



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
ECOLE SUPERIEURE DES SCIENCES
AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT : AGRICULTURE



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome



**ETUDE DES EFFETS DE LA DOSE ET DU FRACTIONNEMENT
DE L'APPORT DE LOMBRICOMPOST SUR LA TOMATE :
« ACE VF 55 » A AMBANITSENA**



Soutenu le : 25 Juin 2014

Par : RAHOBIHARISON Liantsoa Marie Natacha

Membres du jury :

- Monsieur RAKOTONDRAVELO Jean Chrysostôme
- Monsieur RANDRIAMAMPIONONA Denis
- Madame ANDRIANANTOAVINA Mbolatiana Fanjaarivelox
- Monsieur ANDRIAMANIRAKA Harilala

Président du jury
Examinateur
Maître de stage
Tuteur

Promotion Hina : 2009 - 2014



REMERCIEMENTS

Rendons grâce à Dieu, Tout puissant, qui nous a donné la force, la santé et le courage durant la réalisation de ce travail.

Au terme de cette étude, nous tenons à adresser notre profonde reconnaissance à toutes les personnes physiques et morales qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire :

- Monsieur RAKOTONDRAVELO Jean Chrysostôme, Docteur en agroéconomie, Enseignant chercheur à l'ESSA, qui a bien voulu présider le jury de ce mémoire. Veuillez accepter l'expression de ma profonde gratitude.
- Monsieur RANDRIAMAMPIONONA Denis, Docteur en science de la vie, Spécialité Physiologie végétale, Enseignant chercheur à l'Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques qui malgré ses hautes fonctions et ses lourdes responsabilités, a bien voulu siéger parmi les membres du jury et a fait l'honneur d'examiner ce mémoire. Veuillez trouver mes plus profonds respects.
- Monsieur ANDRIAMANIRAKA Harilala, Docteur en Sciences agronomiques, Chef du département agriculture, Enseignant chercheur à l'ESSA, notre tuteur qui, malgré ses lourdes responsabilités et ses nombreuses occupations, a beaucoup consacré de son temps, durant chaque phase d'élaboration de ce travail. Veuillez trouver ici le témoignage de ma sincère reconnaissance.
- Madame ANDRIANANTOAVINA Mbolatiana Fanjaarivelo, coordinatrice du projet Equo&Bio à l'ONG Reggio Terzo Mondo, ingénieur agronome, notre encadreur professionnel, qui malgré ses multiples et nobles occupations, a bien voulu nous encadrer tout au long de ce travail. Veuillez recevoir mes sincères remerciements.

Nous ne saurions oublier d'adresser nos vifs remerciements :

- A l'ONG RTM, pour le soutien logistique, matériel et financier, lors de la réalisation de cette étude.
- Au Centre FOFIFAKRI Isoavina Ambanitsena pour avoir permis la réalisation de cette étude dans le centre.
- A Monsieur RAMAHAIMANDIMBISOA Tovahery, collaborateur technique en Agriculture Biologique à l'ONG RTM, qui a eu la patience de nous avoir encadrer tout au long de la réalisation de ce mémoire.
- A Monsieur RANAIVO-HARISOA RAJERY, directeur du centre FOFIFAKRI Isoavina Ambanitsena, pour son accueil chaleureux au sein de ce centre durant le travail sur terrain.
- A tous les enseignants et le personnel administratif au sein du département agriculture de l'ESSA
- A tout le personnel du centre FOFIFAKRI Isoavina Ambanitsena
- A ma famille
- A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

LISTE DES ABREVIATIONS

%	: Pourcentage
°C	: Degré Celsius
ANOVA	: Analyse de la Variance
Ar	: Ariary
C/N	: Rapport entre le carbone organique et l'azote total
CEC	: Capacité d'Echange Cationique
CI	: Consommation Intermédiaire
CIRAD	: Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
cm	: Centimètre
cm ³	: Centimètre cube
CNUCED	: Conférence des Nations unies sur le Commerce et le Développement
D ₁ A ₁	: Dose 1 en un apport
D ₁ A ₂	: Dose 1 en deux apports
D ₁ A ₃	: Dose 1 en trois apports
D ₂ A ₁	: Dose 2 en un apport
D ₂ A ₂	: Dose 2 en deux apports
D ₂ A ₃	: Dose 2 en trois apports
D ₃ A ₁	: Dose 3 en un apport
D ₃ A ₂	: Dose 3 en deux apports
D ₃ A ₃	: Dose 3 en trois apports
ESSA	: Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques
FAO	: Food and Agricultural Organization
FLAEF	: Ferme Lombricole Agro Ecosystèmes Farihitsara
FOFIFAKRI	: Foibe Fiofanana Famokarana Kristiana
g	: Gramme
ha	: Hectare
IFOAM	: International Federation of Organic Agriculture Movements
JAT	: Jour Après Transplantation
K	: Potassium
K ₂ O	: Oxyde de potassium
Kg	: Kilogramme
Km	: Kilomètres
LRI	: Laboratoire des Radio-isotopes
m	: Mètre
m ²	: Mètre carré
MAEP	: Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche

mg	: Milligramme
MO	: Matières Organiques
MS	: Matière Sèche
N	: Azote
OGM	: Organisme Génétiquement Modifié
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
ONG	: Organisme Non Gouvernemental
P	: Phosphore
P ₂ O ₅	: Anhydride phosphorique
PB	: Produit Brut
PCD	: Plan Communal de Développement
pH	: potentiel en Hydrogène
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PRD	: Plan Régional de Développement
RTM	: Reggio Terzo Mondo
SAF/FJKM	: Sampan'Asa momban'ny Fampandrosoana/Fiangonan'i Jesoa Kristy eto Madagasikara
t	: Tonne
T.abs	: Témoin absolu
TATA	: Tontolo Arovana Tany sy Ala
VAB	: Valeur Ajoutée Brute
VC15	: Sol + 15% de lombricompost
VC30	: Sol + 30% de lombricompost
VC45	: Sol + 45% de lombricompost

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Les différents traitements expérimentaux (t.ha ⁻¹)	8
Tableau 2: Caractéristiques physico-chimiques du sol.....	14
Tableau 3: Caractéristiques chimiques du lombricompost	15
Tableau 4: VAB/are en Ar si le lombricompost est produit au sein de l'exploitation.....	27
Tableau 5: VAB/are en Ar si le lombricompost est acheté.....	27
Tableau 6: VAB/are en Ar si la tomate est vendue à 2.000 Ar le kilo.....	28
Tableau 7: VAB/HJ si la tomate est vendue à 1.000 Ar le kilo	29
Tableau 8: VAB/HJ si la tomate est vendu à 2.000 Ar le kilo.....	30

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation géographique du site d'études	3
Figure 2: Courbe ombrothermique de Manjakandriana (1951- 1980).....	4
Figure 3: Croissance en hauteur de la transplantation à la floraison	16
Figure 4: Croissance en hauteur de la floraison à la fructification	16
Figure 5: Croissance en hauteur de la fructification à la fin du cycle.....	17
Figure 6: Croissance totale en hauteur.....	17
Figure 7: Variation du nombre de branches de la transplantation à la floraison	18
Figure 8: Variation du nombre de branches de la floraison à la fructification	18
Figure 9: Variation du nombre de branches de la fructification à la fin du cycle.....	19
Figure 10: Variation totale du nombre de branches	19
Figure 11: Variation du nombre de feuilles de la transplantation à la floraison.....	20
Figure 12: Variation du nombre de feuilles de la floraison à la fructification.....	20
Figure 13: Variation du nombre de feuilles de la fructification à la fin du cycle.....	21
Figure 14: Variation totale du nombre de feuilles	21
Figure 15: Poids de la biomasse aérienne	22
Figure 16: Longueur de la racine	22
Figure 17: Poids de la biomasse souterraine	23
Figure 18: Nombre de bouquet par plante	23
Figure 19: Nombre de fleurs par bouquet	24
Figure 20: Nombre de fruits par bouquet.....	24
Figure 21: Poids moyen d'un fruit	25
Figure 22: Rendement brut en t.ha ⁻¹	25
Figure 23: Rendement net en t.ha ⁻¹	26

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Présentation de l'ONG RTM

Annexe 2 : Présentation du centre FOFIFAKRI SAF/FJKM Isoavina

Annexe 3 : Etat de connaissances sur l'agriculture biologique et sur le lombricompost

Annexe 4 : Généralités sur la culture de tomate

Annexe 5 : Technique d'échantillonnage pour l'analyse de sol

Annexe 7 : Randomisation des traitements sur le dispositif expérimental

Annexe 9 : Technique d'échantillonnage pour la collecte des données

Annexe 10 : Détails des traitements statistiques

Annexe 11 : Détails des calculs économiques

Annexe 12 : Photographies

SOMMAIRE

I. INTRODUCTION	1
II. MATERIELS ET METHODES.....	3
II-1. Site d'études.....	3
II-2. Matériel végétal	5
II-3. Fertilisant	5
II-4. Analyses au laboratoire.....	5
II-5. Dispositif et traitements expérimentaux	7
II-6. Conduite de l'expérimentation.....	9
II-7. Collecte et traitements des données	10
II-8. Limites du travail	13
III. RESULTATS	14
III-1. Résultats des analyses au laboratoire.....	14
III-2. Paramètres de croissance	16
III-3. Paramètres de rendement.....	23
III-4. Calcul économique	27
IV. DISCUSSIONS	31
IV-1. Propriétés chimiques du lombricompost	31
IV-2. Paramètres de croissance.....	32
IV-3. Paramètres de rendement.....	34
IV-4. Calcul économique	35
V. RECOMMANDATIONS.....	37
VI. CONCLUSION.....	39

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXES

Résumé :

Dans le cadre du développement de l'agriculture biologique à Madagascar, cette étude a été menée dans le but de déterminer les effets de l'interaction entre la dose et les périodes d'apport du lombricompost sur la culture de tomate pendant la saison intermédiaire (Janvier à Mai), à Ambanitsena. Les combinaisons entre les doses ($T.abs = 0 \text{ t.ha}^{-1}$, $D_1 = 4,5 \text{ t.ha}^{-1}$, $D_2 = 9 \text{ t.ha}^{-1}$ et $D_3 = 15,5 \text{ t.ha}^{-1}$) et les périodes d'apports (A_1 : à la transplantation, A_2 : à la transplantation et en début de floraison, A_3 : à la transplantation, en début de floraison et pendant la fructification) ont été testées sur un dispositif expérimental en bloc de Fischer à trois répétitions. Les résultats ont montré que les paramètres de croissance et les paramètres de rendement de la tomate sont affectés de manière significative par les facteurs étudiés. L'augmentation de la dose et le fractionnement des apports ont contribué à améliorer la croissance et le rendement. Ainsi, le meilleur rendement net de $15,89 \text{ t.ha}^{-1}$ a été obtenu par la dose de $15,5 \text{ t.ha}^{-1}$ en trois apports. Cependant, de nombreux autres paramètres dont : l'attaque de la mouche de la tomate, du ver de la tomate et la réduction de l'alimentation hydrique ont affectés le rendement.

