dans la zone sur d'autres cultures et tester plusieurs doses d'application ;
- Promouvoir l'élevage de volailles dans la zone afin d'augmenter les ressources disponibles pour une production de compost de meilleurs qualités et en quantité ;
- D'étudier l'aspect économique de l'application d'amendement organique comparé aux fertilisants chimiques, le temps de travail supplémentaire qu'exige l'application à forte dose de compost et les bénéfices tirées.

En attente de la réalisation de nouvelles études, l'application de composts à forte dose (100 t/ha) peut être recommandée en tête de rotation sur des cultures gourmandes en azote et tolérante aux sols riches en matières organiques.

VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Al-Bataina, B. B., Young, T. M., Ranieri, E., 2016.** Effects of compost age on the release of nutrients. *International Soil and Water Conservation Research* 4 (2016) 230–236. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.07.003>
- Bargout, R. N. and Raizada M. N., 2013.** Soil nutrient management in Haiti, pre-Columbus to the present day: lessons for future agricultural interventions. *Agriculture & Food Security* 2013, 2:11. <http://www.agricultureandfoodsecurity.com/content/2/1/11>.
- Barker, D. et McGregor, D. F. M. 1995.** Environment and Development in the Caribbean Geographical Perspectives. The Press University of the West Indies. ISBN 976 640 007 5. 192 p. https://books.google.be/books?hl=en&lr=&id=OIT9CmUp6A8C&oi=fnd&pg=PA189&dq=Soils+degradation+in+caribbean&ots=fo6YMmxo18&sig=JQgXM3I_S1C7SOqx0VDbMjgAHkM#v=onepage&q=Soils%20degradation%20in%20caribbean&f=false.
- Bayard, B., Jolly, C. M. 2008.** Environmental perceptions and behavioral change of hillside farmers: the case of Haiti. *Environmental Perceptions & Behavioral Change in Hillside Farmers. Farm & Business: The Journal of the Caribbean Agro-Economic Society (CAES)* (2007). 7 (1) 122-138.
- Bayard, B., Jolly, C. M., and Shannon D. A. 2006.** The Adoption and Management of Soil Conservation Practices in Haiti: The Case of Rock Walls. *Agricultural economics review*. 2006, Vol 7, No 2.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W. Brussaard, L., 2018.** Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120 (2018) 105–125. Published by Elsevier Ltd. <http://creativecommons.org/licenses/BY/4.0/>
- Bureau des Mines et de l’Energie (BME), 2006.** Rapport de Reconnaissance géologique sur le glissement de terrain survenu à Mahotièr (Kenscoff). 15 p.
- Chaves, A. D., 2010.** Solos e aptidão agrícola das terras nas seções comunais do Mapou, colline dês Chaines e Pichon-Haiti. Instituto de agronomia curso de pós-graduação em agronomia ciência do solo-Universidade Federal Rural do Rio De Janeiro. Dissertação. 64 p.
- Ciampalini, R., Billi, P., Ferrari, G., Borselli, L., Follain S., 2011.** Soil erosion induced by land use changes as determined by plough marks and field evidence in the Aksum area (Ethiopia). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 146 (2012) 197– 208.

Colmet-Daage, F., Delaune, M., Robbart, F., Lohier, G., Youance, J., Gautheyrou, J. et M., Fusil, G., Koukoui, M., 1969. Caractéristiques et nature de la fraction argileuse de quelques sols rouges d'Haïti situés sur calcaires durs. Cahier O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol. VII, no 3 : 345-473.

D'Hose, T., Cougnon, M., De Vlieghe, A., Vandecasteele, B., Viaene, N., Cornelis, W., Van Bockstaele, E., Reheul, D., 2013. The positive relationship between soil quality and crop production: A case study on the effect of farm compost application. Applied Soil Ecology 75 (2014) 189– 198. www.elsevier.com/locate/apsoil

Dagnelie, P. 2012. Principes D'expérimentation : Planification des expériences et analyse des leurs résultats. Les presses agronomiques de Gembloux. 413 p.

Destin, N., 2012. Diagnostic des systèmes de production agricole en zone de montagne élevée dans le contexte environnemental actuel (Cas de Kenscoff). Mémoire de fin d'études agronomiques. FAMV/UEH, Damien, Haïti. 52 p.

Dharmakeerthi, R. S., Kay B. D. and Beauchamp E. G., 2006. Spatial Variability of In-Season Nitrogen Uptake by Corn Across a Variable Landscape as Affected by Management. American Society of Agronomy. 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711 USA.

Dolisca, F., McDaniel, J. M., Shannon, D. A., Jolly C. M. 2008. Modeling farm households for estimating the efficiency of policy instruments on sustainable land use in Haiti. Land Use Policy 26 (2008) 130–138.

Dudal, R., 2003. Envolving Concepts in Tropical Soil Science: the Humid Tropics. Workshop: Evolution of Tropical Soil Science. Royal Academy of Overseas Sciences. Pages 15-38. <http://www.kaowarsom.be/documents/PUBLICATIONS/EVOLUTION%20OF%20TROPICAL%20SOIL%20SCIENCE%20PAST%20FUTURE.pdf>

Duvivier, P., Louissaint, J. et Sampeur, U. 2006. Réponse de trois variétés de riz (*Oriza sativa*, L.) [Bogapote, Malaïka et TCS10] à la fertilisation phosphatée et potassique dans la Vallée de l'Artibonite, Haïti. RED 3 (1) : 22—25.

Egodawatta, W.C.P., Sangakkara, U.R, Stamp, P., 2012. Impact of green manure and mineral fertilizer inputs on soil organic matter and crop productivity in a sloping landscape of Sri Lanka. Field Crops Research 129 (2012) 21–27.

Elherradi, E., Soudi, B., Chiang, B., Elkacemi K., 2005. Evaluation of nitrogen fertilizing value of composted household solid waste under greenhouse conditions. Agronomy for

Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 2005, 25 (2), pp.169-175.
<hal-00886293>. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886293>

Ezzo, M.I., Glala, A. A., Saleh, S.A., Omar, N.M., 2012. Improving Squash Plant Growth and Yielding Ability Under Organic Fertilization Condition. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 6(8) : 572-578, 2012. ISSN 1991-8178.

FAO, 2005. Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Documents de travail sur les terres et les eaux. 35p.

FAO, 2013. Mountain Farming is Family Farming: A contribution from mountain areas to the International Year of Family Farming 2014. E-ISBN 978-92-5-107976-8. 98 p.
<http://www.fao.org/docrep/019/i3480e/i3480e.pdf>

Finisse, S. E., 2013. Méthodologie de caractérisation physico-chimique de composts. Mémoire de fin d'études agronomiques. FAMV/UEH, Damien, Haïti. 51 p.

Ganasri, B.P., Ramesh, H., 2015. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. Geoscience Frontiers 7 (2016) 953-961.

Giacometti, C., Demyan, M. S., Cavani, L., Marzadori, C., Ciavatta, C., Kandeler, E., 2012. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. Applied Soil Ecology 64 (2013) 32–48. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.10.002>

Giresse, P. 2008. Characteristics of the Soils and Present Day Vegetation of Tropical West Africa. Developments in Quaternary Sciences. Volume 10, Pages 15-18.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157108660880005X>

Hartemink, A. E., 2004. Tropical soils-properties and management for sustainable agriculture. Geoderma 123 (2004) 373–375. Oxford University Press, 2003. Hardback, 281 pp. ISBN 0195115988. www.elsevier.com/locate/geoderma

Hishe, S., Lyimo, J., b, Bewket, W., 2017. Soil and water conservation effects on soil properties in the Middle Silluh Valley, northern Ethiopia. International Soil and Water Conservation Research 5 (2017) 231–240.