Mots clés : amendement organique, agriculture biologique, « ady gasy », analyses chimiques, *lycopersicon esculentum*

Abstract:

For the development of organic farming in Madagascar, this study was conducted to determine the effects of the interaction between doses and date of fertilization of vermicompost on tomato crop during intermediate crop the season (January to May) at Ambanitsena. Treatments were made from the combination of doses ($T.abs = 0 \text{ t.ha}^{-1}$, $D_1 = 4,5 \text{ t.ha}^{-1}$, $D_2 = 9 \text{ t.ha}^{-1}$ et $D_3 = 15,5 \text{ t.ha}^{-1}$) and periods of application (A_1 : at transplanting, A_2 : at transplanting and in the beginning of flowering, A_3 : at transplanting, in the beginning of flowering and during the fruiting). The experiment was a randomized complete block design with three replications. The result of the experiment showed that the different rates and the date of fertilization of vermicompost produced varied and significant effect on the vegetative growth parameters and yield parameters. Plant's response to vermicompost showed much better results in the higher dose applying in three times. The best yield of $15,89 \text{ t.ha}^{-1}$ was obtained at the dose $15,5 \text{ t.ha}^{-1}$ applying in three times. However, many other parameters (insects, water...) have affected the yield.

Keywords : organic amendment, organic farming, “ady gasy”, chemicals analysis, *lycopersicon esculentum*

I. INTRODUCTION

70% de la population active de Madagascar se trouve dans le secteur primaire qui est dominé par l'agriculture, générant 25% du PIB en 2009 (LABOURDETTE et al., 2011). La fertilisation tient donc une place importante pour la production agricole. Pourtant, le taux d'utilisation d'engrais est très faible dans le pays : « l'utilisation d'engrais minéral correspond à une moyenne de l'ordre de 3 à 7 kg par hectare cultivé » (MAEP, 2006). Par conséquent, les sols s'appauvrissement au fil des cultures, tandis que la demande en nourriture augmente compte tenu de l'accroissement de la population (RASOARIMALALA et al., 2011). Une augmentation de l'utilisation des engrains chimiques demeure donc une des solutions pour améliorer la faible productivité à Madagascar (MINTEN et al., 2003), mais, les intrants chimiques sont coûteux, ne permettant pas au bon nombre de paysans d'y accéder facilement (ANDRIANJAFY, 2004). De plus, le recours excessif aux engrains chimiques est une cause de dégradation des sols et de pollution des eaux (PNUE, 2002).

Par ailleurs, grâce à de nombreux organismes initiateurs dont le réseau BIMTT et l'ONG Reggio Terzo Mondo, le mouvement biologique commence à beaucoup se répandre à Madagascar. En effet, selon TWAROG (2006), cité par JOURNEAU en 2013, l'agriculture biologique comprend également l'agriculture traditionnelle, pratique courante chez les petits producteurs des pays en développement. Figurant parmi les engrais et amendements autorisés en mode de production biologique (RÈGLEMENTS (CE) N° 834/2007 et 889/2008), l'utilisation de déjections de vers ou lombricompost s'est aussi largement répandue dans le pays. Le lombricompostage a été introduit et vulgarisé à Madagascar en 1996 par la société Agriver (ANDRIAMADY, 2001). Cette pratique fournit à la fois le lombricompost qui est un amendement organique issu des déjections des vers de terre et le thé de compost que l'on peut utiliser comme engrais liquide.

Des agriculteurs malgaches ayant utilisé le lombricompost, ont constaté que leur production s'est nettement améliorée, en effet, le lombricompost a de nombreux effets positifs pour la croissance des plantes et pour l'amélioration de la qualité des sols arables, et, ainsi on peut éviter l'utilisation des engrains chimiques (RAZAFINDRAVONIARISOA, 2003). Selon, PANDEY et al., en 2008, par rapport aux engrains chimiques, le lombricompost présente de nombreux avantages. A Madagascar, il existe déjà de nombreux centres qui produisent le lombricompost (TATA, SAF/FJKM, FLAEF Sarl, HAINGONALA...) et plusieurs formations ont été déjà faites concernant son mode de production. Cependant, le lombricompost reste encore mal exploité, et seulement peu d'études ont été faites le concernant à Madagascar.

Selon la FAOSTAT, la tomate est le légume le plus consommé dans le monde après la pomme de terre avec une production mondiale de 159,347 millions de tonnes en 2011.

A Madagascar, en particulier, les tomates sont les légumes les plus consommés dans la capitale devant la pomme de terre, les carottes, les oignons et les légumes feuilles (DABAT et al., 2010). Cependant, on assiste à une insuffisance de tomates sur les marchés, tant en quantité qu'en qualité. Les tomates proviennent principalement d'Alaotra, d'Antsirabe, de Mahitsy et la Région de Vakinakaratra, mais seule la région d'Itasy est réputée pour pratiquer la culture de tomate toute l'année (LAKERMANCCE, 2001), étant la seule région de production pendant la saison des pluies, d'où la flambée des prix en saison pluvieuse. Du point de vue qualité, les agriculteurs seraient tentés d'utiliser le dithane pour conserver les tomates pendant une longue durée. Il n'est donc pas étonnant que les résidus de dithane se retrouvent sur les tomates commercialisées sur le marché (RAKOTONDRAVONY, 2011). Et récemment, la Réunion a empêché l'introduction des tomates de Madagascar sur ses marchés, en raison de la soi-disant mauvaise qualité des produits. Pourtant, il est vraisemblable que la demande en tomates continuera à augmenter, du fait de l'accroissement des populations (BLANCARD, 2009).

Face à cette situation, l'étude concernant la fertilisation de la culture de tomate par le lombricompost en suivant les techniques de production biologique a été réalisée au centre FO-FIFAKRI SAF/FJKM Isoavina Ambanitsena en collaboration avec l'ONG REGGIO TERZO MONDO (RTM). La question qui se pose est donc : la fertilisation par le lombricompost pourrait-elle améliorer le rendement et sera-t-elle rentable sur la culture de tomate ?

Le principal objectif de cette étude est d'évaluer l'efficacité de la fertilisation par le lombricompost.

Les objectifs spécifiques sont :

- déterminer les effets des doses de lombricompost sur la croissance et sur le rendement
- identifier les impacts des périodes d'apport de cet engrais et,
- déterminer la rentabilité de la fertilisation par le lombricompost sur la culture de tomate

Afin de répondre à la problématique, trois hypothèses ont été émises :

H1 : Le rendement croît en fonction de la dose

H2 : Les périodes d'apport ont des impacts sur le rendement

H3 : La fertilisation par le lombricompost est économiquement rentable sur la tomate

La première partie de ce document détaillera les matériels et méthodes adoptés lors de cette étude, puis les résultats seront présentés en deuxième lieu, et enfin les discussions et recommandations seront abordées.

II. MATERIELS ET METHODES

II-1. Site d'études

L'expérimentation a été réalisée au centre chrétien de formation-production ou Foibe fiofanana-famokarana Kristiana (FOFIFAKRI) du SAF/FJKM Isoavina Ambanitsena.

II-1-1. Localisation géographique

Le site de l'expérimentation se trouve au fokontany d'Isoavina, dans la commune rurale d'Ambanitsena, district de Manjakandriana, et région Analamanga. La zone se trouve à 24 Km d'Antananarivo sur la route nationale n° 2, reliant Antananarivo et Toamasina. C'est la première commune qui ouvre ses portes au district de Manjakandriana. La commune d'Ambanitsena est délimitée par les communes suivantes : au Nord par Anjoma Betoho, au Sud par Nandihizana (Carion), à l'Est par Anjepy et à l'Ouest par Ambohimalaza Miray.

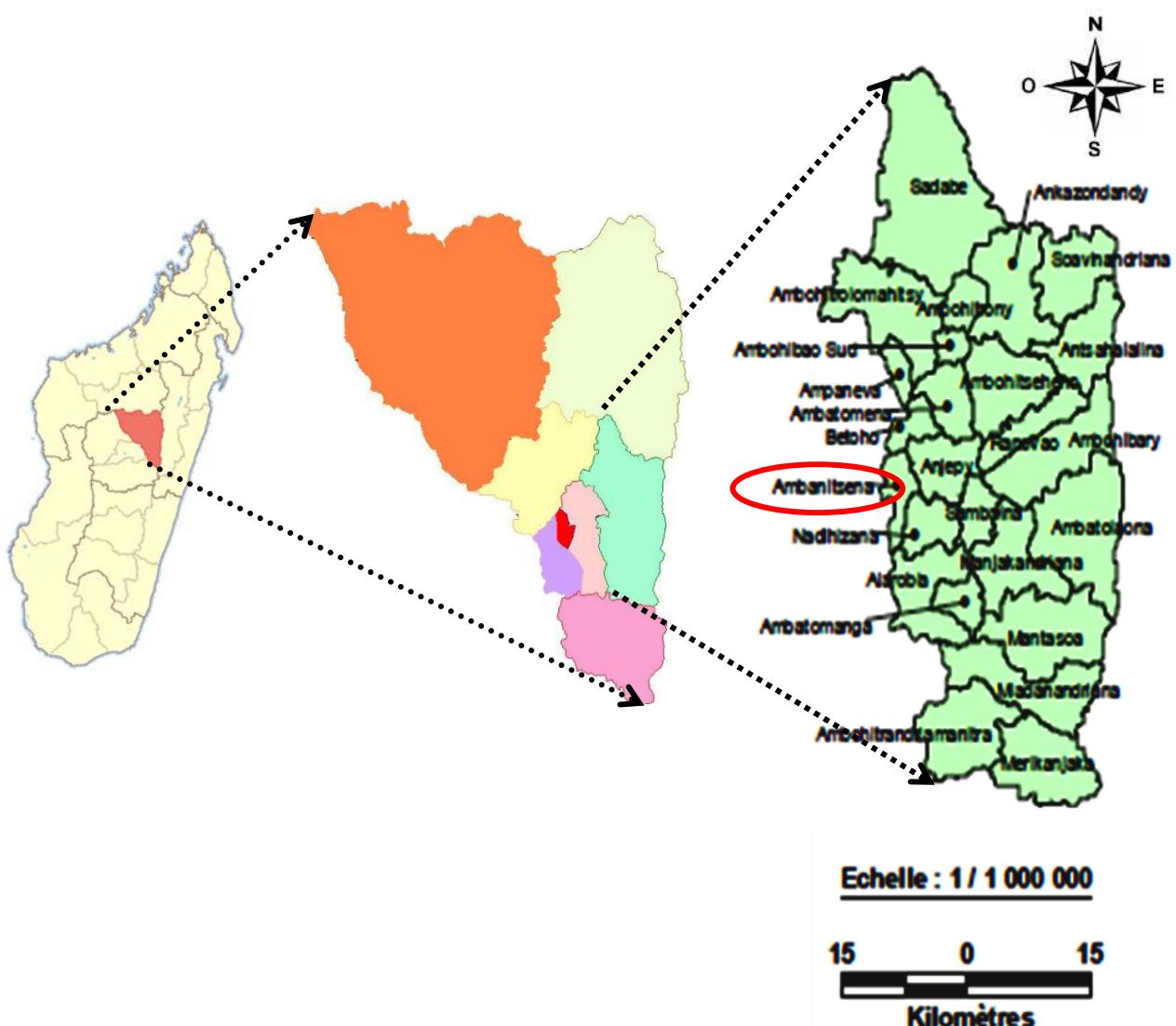


Figure 1: Localisation géographique du site d'études

Source : PRD Analamanga, 2012

II-1-2. Climat

Le climat du district de Manjakandriana est de type tropical d'altitude. La zone se trouve à une altitude moyenne de 1440 m et présente des moyennes annuelles de 16°C pour la température et 1620 mm pour la pluviosité. Le climat est caractérisé par deux saisons distinctes :

- la saison perhumide ou très humide : de Novembre à Mars où la moyenne mensuelle des précipitations dépasse 100 mm, et
- la saison fraîche et humide : d'Avril en Octobre, durant laquelle les crachins et les brouillards persistent.