Horrocks, A., Curtin, D., Tregurtha C., Meenken, E., 2016. Municipal Compost as a Nutrient Source for Organic Crop Production in New Zealand. Agronomy 2016, 6, 35 ; doi :10.3390/agronomy6020035. www.mdpi.com/journal/agronomy

- IHSI, 2012.** Inventaire des ressources et potentialités d'Haïti (Disque). Version 2007.
- IICA, 2011.** Filière des cultures maraichères et opportunités pour un crédit sécurisé. Rapport final. 102 p. <https://syfaah.org/wp-content/uploads/2015/05/etude-filiere-cultures-maraicheres.pdf>.
- Inckel, M., De Smet, P., Tersmette, T., Veldkamp, T., 2005.** La fabrication et l'utilisation du compost. Série Agrodok No. 8. © Fondation Agromisa, Wageningen. ISBN Agromisa: 90-8573-007-4. 71 p.
- Juhos, K., Szabób, S., Ladányi, M., 2016.** Explore the influence of soil quality on crop yield using statistically-derived pedological indicators. *Ecological Indicators* 63 (2016) 366–373. www.elsevier.com/locate/ecolind
- Larbi, M. 2006.** Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Université de Neuchâtel. Institut de Botanique. Thèse de doctorat. 139 p. <http://orgprints.org/8935/1/larbi-2006-dissertation.pdf>
- Lawani, M. O. A., 2017.** Formulation d'un biofertilisant à base de déchets organiques ménagers et de déjections animales en vue de sa vulgarisation. Gembloux Agro-Bio Tech/Université de Liège. Travail de fin d'études. 71p.
- Lima, A.C.R., Brussaard, L., Totola, M.R., Hoogmoed, W.B., de Goede, R.G.M., 2012.** A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. *Applied Soil Ecology* 64 (2013) 194–200 2012 Elsevier B.V. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.12.009>
- Mairie de Kenscoff, 2015.** Plan de financement des services publics communaux. Rapport final. 61 p. <http://www.bukante.net/downloads/PFCCKenscoff.pdf>.
- ME, 2008.** Impact socioéconomique de la dégradation des terres en Haïti et interventions pour la réhabilitation du milieu cultivé. Rapport final. 79 p. https://www.researchgate.net/publication/268339538_Impact_socioeconomique_de_la_degradation_des_terres_en_Haiti_et_interventions_pour_la_rehabilitation_du_milieu_cultive.
- MEF, 2016.** Evaluation rapide des dommages et des pertes occasionnées par l'ouragan Matthew et éléments de réflexion pour le relèvement et la reconstruction. Rapport préliminaire. http://earlyrecovery.global/sites/default/files/evaluation_rapid_des_impacts_de_matthew_version_preliminaire.pdf.

Mekuriaw, A., Heinemann, A., Zeleke, G., Hurni, H. 2017. Factors influencing the adoption of physical soil and water conservation practices in the Ethiopian highlands. *International Soil and Water Conservation Research* 6 (2018) 23–30.

Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC), 2006. Analyse de la problématique de la gestion des déchets. Rapport Intérimaire version 2. 43p.

<https://www.jobpaw.com/assets/strategiepays/10.pdf>

Moges, D. M. et Taye, A. A., 2017. Determinants of farmers' perception to invest in soil and water conservation technologies in the North-Western Highlands of Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research* 5 (2017) 56–61.

Morvan et al., 2007. Une analyse des stratégies d'échantillonnage des réseaux de surveillance de la qualité des sols en Europe. *Etudes et Gestion des Sols*, volume 14, 4, 2007. Pages 317 à 325. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/69207/1/EGS_14_4_morvan.pdf

Mustin, M., 1987. Le composte, gestion de la matière organique. Editeur : Paris : François Dubusc. ISBN : 2-864-72008-6. 954 p.

Nyabyenda, P., 1994. Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique. Les Presses agronomiques de Gembloux : Gembloux, 1994, 238 p.

Ouédraogo, E., Mando, A., Zombré, N.P., 2000. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Elsevier Science B.V. Agriculture, Ecosystems and Environment* 84 (2001) 259–266.

Pham T. G., Degener J., Kappas M., 2018. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research* 6 (2018) 99–110.

Prasannakumar V., Vijith H., Abinod S., Geetha N., 2011. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *GEOSCIENCE FRONTIERS* 3(2) (2012) 209-215.

Santini, F., Guri, F., Gomez S., y Paloma, 2013. Labelling of agricultural and food products of mountain farming. JRC Scientific and policy reports. European commission. ISBN 978-92-79-28275-1. 154 p.

- Sullivan, D. M., Bary, A. I., Miller, R. O., Brewer, L. J. 2018.** Interpreting compost analyses. Oregon State University Extension Service. EM 9217. 10 p.
<https://catalog.extension.oregonstate.edu/sites/catalog/files/project/pdf/em9217.pdf>
- Tagami, K., Twining, J. R., Wasserman, V. et Angelica, M. 2012.** Terrestrial Radioecology in tropical systems. Radioactivity in the Environment, Vol. 18. Page 155-230.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-045016-2.00005-9>
- Terranova O., Antronico L., Coscarelli R., Iaquina P., 2009.** Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). Research Institute for Geo-Hydrologic Protection, Via Cavour 4-6, 87036 Rende, Italy. Geomorphology 112 (2009) 228–245.
- Thonart, P., Lardinois, M., Rodriguez, C., Awono, S., Destain, J., Chamblin, J.F., Grolet, S., Noel, J.M., Boisson, D., Copin, A., Hilgsmann, S., 2002.** La problématique de la gestion des déchets ménagers en République d'Haïti. Séminaire de sensibilisation à la gestion des déchets ménagers. Cahier technique : 11-47.
- Tittarelli, F., Petruzzelli, G., Pezzarossa, B., Civilini, M., Benedetti, A. and Sequi, P. 2007.** Quality and agronomic use of compost. Compost science and technology. 119-152.
<https://www.sciencedirect.com/bookseries/waste-management-series/vol/8>
- Ugarte, C. M., Zaborski, E. R., Wander, M. M., 2013.** Nematode indicators as integrative measures of soil condition in organic cropping systems. Soil Biology & Biochemistry 64 (2013) 103-113. Elsevier Ltd. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.03.035>
- Vanden Nest, T., Vandecasteele, B., Ruysschaert, G., Cougnon, M., Merckx, R., Reheul, D. 2014.** Effect of organic and mineral fertilizers on soil P and C levels, crop yield and P leaching in a long term trial on a silt loam soil. Agriculture, Ecosystems and Environment 197 (2014) 309–317.