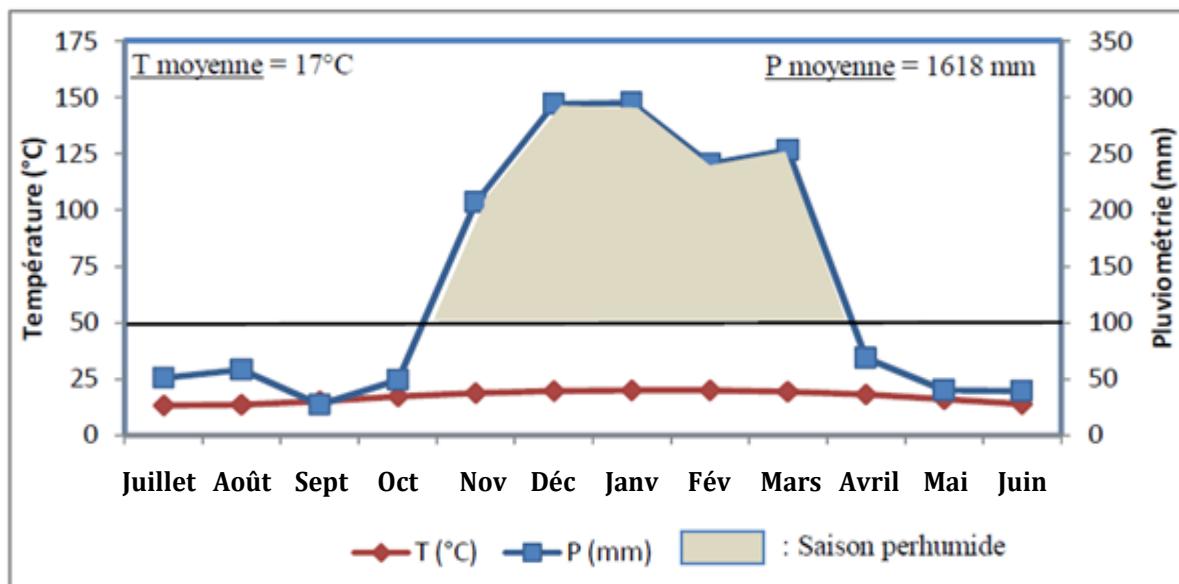


Figure 2: Courbe ombrothermique de Manjakandriana (1951- 1980)

Source : Service météorologique Ampandrianomby, Antananarivo

Ces données sur la courbe ombrothermique ont été les plus récentes que l'on a pu obtenir de la station de Manjakandriana.

II-1-3. Type de sol et relief

Dans le district de Manjakandriana, la roche mère est constituée de granite porphyroïde et les sols sont généralement des ferralsols (FAO, 2006), localement appelés sols ferralitiques jaune sur rouge (BOURGEAT et al., 1973) cités par RAZAKAMANARIVO et al., en 2006.

Selon le PCD, la commune d'Ambanitsena fait partie des hautes terres de l'Est de la région d'Analamanga. Elle est donc, caractérisée par les hautes collines granitiques orientées aux cultures vivrières et les vallées réservées aux rizicultures. Le paysage agro-écologique de la commune peut être caractérisé par la zone alluviale et les bassins versants ou « tanety » où l'on rencontre surtout des forêts et des zones non cultivées.

II-1-4. Végétation

Les formations végétales qui dominent dans la Commune rurale d'Ambanitsena sont de type mixte. On y observe un mélange de graminées et de ligneux. La formation herbeuse est une

formation à *Aristide*. La formation arborée est constituée d'arbres et d'arbustes disséminés le long des collines. Ce sont, soit des *eucalyptus*, soit des *pinus* issus de reboisement et d'origine naturelle, et des pins, des mimosas, et des arbres fruitiers. Cette formation végétale peut être assimilée à une savane issue du reboisement.

II-2. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé pour cette expérimentation est la tomate, du genre : *Lycopersicon*, espèce : *esculentum*, variété : « Ace VF 55 ». Cette semence est issue de l'agriculture biologique, et certifiée par Qualité France sous le code d'identification FR-BIO-10. Il s'agit d'une variété semi-hâtive, à port déterminé, pouvant produire des fruits de taille moyenne d'environ 200 grammes (www.lesdoigtsverts.com). Le plant de tomate atteint en moyenne 1 m (www.graines-et-plantes.com). C'est une variété vigoureuse de type chair de bœuf, de bonne production et résistante au verticillium et au fusarium. Elle donne des fruits ronds sans acidité, d'un beau rouge à la chair pleine et juteuse, utilisée seule ou en mélange en salades, coulis, jus, excellente en tomates farcies (www.graines-de-bambous). Sa production s'étale sur 65 à 85 jours (semences-partage.forum-tomates.net).

II-3. Fertilisant

La matière fertilisante utilisée lors de l'expérimentation est le lombricompost produit au sein même du centre FO.FI.FA.KRI. Cet engrais a été de forme granulé et de couleur noir. L'espèce de vers qui a été utilisé lors du lombricompostage est : « *eisenia foetida* ». Le substrat initial a été composé de feuilles de *Chrysopogon sp* (vétiver), de *Tripsacum laxum* (guatemala), de *Melia azedarach* (voandelaka), de *Vernonia appendiculata* (ambiaty) ; de déchets ménagers, de pourritures de fruits de papaye, d'orange, de pêche et de bouse de vache. La durée du lombricompostage a été de trois mois.

II-4. Analyses au laboratoire

Des analyses du sol et du lombricompost ont été effectuées au laboratoire des radioisotopes (LRI) et au laboratoire d'analyse du sol du département agriculture de l'ESSA afin de déterminer les dosages d'engrais à apporter lors de l'expérimentation.

II-4-1. Analyse du sol

Le terrain étant aménagé en terrasses de trois niveaux, un échantillon composite de sol par niveau de terrassement a été analysé aux laboratoires.

a. *Technique d'échantillonnage*

Sur chaque niveau de terrassement, ayant une surface de 100 m², un échantillon composite a été préparé à partir de 5 prélèvements en diagonales croisées, réalisés à la tarière sur la couche labourée d'une profondeur de 0 à 20 cm ([Cf. Annexe 5](#)).

b. *Analyses effectuées*

- Analyse physique

L'analyse granulométrique a été effectuée par la méthode de sédimentation afin de déterminer les teneurs en argile, en sable et en limon du sol.

- Densité apparente

Après le prélèvement du sol à l'aide d'un cylindre, puis séchage de l'échantillon à l'étuve de 105°C pendant 24 heures, la densité apparente a été déterminée par calcul du rapport de la masse de l'échantillon sec sur le volume du cylindre.

- pH eau

Le pH eau a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre électronique sur une suspension de sol.

- Carbone organique et matières organiques

Le carbone organique a été déterminé par la méthode de Walkley et Black, qui consiste en une oxydation par voie humide de la matière organique par le mélange bichromate de potassium/acide sulfurique puis, titration de l'excès bichromate par le sulfate ferreux.

La matière organique totale a été obtenue par la formule suivante :

$$MO \% = \text{Taux de carbone organique} \times 1,72$$

- Azote total

La détermination de l'azote total a été effectuée par la méthode de Kjeldhal : minéralisation par H₂SO₄, distillation, puis titration volumétrique.

- Potassium échangeable

Les cations échangeables sont habituellement dosés dans les solutions d'extraction obtenues pour la détermination de la CEC. Pour cette étude, le potassium échangeable du sol a été déterminé par la méthode d'extraction au chlorure de cobalthihexammine.

- Phosphore résine

Le phosphore résine a été déterminé par la méthode d'extraction par des bandes de résines échangeuses d'anion. Cette méthode consiste à transférer le P contenu dans la solution du sol vers la surface des résines qui portent une charge positive.

II-4-2. Analyse du lombricompost

a. *Analyses effectuées*

- pH eau

Le pH eau a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre électronique sur une suspension d'engrais.

- Carbone organique et matières organiques

Le carbone organique a été déterminé par la méthode de Walkley et Black.

La matière organique totale a été obtenue par la formule :

$$MO \% = \text{Taux de carbone organique} \times 1,72$$

- Azote total

La détermination de l'azote total a été effectuée par la méthode de Kjeldhal.

- Potassium total

Le potassium total dans l'engrais a été dosé par spéctrométrie d'absorption atomique après calcination.

- Phosphore total

Le dosage du phosphore total dans le lombricompost a été effectué par colorimétrie après calcination.

II-5. Dispositif et traitements expérimentaux

L'expérimentation au champ a été réalisée sur tanety, sur un terrain ayant une surface de 3 ares. Ce terrain n'a pas encore été cultivé et a été occupé par une végétation *d'Eucalyptus sp*, *d'Acacia dealbata* (mimosa) et principalement *de Phyllostachys aurea* (bararata). Après le défrichement, le terrain a été aménagé en terrasses de trois niveaux pour la mise en place du dispositif expérimental.

II-5-1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté a été un bloc de Fischer avec trois répétitions des traitements étudiés (Cf. Annexe 6). Chaque bloc est situé un niveau de terrassement et correspond à une répétition. Chaque bloc comprend 10 parcelles élémentaires correspondant à chacun des traitements, et dont la répartition s'est faite par randomisation totale (Cf. Annexe 7). Au total, le dispositif comprend 30 parcelles élémentaires. Chaque parcelle a une surface de 10 m² avec 3,70 m de longueur et 2,70 m de largeur. Les plants ont été repiqués sur la parcelle avec un espace-ment de 0,70 m entre les lignes et 0,50 m sur les interlignes, soit au total 36 plantes de tomate par parcelle.

II-5-2. Traitements expérimentaux

Lors de cette expérimentation, deux facteurs ont été étudiés.

Le premier facteur est le dosage du lombricompost. Trois doses croissantes ont été testées après calcul des besoins en phosphore, à fournir par l'engrais selon le rendement escompté, avec un témoin absolu non fertilisé (Cf. Annexe 8).

- T. abs : 0 t.ha⁻¹ servant de témoin absolu
- D₁ : 4,5 t.ha⁻¹ pour un rendement escompté de 40 t.ha⁻¹ qui peut correspondre au rendement obtenu en milieu paysan.

- D_2 : 9 t.ha⁻¹ pour un rendement escompté de 60 t.ha⁻¹ qui est un rendement moyen pour la culture de tomate (HUBERT, 1970).
- D_3 : 15,5 t.ha⁻¹ pour un rendement escompté de 90 t.ha⁻¹ qui est le rendement maximum que l'on peut obtenir en bonne culture (HUBERT, 1970)

Le deuxième facteur étudié est la période d'apport de l'engrais. Trois périodes d'apport de l'engrais ont été évaluées pour chaque dose :

- A_1 : un seul apport au moment de la transplantation.
- A_2 : deux apports en deux fractions égales au moment de la transplantation et en début de floraison.
- A_3 : trois apports en trois fractions égales au moment de la transplantation, en début de floraison et pendant la fructification.

En tout, 10 traitements expérimentaux ont été étudiés. Les neufs traitements ont été issus de la combinaison entre le dosage et le fractionnement des apports : D_xA_y et le dernier traitement correspond au témoin absolu.

Le tableau n°1 suivant montre la répartition des doses d'engrais en fonction des périodes d'apports pour chaque traitement.

Tableau 1: Les différents traitements expérimentaux (t.ha⁻¹)

Traitements	Dose	1 ^{er} Apport	2 ^{ème} Apport	3 ^{ème} Apport	Total des apports
T. abs	0,00				0,00
D₁A₁	4,50	4,50			4,50
D₁A₂	4,50	2,25	2,25		4,50
D₁A₃	4,50	1,50	1,50	1,50	4,50
D₂A₁	9,00	9,00			9,00
D₂A₂	9,00	4,50	4,50		9,00
D₂A₃	9,00	3,00	3,00	3,00	9,00
D₃A₁	15,50	15,50			15,50
D₃A₂	15,50	7,75	7,75		15,50
D₃A₃	15,50	5,20	5,20	5,20	15,50

Source : Auteur, 2014

II-6. Conduite de l'expérimentation

L'itinéraire technique adopté lors de l'expérimentation a été comme suit :

- Défrichement, épierrage et aménagement en terrasse

Avant la mise en place du dispositif expérimental, le terrain a d'abord été nettoyé en surface par un défrichement et épierrage. Puis, comme il s'agit d'un terrain en pente sur tanety, le terrain a été aménagé en terrasse de trois niveaux.

- Test de germination

Après le choix de la variété certifiée biologique « Ace VF 55 », un test de germination a été réalisé. Ce test a été effectué le 26 Novembre 2013, afin de déterminer la quantité de semence nécessaire à la réalisation de l'expérimentation.

- Semis en pépinière et entretiens

Le semis en pépinière a été réalisée le 02 Janvier 2014 sur une plate bande de 10 m de long et 1m de large qui a été fertilisée avec du lombricompost d'environ 10 Kg. Les graines ont été semées sur des lignes distantes de 15 cm dans le sens de la longueur à une profondeur de 1cm. Après le semis, une ombrière a été mise en place à une hauteur de 25 cm du sol. La pépinière a été régulièrement arrosée et l'ombrage a été allégé en réduisant petit à petit le paillage.

Il est à noter qu'avant cette étude, cette plante bande a été occupée par une culture d'oignon.

- Labour, émottage, parcellisation des blocs et trouaison

Le sol a été labouré à une profondeur de 20 cm avant les prélèvements d'échantillons de sol pour les analyses au laboratoire, puis chaque bloc a été divisé en 10 parcelles élémentaires après l'émottage.

Les distances entre les trous de plantation ont été de 0,70 m entre les lignes et de 0,50 m sur les interlignes.

- Transplantation

La transplantation des jeunes plants a été réalisée les 17 et 18 Février 2014 après un mois et demi (45 jours) en pépinière. Elle a été effectuée en fin d'après midi afin d'éviter l'exposition des plants transplantés à de fortes chaleurs.

- Fertilisation

Selon les traitements, des apports localisés de lombricompost ont été effectués sur les parcelles élémentaires. Le premier apport a été au moment de la transplantation, le deuxième, en début de floraison et le troisième pendant la fructification.

- Gestion des maladies et des ravageurs

Les ravageurs tels que : les pucerons (*Aphis gossypii*), les mouches blanches (*Bemisia tabaci*) et les larves de noctuelles (*Heliothis armigera*), ont été traitées par l'utilisation des produits naturels utilisés dans les techniques d'agriculture biologique dont : la consoude (*Symphytum officinale*), le lilas de perse ou voandelaka (*Melia azedarach*), le sisal (*Agave sisalana*) ...

Ces produits naturels ont été fermentés pour préparer des extraits. La fermentation a été effectuée pendant 15 jours à une dose de 1Kg de produits pour 10 litres d'eau. 1 litre de cet extrait a été mélangé à 8 litres d'eau pour traiter une surface de 1are.

Comme il n'existe aucun traitement contre le flétrissement bactérien, les solutions adoptées étaient : l'arrachage et le brûlage des plants atteints et la réduction de la fréquence de l'arrosage.

- Entretiens : arrosage, palissage, buttage, effeuillage, ébourgeonnement

La fréquence de l'arrosage était de deux fois par semaine, mais celle-ci a été réduite en une seule fois par semaine, suite à l'apparition du flétrissement bactérien.

Un palissage individuel vertical a été effectué pour chaque plante sur des tuteurs de 1m 20 de long en moyenne. Les plantes ont été attachées chaque fois que les pousses ont atteints 20 à 25 cm.

Les buttages ont été réalisés après chaque apport d'engrais.

Lors des effeuillages, seules les feuilles situées à la base des feuilles ont été supprimées pour que les plantes subissent le même traitement.

Des ébourgeonnements ont été réalisés en supprimant les bourgeons apparaissant au niveau des aisselles des feuilles.

- Récolte

La récolte a été effectuée entre 76 JAT (Jour Après Transplantation) à 91 JAT, les premiers fruits ont été cueillis au stade vert tournant vers le rose. Mais, les fruits suivants, ont été cueillis verts à cause des attaques des ravageurs (mouche de la tomate et le ver de capsule) qui ont provoqué des dégâts sur les fruits et aurait pu entraîner une plus lourde perte sur la récolte.

En effet, si d'une part, le marché est éloigné, et d'autre part, on observe des dégâts d'oiseaux, on peut récolter les tomates vertes. La maturation se fait en une semaine à 25°C à 30°C, avec une réussite de 85 à 95% (MESSIAEN, 1975).

II-7. Collecte et traitements des données

Les collectes de données se sont portées sur les paramètres de croissance, les paramètres de rendement et le compte d'exploitation.

II-7-1. Technique d'échantillonnage

Sur chaque parcelle élémentaire, deux carrés de rendement de 1m² ont été posés sur la diagonale en délaissant toutes les plantes sur les lignes de bordures. Chaque carré de rendement comporte chacun 6 plantes de tomate. Ainsi 12 échantillons ont été prélevés sur chaque parcelle. (Cf. Annexe 9)

II-7-2. Paramètres de croissance

Les observations par rapport à la croissance des plantes se sont portées sur :

- Avant récolte
 - **la hauteur de la plante** : par mesure de la hauteur la plante du collet au sommet, à l'aide d'un ruban métrique.
 - **le nombre de branches par plante** : par comptage du nombre total de branches de chaque plante.
 - **le nombre de feuilles par plante** : par comptage du nombre total de feuilles de chaque plante.

Ces données ont été prélevées à chaque période d'apport d'engrais soit : à la transplantation, au début de la floraison (31 JAT), à la fructification (65 JAT), et à la fin du cycle (91 JAT).

- Après récolte
 - **la longueur de la racine** : par mesure de la longueur de la racine après arrachage des plants
 - **la production en biomasse aérienne** : par pesage de la tige, des branches et des feuilles après arrachage des plants.
 - **la production en biomasse souterraine** : par pesage de la racine après arrachage des plants.

Ces paramètres n'ont été déterminés qu'à la fin du cycle (91 JAT).

II-7-3. Paramètres de rendement

Les paramètres de rendement évalués ont été :

- **le nombre de bouquet par plante** : par comptage du nombre d'inflorescence ou «bouquet» de chaque plante.
- **le nombre de fleurs par bouquet** : par comptage du nombre de fleurs par bouquet de chaque plante.
- **le nombre de fruit par bouquet** : par comptage du nombre de fruit par bouquet de chaque plante.
- **le poids moyen des fruits** : par détermination de la moyenne des poids de tous les fruits au niveau de chaque plante.

- **le rendement brut** : par détermination du rendement par hectare en fonction du nombre de fruits total selon la formule suivante :

Rendement brut = Densité à l'hectare x Nombre de bouquets/plante x Nombre de fruits/bouquet
x Poids moyen d'un fruit

- **le rendement net** : par détermination du rendement par hectare en fonction du nombre de fruits commercialisables par rapport au nombre de fruits total par la formule :

Rendement net = Densité à l'hectare x Nombre de fruits commercialisables/plante x Poids moyen d'un fruit

Ces données sur les paramètres de rendement ont été prélevées pendant la fructification et pendant la récolte (76 JAT à 91 JAT).

Il est à noter que la collecte des données durant cette étude a été arrêtée au 91^{ème} JAT. Ainsi, pour quelques traitements dont : T.abs, D₁A₁, D₁A₂, D₁A₃, les plantes n'ont pas encore fini leur cycle complet. Pour le cas du témoin absolu, il n'y a pas eu de récolte.

Les données sur les paramètres de croissance et les paramètres de rendement ont été traitées statistiquement par analyse de la variance ou ANOVA par le logiciel XLSTAT 2008.

II-7-4. Calcul économique

Les données utilisées pour le calcul des indicateurs économiques ont été issues du compte d'exploitation.

a. *Valeur ajoutée brute : VAB*

Comme son nom l'indique, la valeur ajoutée brute est le revenu agricole réel, c'est à dire la création de valeur réelle d'origine agricole et issue du travail.

La valeur ajoutée brute a été calculée en suivant la formule suivante :

$VAB = PRODUIT BRUT - CONSOMMATION INTERMEDIAIRE$

b. *Valorisation de la journée de travail : VAB/HJ*

La valorisation brute de la journée de travail est égale à la valeur ajoutée brute divisée par le temps de travail exprimée en HJ.

$VAB/ HJ = VAB/ TEMPS DE TRAVAIL EN HJ$

II-8. Limites du travail

II-8-1. Chevauchement des travaux de préparations du sol à la période de repiquage du riz dans la zone d'étude

Le chevauchement des travaux de préparations du sol avec le repiquage du riz dans la zone d'études a été un facteur limitant le travail. En effet, cela a entraîné un retard dans les travaux de préparation du sol à cause de l'indisponibilité de la main d'œuvre locale.

II-8-2. Attaque du flétrissement bactérien

L'attaque du flétrissement bactérien a réduit le nombre d'échantillons sur quelques parcelles, surtout, sur celles qui ont été sur le plus bas niveau de terrassement.

Le flétrissement bactérien de la tomate, provoqué par *Pseudomonas solanacearum* est considéré comme l'une des maladies les plus importantes de la tomate à Madagascar. Les symptômes de cette maladie se développent très rapidement quand les conditions sont favorables à l'évolution de la maladie. Elle se manifeste d'abord par le ramollissement et le recourbement vers le bas de certaines feuilles, avant que le flétrissement ne se propage sur la plante entière. Le flétrissement est brusque, sans jaunissement préalable. On voit apparaître sur la tige des protubérances, ébauches avortées de racines. Lorsque le flétrissement gagne l'ensemble des feuilles, la tige noircit et la plante meurt. Une lutte contre le flétrissement bactérien est difficile. Les plants présentant des flétrissements sont à arracher et à détruire par le feu. (RECKHAUS, 1997).

La lutte culturelle adoptée lors de cette étude a été la réduction de la fréquence d'arrosage, allant de deux fois par semaine à une fois par semaine. Cette dernière a entraîné une baisse de l'alimentation hydrique des plantes.

II-8-3. Pas d'efficacité des produits « ady gasy » pendant la fructification

Durant la fructification et la maturation des fruits, les ravageurs n'ont pas été contrôlés par l'utilisation des produits naturels, on peut citer entre autres : la mouche de la tomate (*Pardalap-sis cyanenscens*) et le ver de tomate (*Heliothis armigera*) dont les larves et les chenilles perforent les fruits. En effet, gérer ces insectes présent partout là où il y a la culture de tomate requiert une lutte chimique par un produit à courte rémanence.