Annexe 1. Matrice des données

Lieu	Bloc	T	NJPR	LT	DT	NFP	TF/P	RDT	PMF
Robin	B1	CFC	50,000	28,667	20,235	18,333	3,280	2,972	0,326
Robin	B1	CFP	50,000	36,333	20,025	23,000	3,640	3,711	0,367
Robin	B1	CM	50,000	28,333	18,283	19,000	3,960	4,006	0,364
Robin	B1	FC	47,000	30,000	19,038	22,000	3,680	3,989	0,390
Robin	B1	T	47,000	19,333	16,213	14,667	1,160	1,022	0,317
Robin	B2	CFC	55,000	29,667	16,825	19,333	2,680	2,378	0,319
Robin	B2	CFP	50,000	29,333	18,690	21,667	3,840	4,556	0,427
Robin	B2	CM	50,000	29,667	18,175	20,000	3,320	3,600	0,390
Robin	B2	FC	50,000	30,000	18,913	20,000	3,920	3,989	0,366
Robin	B2	T	50,000	16,667	14,685	15,000	1,200	0,806	0,242
Robin	B3	CFC	55,000	26,667	17,807	21,667	2,640	2,444	0,333
Robin	B3	CFP	50,000	29,333	18,192	20,000	4,520	4,672	0,372
Robin	B3	CM	50,000	27,333	17,660	20,667	3,760	3,528	0,338
Robin	B3	FC	50,000	29,000	18,835	21,333	3,680	3,728	0,365
Robin	B3	T	47,000	12,000	12,980	16,000	1,560	1,289	0,297
Obléon	B1	CFC	56,000	22,667	16,350	17,667	2,480	2,183	0,317
Obléon	B1	CFP	56,000	24,667	17,667	20,667	2,840	2,700	0,342
Obléon	B1	CM	56,000	21,333	16,667	19,667	2,640	2,494	0,340
Obléon	B1	FC	56,000	24,667	18,333	21,000	3,000	2,922	0,351
Obléon	B1	T	52,000	14,000	13,667	15,000	1,160	0,800	0,248
Obléon	B2	CFC	56,000	20,000	18,333	18,667	2,560	2,394	0,337
Obléon	B2	CFP	56,000	24,000	20,667	20,333	2,920	2,811	0,347
Obléon	B2	CM	56,000	20,000	17,667	18,667	2,720	2,511	0,332
Obléon	B2	FC	56,000	25,000	19,835	19,667	3,120	3,078	0,355
Obléon	B2	T	52,000	17,000	12,667	16,000	1,800	1,278	0,256
Obléon	B3	CFC	56,000	21,000	15,980	20,000	2,880	2,756	0,344
Obléon	B3	CFP	56,000	24,000	17,192	20,667	3,240	3,322	0,369
Obléon	B3	CM	56,000	24,667	17,333	20,333	3,000	3,011	0,361
Obléon	B3	FC	56,000	25,000	18,667	19,333	3,400	3,567	0,378
Obléon	B3	T	56,000	19,000	15,111	15,333	1,280	1,122	0,316

T : Traitement ; **NJPR** : Nombre de jours à la première récolte ; **LT** : Longueur tige (cm) ;
Diamètre tige (mm) ; **NFP** : Nombre de fruits par plante ; **TFP** : Total fruits par plante ; **RDT** :
Rendement (kg/m²) ; **PMF** : Poids moyen d'un fruit (kg)

Annexe 2. Précocité à la récolte de la courgette en fonction des amendements

Traitement	Localité		Moyenne
	Robin (Basalte)	Obléon (Calcaire)	
CFC	53,33 ± 2,87 aB	56,00 ± 0,00 aA	54,67 ± 2,34 a
CFP	50,00 ± 0,00 bB	56,00 ± 0,00 aA	53,00 ± 3,29 b
CM	50,00 ± 0,00 bB	56,00 ± 0,00 aA	53,00 ± 3,29 b
FC	49,00 ± 1,73 bB	56,00 ± 0,00 aA	52,50 ± 3,99 b
T	48,00 ± 1,73 bB	53,33 ± 2,31 bA	50,66 ± 3,44 c
Moyenne	50,07 ± 2,34	55,47 ± 1,41	52,77 ± 3,34

Les moyennes des localités accompagnées d'une même lettre sur une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan. Les moyennes des traitements accompagnées d'une même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

Annexe 3. Longueur tige (en cm) de la courgette en fonction des amendements

Traitement	Localité		Moyenne
	Robin (Basalte)	Obléon (Calcaire)	
CFC	28,33 ± 1,53 a A	21,22 ± 1,35 bB	24,78 ± 4,10 c
CFP	31,67 ± 4,04 aA	24,22 ± 0,38 abB	27,94 ± 4,82 a
CM	28,44 ± 1,17 aA	22,00 ± 2,40 abB	25,22 ± 3,91 bc
FC	29,67 ± 0,58 aA	24,89 ± 0,19 aB	27,28 ± 2,64 ab
T	16,00 ± 3,71 bA	16,67 ± 2,52 cB	16,33 ± 2,86 d
Moyenne	26,82 ± 6,15 A	21,80 ± 3,32 B	24,31 ± 5,49