III. RESULTATS

III-1. Résultats des analyses au laboratoire

III-1-1. Caractéristiques physico-chimiques du sol

Tableau 2: Caractéristiques physico-chimiques du sol

Paramètres mesurés	Bloc n°1 1 ^{er} niveau de terrassement	Bloc n°2 2 ^{ème} niveau de terrassement	Bloc n°3 3 ^{ème} niveau de terrassement
Analyse granulométrique * (%)	Argile : 18,80 Limon : 30,00 Sable : 49,90	Argile : 14,35 Limon : 37,70 Sable : 46,05	Argile : 9,85 Limon : 29,30 Sable : 58,65
Densité apparente ** (g/cm ³)	2,11	1,81	1,73
pH*	6,11	6,15	6,14
C organique* (‰)	14,43	14,63	17,36
Matière organique totale * (%)	2,48	2,52	2,99
N Total * (‰)	1,26	1,40	1,54
C/N *	11,45	10,44	11,26
P résine ** (mg/Kg)	1,16	2,76	3,16
K échangeable ** (mg/Kg)	78,08	97,53	131,43

Source : Laboratoire Sol ESSA, 2014 (*) ; Laboratoire des radio-isotopes (LRI), 2014 (**)

D'après ces résultats, on constate que le sol du site d'expérimentation a une texture sablo-limoneuse. Les pH sont légèrement acides. Les teneurs en éléments majeurs N, P, K augmentent au fur et à mesure que l'on descend de niveau de terrassement. Ainsi, le bloc n° 1 est le plus pauvre et le bloc n° 3, le plus riche. Contrairement à cela, la densité apparente a diminué au fur et à mesure que l'on baisse de niveau.

III-1-2. Caractéristiques chimiques du lombricompost

Tableau 3: Caractéristiques chimiques du lombricompost

Paramètres mesurés	Composition du lombricompost	Observations
pH *	6,87	Neutre *
C organique * (%)	70,20	Riche *
Matière organique totale * (%)	12,07	
N Total * (%)	7,00	Riche *
C/N *	10,02	
P Total ** (%)	2,15	
K Total ** (%)	5,32	

Source : Laboratoire Sol ESSA, 2014 (*) ; Laboratoire des radio-isotopes (LRI), 2014 (**)

D'après ces résultats sur l'analyse chimique, on constate que le pH de ce lombricompost est presque neutre.

La composition chimique de ce lombricompost indique que sa teneur en azote est plus élevée par rapport à celle en potassium et en phosphore.

III-2. Paramètres de croissance

III-2-1. Hauteur de la plante

a. De la transplantation à la floraison

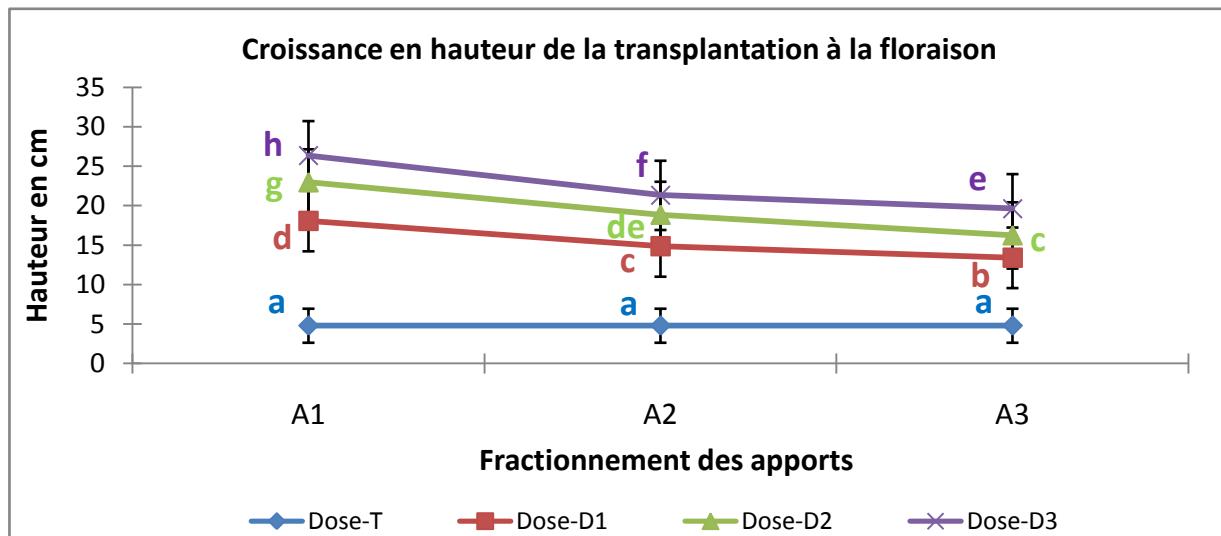


Figure 3: Croissance en hauteur de la transplantation à la floraison

Source : Auteur, 2014

Durant la transplantation à la floraison, la croissance en hauteur maximale atteinte par la plante est de 26,4 cm pour le traitement D₃A₁ contre 4,80 cm pour le témoin absolu. L’interaction entre la dose et le fractionnement des apports ($P > F = < 0,0001$) a eu un effet significatif sur la croissance en hauteur de la tomate.

b. De la floraison à la fructification

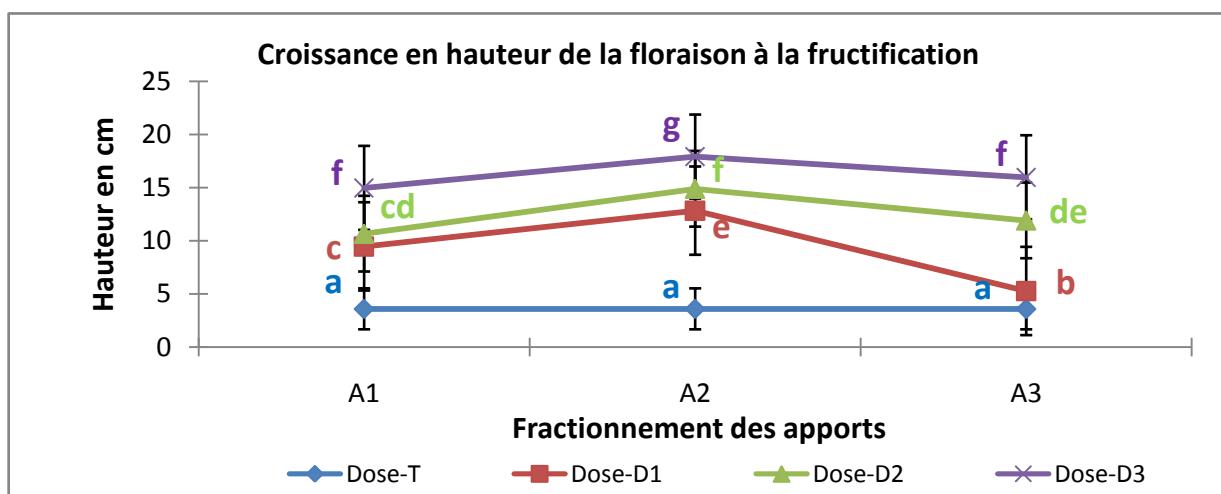


Figure 4: Croissance en hauteur de la floraison à la fructification

Source : Auteur, 2014

La croissance en hauteur maximale observée durant cette période a été de 15,9 cm pour le traitement D₃A₂ contre 3,6 cm pour le témoin absolu. L’effet de l’interaction des facteurs a été significatif ($P > F = < 0,0001$) sur la croissance en hauteur de la plante.

c. De la fructification à la fin du cycle

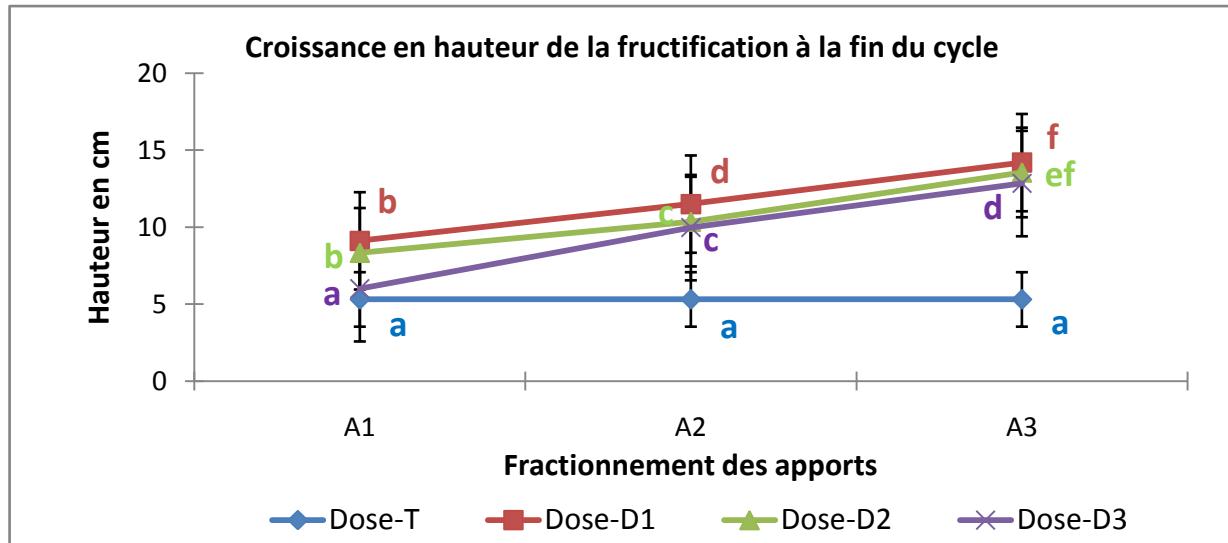


Figure 5: Croissance en hauteur de la fructification à la fin du cycle

Source : Auteur, 2014

La croissance en hauteur maximale durant cette phase a été de 14,2 cm issu du traitement D₁A₃ contre 5,3 cm pour le témoin absolu. L’interaction de la dose et des périodes d’apport ($Pr > F = < 0,0001$) a eu un effet significatif sur la croissance en hauteur de la plante durant la fructification jusqu’à la fin du cycle.

d. Croissance totale en hauteur

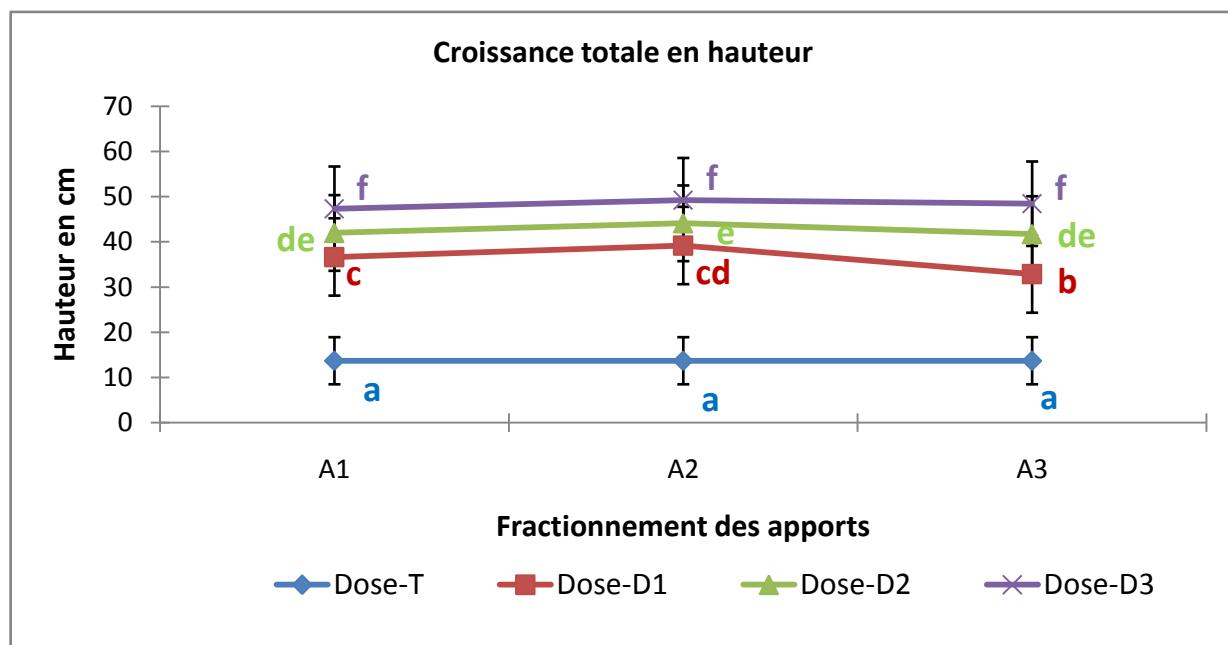


Figure 6: Croissance totale en hauteur

Source : Auteur, 2014

La croissance totale en hauteur maximale atteint a été de 49,2 cm pour le traitement D₃A₂ contre 13,7 cm pour le témoin. La hauteur finale de la plante a été affectée de manière significative par la dose ($Pr > F = < 0,0001$) et le fractionnement des apports ($Pr > F = 0,012$).

III-2-2. Nombre de branches

a. De la transplantation à la floraison

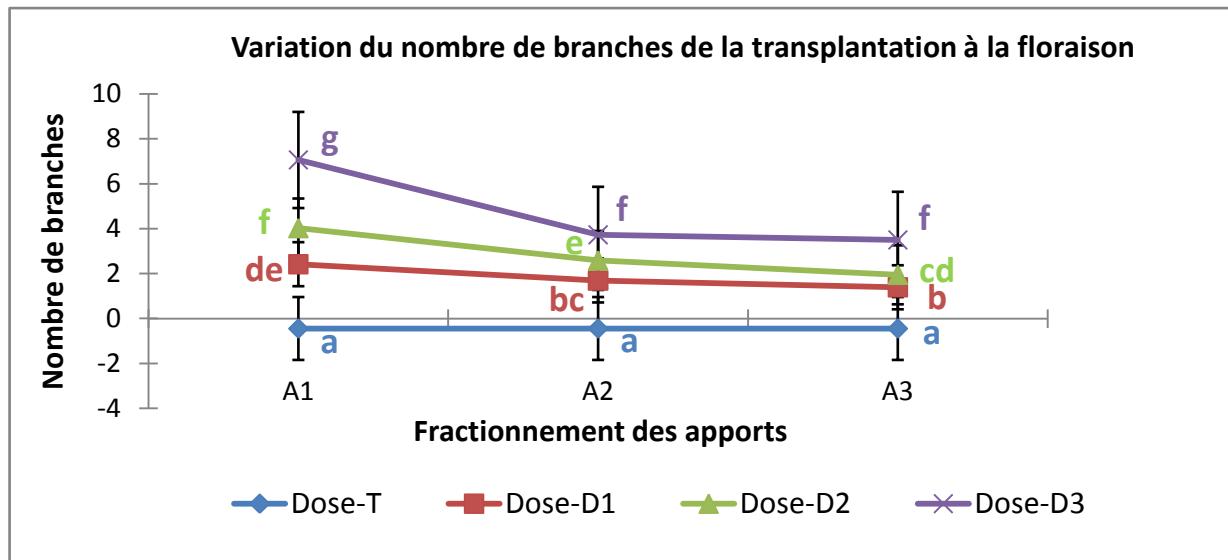


Figure 7: Variation du nombre de branches de la transplantation à la floraison

Source : Auteur ,2014

Le nombre maximum de branches atteint a été de 7 branches pour le traitement D₃A₁ contre une chute de 0,44 branches en moyenne pour le témoin absolu.

L’interaction entre la dose et le fractionnement des apports ($P_r > F = < 0,0001$) a eu un effet significatif sur le nombre de branches sur la plante.

b. De la floraison à la fructification

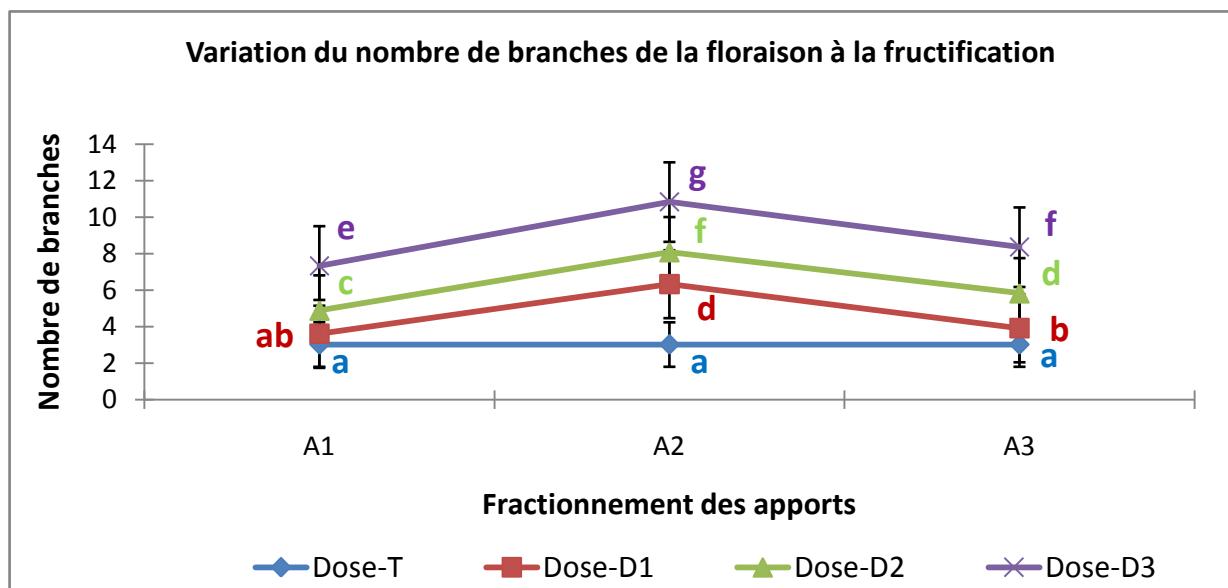


Figure 8: Variation du nombre de branches de la floraison à la fructification

Source : Auteur, 2014

L’augmentation du nombre de branches maximum est de 10,8 branches pour le traitement D₃A₂ contre 3 branches pour le témoin. L’effet de l’interaction des facteurs étudiés ($P_r > F = < 0,0001$) sur le nombre de branches a été significatif.

c. De la fructification à la fin du cycle

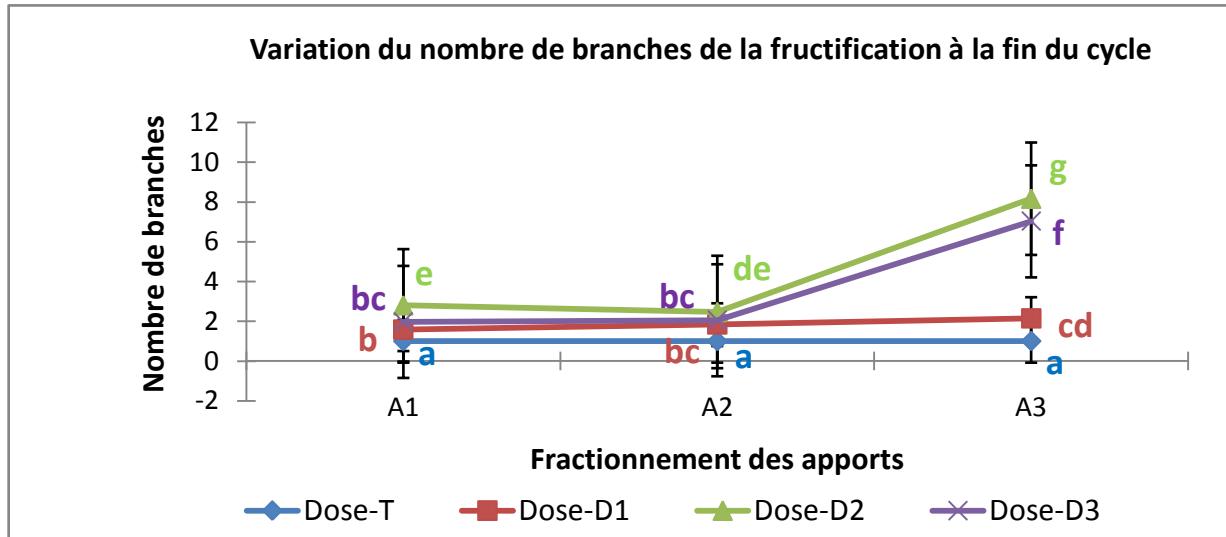


Figure 9: Variation du nombre de branches de la fructification à la fin du cycle

Source : Auteur, 2014

L'augmentation du nombre branches a été la plus élevée avec 8,2 branches pour le traitement D₂A₃ contre 1 branche pour le témoin. L'interaction des facteurs étudiés ($P > F = < 0,0001$) a eu un effet significatif sur le nombre de branches de la fructification à la fin du cycle.

d. Variation totale du nombre de branches

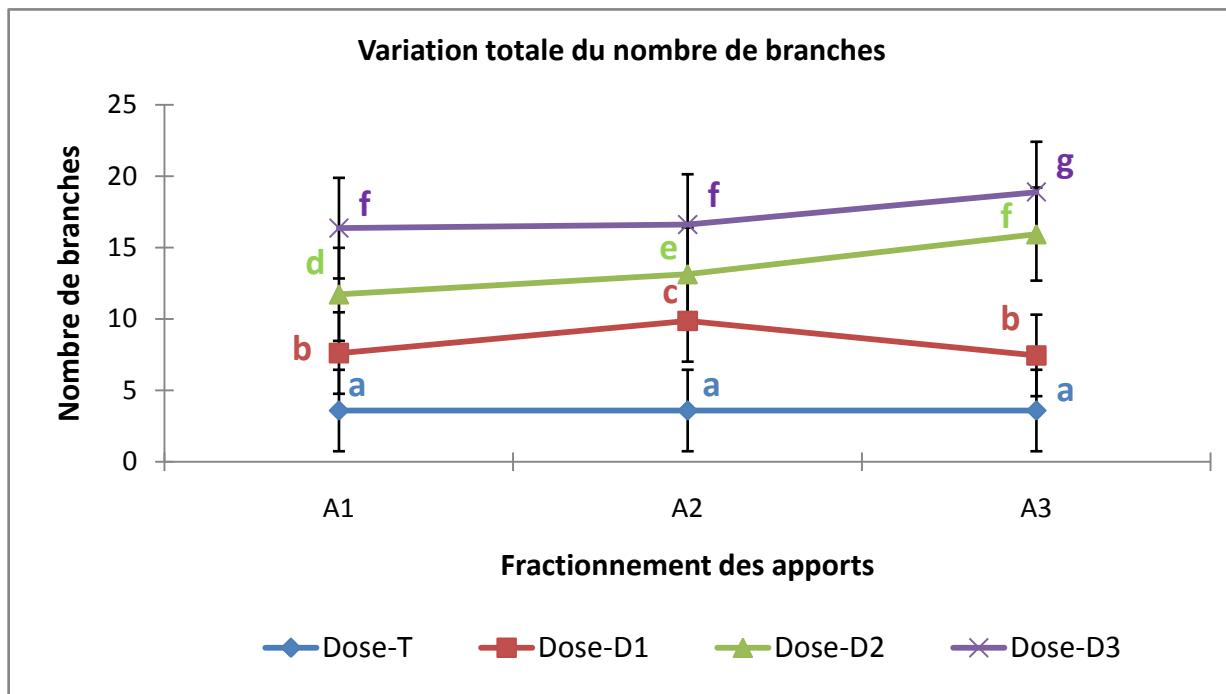


Figure 10: Variation totale du nombre de branches

Source : Auteur, 2014

Le nombre de branches total atteint a été de 19 branches pour le traitement D₃A₃ contre 3,6 branches pour le témoin. L'augmentation totale du nombre de branches sur la plante a été affectée significativement par l'interaction des facteurs étudiés ($P > F = < 0,0001$).