Les moyennes des localités accompagnées d'une même lettre sur une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan. Les moyennes des traitements accompagnées d'une même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

Annexe 4. Diamètre tige (mm) de la courgette en fonction des amendements

Traitement	Localité		Moyenne
	Robin (Basalte)	Obléon (Calcaire)	
CFC	18,29 ± 1,75 a	16,89 ± 1,26 a	17,59 ± 1,57 b
CFP	18,97 ± 0,94 a	18,51 ± 1,89 a	18,74 ± 1,36 ab
CM	18,04 ± 0,33 a	17,22 ± 0,51 a	17,63 ± 0,59 b
FC	18,93 ± 0,10 a	18,95 ± 0,79 a	18,94 ± 0,50 a
T	14,63 ± 1,62 b	13,81 ± 1,23 b	14,22 ± 1,36 c
Moyenne	17,77 ± 1,93	17,07 ± 2,13	17,42 ± 2,03

Les moyennes des localités accompagnées d'une même lettre sur une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

Annexe 5. Nombre de feuilles par plante en fonction des amendements

Traitement	Localité		Moyenne
	Robin (Basalte)	Obléon (Calcaire)	
CFC	19,78 ± 1,71 a	18,78 ± 1,17 b	19,28 ± 1,42 b
CFP	21,55 ± 1,50 a	20,55 ± 0,19 a	21,05 ± 1,10 a
CM	19,89 ± 0,83 a	19,55 ± 0,84 ab	19,72 ± 0,77 ab
FC	21,11 ± 1,02 a	20,00 ± 0,88 ab	20,55 ± 1,04 ab
T	15,22 ± 0,69 b	15,44 ± 0,51 c	15,33 ± 0,56 c
Moyenne	19,51 ± 2,55	18,87 ± 1,99	19,19 ± 2,27

Les moyennes des localités accompagnées d'une même lettre sur une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

Annexe 6. Poids moyen d'un fruit (en kg) de la courgette en fonction des amendements

Traitement	Localité		Moyenne
	Robin (Basalte)	Obléon (Calcaire)	
CFC	0,33 ± 0,01 bc	0,33 ± 0,01 b	0,33 ± 0,01 b
CFP	0,39 ± 0,03 a	0,35 ± 0,01 ab	0,37 ± 0,03 a
CM	0,36 ± 0,03 ab	0,34 ± 0,01 ab	0,35 ± 0,01 ab
FC	0,37 ± 0,01 ab	0,36 ± 0,01 a	0,37 ± 0,01 a
T	0,28 ± 0,04 c	0,27 ± 0,03 c	0,28 ± 0,03 c
Moyenne	0,35 ± 0,04	0,33 ± 0,04	0,34 ± 0,04

Les moyennes des localités accompagnées d'une même lettre sur une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

Annexe 7. Total fruits par plante en fonction des amendements

Traitement	Localité		Moyenne
	Robin (Basalte)	Obléon (Calcaire)	
CFC	2,87 ± 0,36 bA	2,64 ± 0,21 bB	2,75 ± 0,29 b
CFP	4,00 ± 0,46 aA	3,00 ± 0,21 abB	3,50 ± 0,63 a
CM	3,68 ± 0,33 aA	3,79 ± 0,19 bA	3,23 ± 0,54 a
FC	3,76 ± 0,14 aA	3,17 ± 0,20 aB	3,47 ± 0,36 a
T	1,31 ± 0,22 cA	1,41 ± 0,34 cA	1,36 ± 0,26 c
Moyenne	3,12 ± 1,05 A	2,60 ± 0,67 B	2,86 ± 0,91

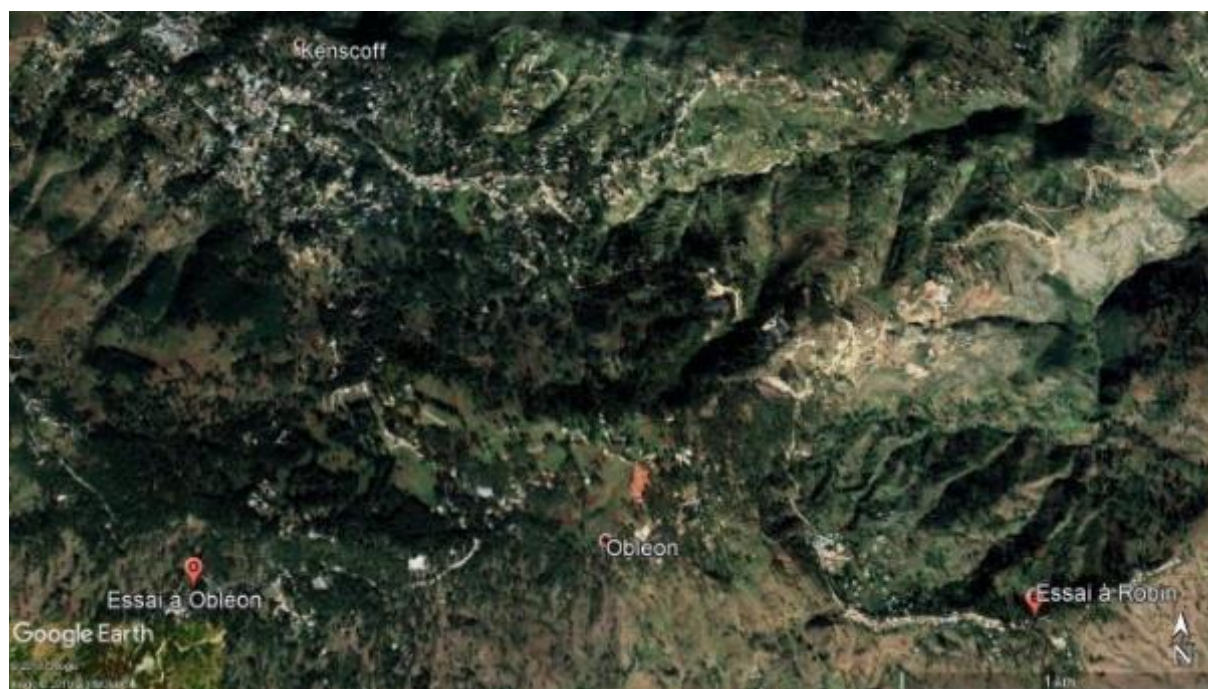
Les moyennes des localités accompagnées d'une même lettre sur une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan. Les moyennes des traitements accompagnées d'une même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

Annexe 8. Rendement (en kg/m²) de la courgette en fonction des amendements

Traitement	Localité		Moyenne
	Robin (Basalte)	Obléon (Calcaire)	
CFC	2,60 ± 0,32 bA	2,44 ± 0,29 cB	2,52 ± 0,29 c
CFP	4,31 ± 0,52 aA	2,94 ± 0,33 abB	3,63 ± 0,85 a
CM	3,71 ± 0,26 aA	2,67 ± 0,29 bcB	3,19 ± 0,62 b
FC	3,90 ± 0,15 aA	3,19 ± 0,34 aB	3,54 ± 0,45 a
T	1,04 ± 0,24 cA	1,07 ± 0,24 dA	1,05 ± 0,22 c
Moyenne	3,11 ± 1,25A	2,46 ± 0,81B	2,79 ± 1,09

Les moyennes des localités accompagnées d'une même lettre sur une même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan. Les moyennes des traitements accompagnées d'une même lettre sur une même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5 % de probabilité ($p < 0,05$) selon le test de Duncan.

Annexe 9. Localisation Google Earth des parcelles expérimentales à Kenscoff.



<https://www.google.com/maps?ll=18.43850,-72.27513&z=14&t=h>

Annexe 10. Photos des parcelles expérimentales



Photo 1. Travaux de mise en place du dispositif à Robin



Photo 2. Mise en place du dispositif à Robin



Photo 3. Parcelle à Robin au début de la récolte