III-2-3. Nombre de feuilles

a. De la transplantation à la floraison

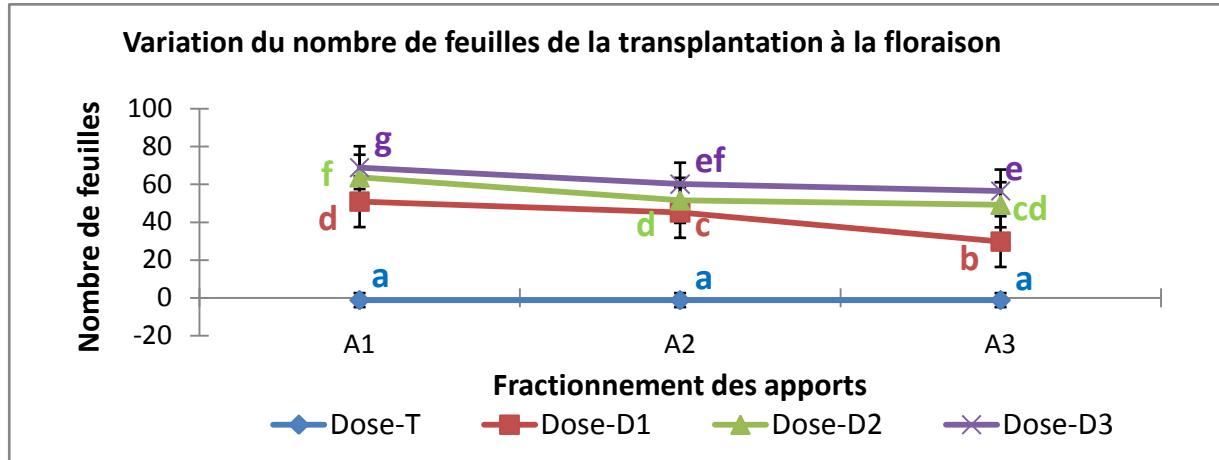


Figure 11: Variation du nombre de feuilles de la transplantation à la floraison

Source : Auteur, 2014

Le nombre de feuilles maximum est de 69 feuilles pour le traitement D₃A₁ contre une chute de 1,22 feuille pour le témoin. L'interaction des facteurs étudiés a eu un effet significatif ($P > F = < 0,0001$) sur le nombre de feuilles.

b. De la floraison à la fructification

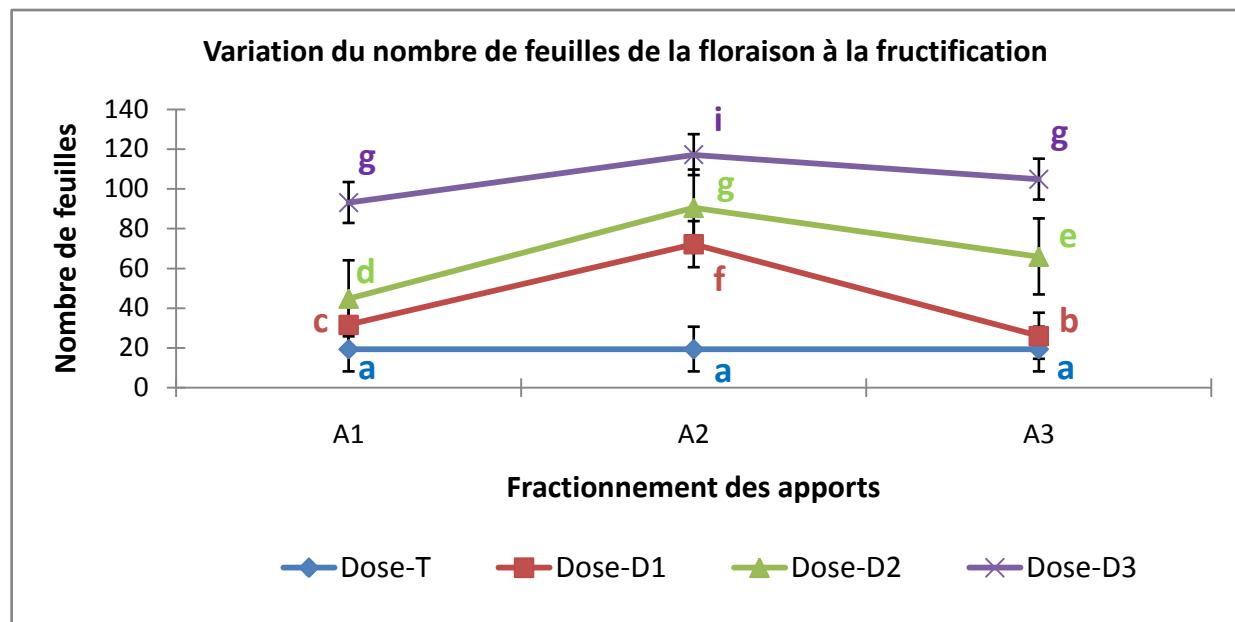


Figure 12: Variation du nombre de feuilles de la floraison à la fructification

Source : Auteur, 2014

L'augmentation du nombre de feuilles la plus élevée a été de 118 feuilles pour le traitement D₃A₂ contre 20 feuilles pour le témoin. De la floraison à la fructification, l'effet de l'interaction des facteurs étudiés a été significatif ($P > F = < 0,0001$) sur le nombre de feuilles.

c. *De la fructification à la fin du cycle*

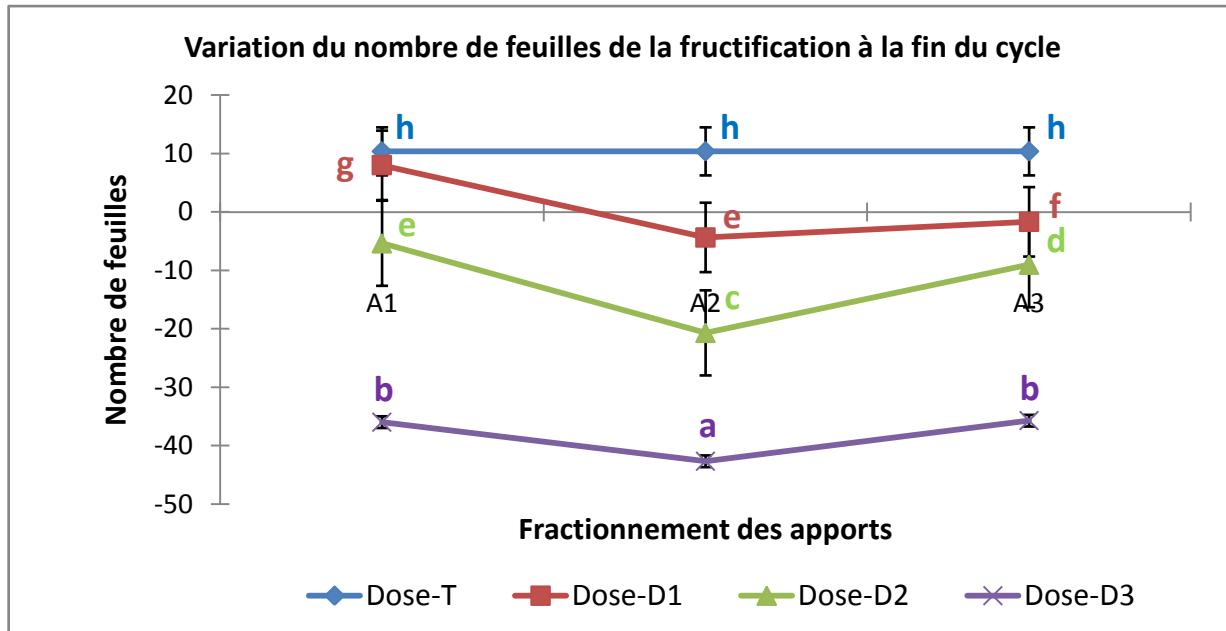


Figure 13: Variation du nombre de feuilles de la fructification à la fin du cycle.

Source : Auteur, 2014

L'augmentation du nombre de feuilles maximum a été 11 feuilles pour le témoin contre une chute de 43 feuilles pour le traitement D₂A₃. L'interaction des facteurs étudiés ($Pr > F = < 0,0001$) a eu un effet significatif sur le nombre de feuilles.

d. *Variation totale du nombre de feuilles*

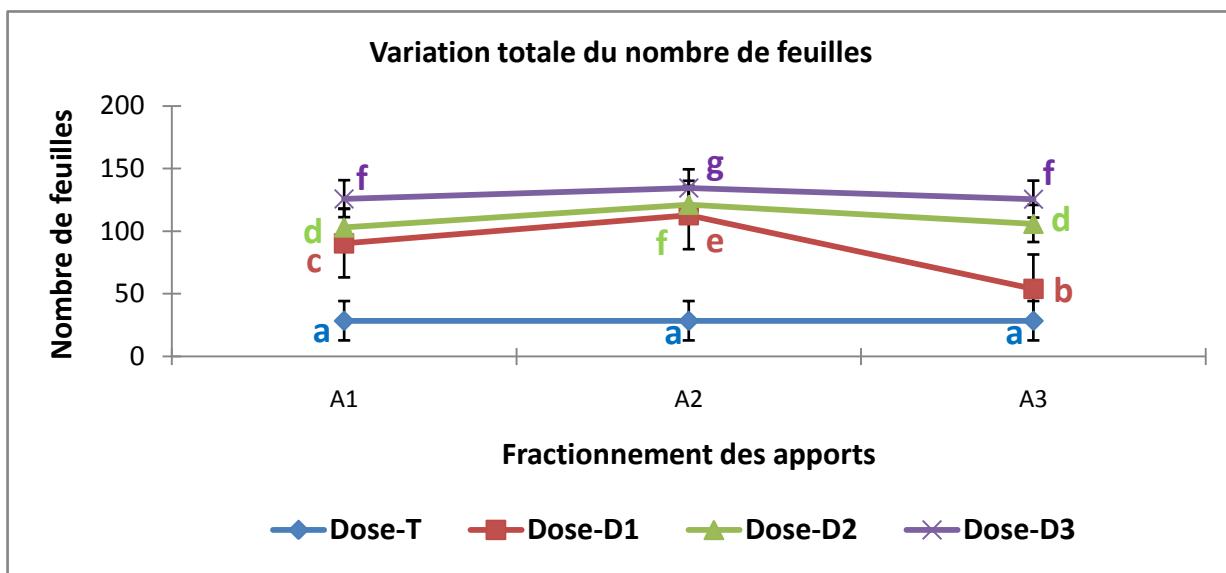


Figure 14: Variation totale du nombre de feuilles

Source : Auteur, 2014

Le nombre total de feuilles maximum a été de 135 feuilles pour le traitement D₃A₂ contre 29 feuilles pour le témoin. Le nombre total de feuilles sur la plante a été affectée de manière significative par l'interaction de la dose et du fractionnement des apports ($Pr > F = < 0,0001$).

III-2-4. Poids de la biomasse aérienne

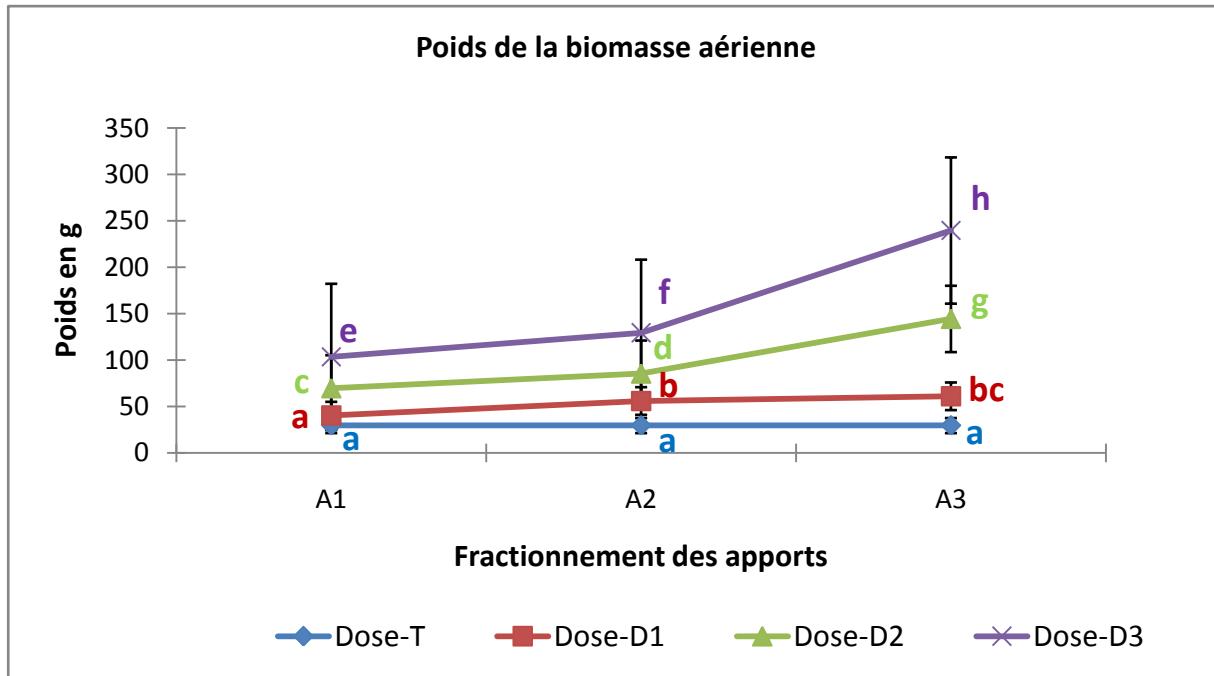


Figure 15: Poids de la biomasse aérienne

Source : Auteur, 2014

Le poids maximum de la biomasse aérienne a été de 239,6 g pour le traitement D₃A₃ contre 30 g pour le témoin. L'effet de l'interaction des facteurs étudiés ($P_r > F = < 0,0001$) a été significatif sur le poids de la biomasse aérienne.

III-2-5. Longueur de la racine

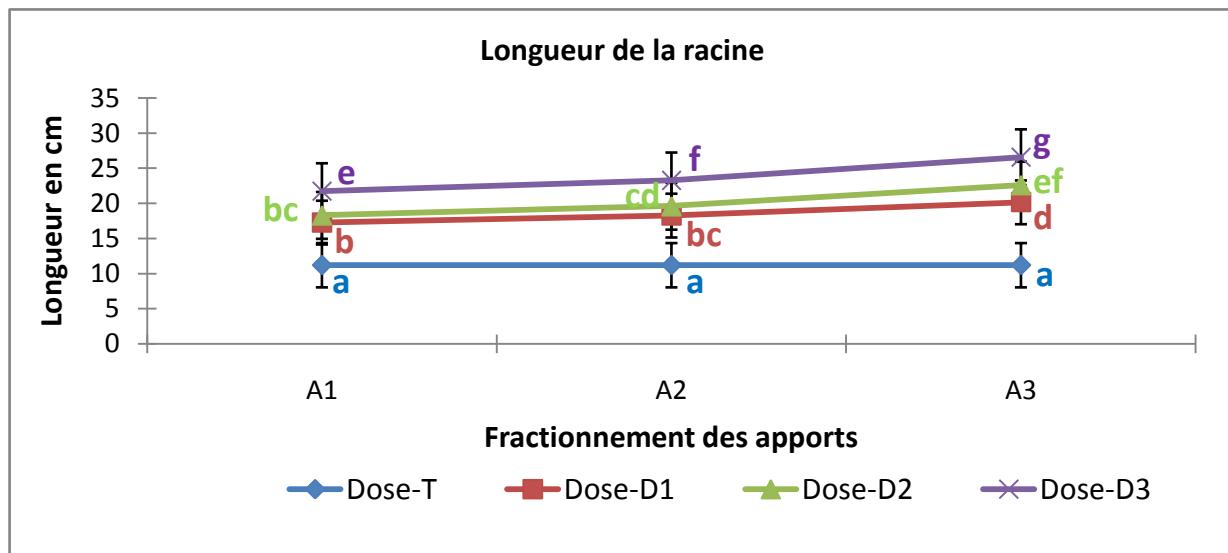


Figure 16: Longueur de la racine

Source : Auteur, 2014

La longueur de la racine a été maximum pour le traitement avec 26,6 cm contre 11,2 cm pour le témoin. L'interaction des facteurs étudiés ($P_r > F = 0,00015$) a eu un effet significatif sur la longueur de la racine.

III-2-6. Poids de la biomasse souterraine

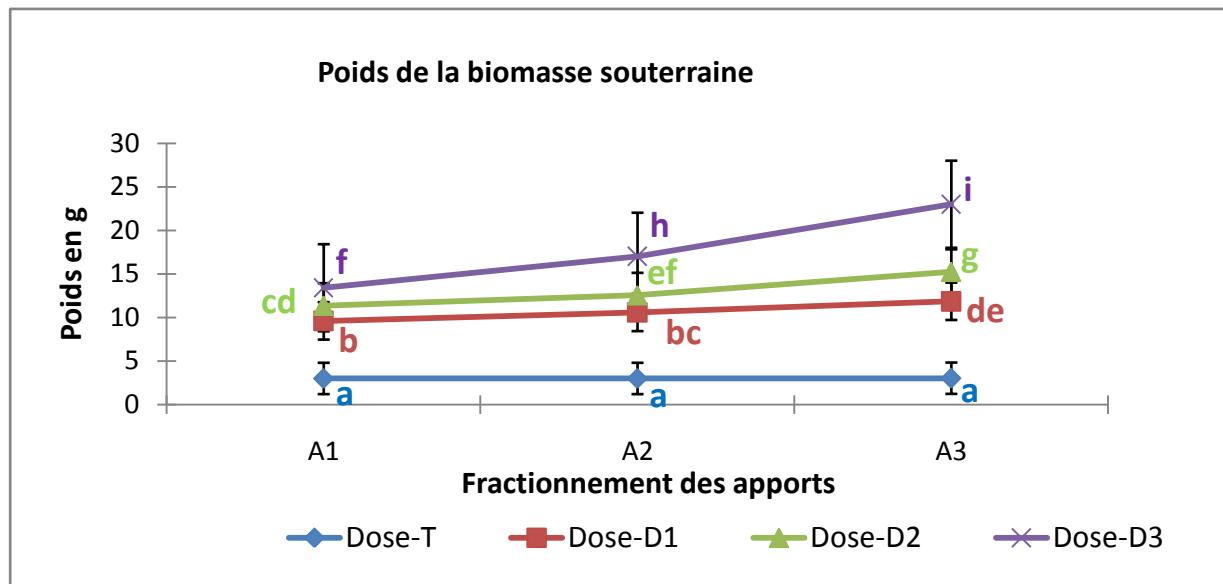


Figure 17: Poids de la biomasse souterraine

Source : Auteur, 2014

Le poids de la biomasse souterraine maximum atteint a été 23 g pour le traitement D₃A₃ contre 3 g pour le témoin. L'interaction des facteurs étudiés ($Pr > F = < 0,0001$) a eu un effet significatif sur le poids de la biomasse souterraine.

III-3. Paramètres de rendement

III-3-1. Nombre de bouquets par plante

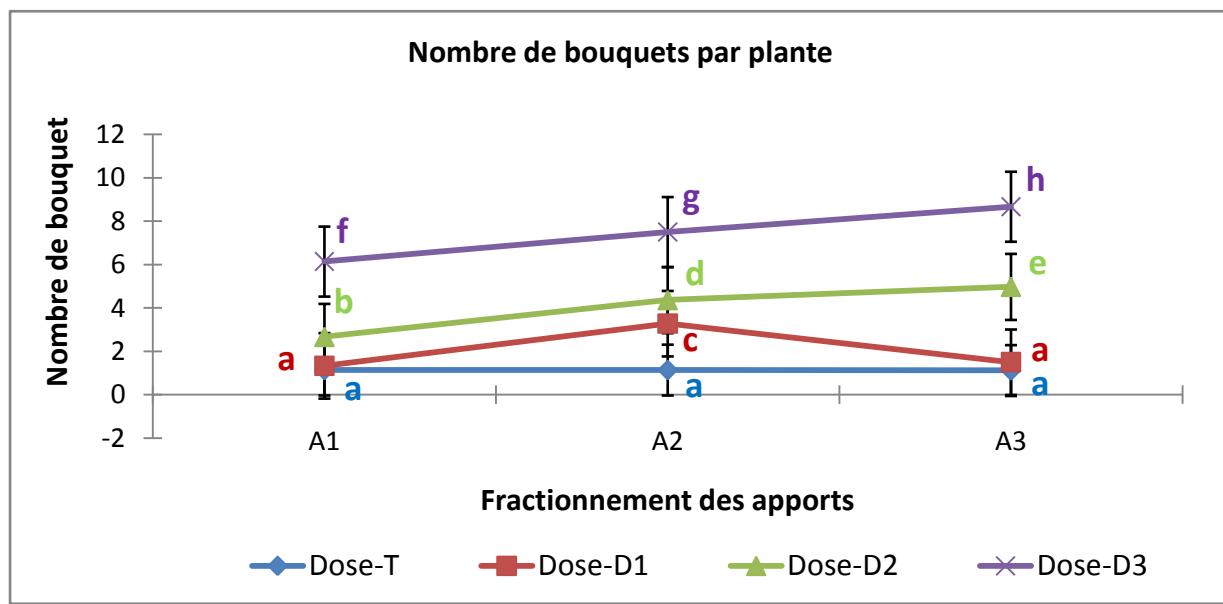


Figure 18: Nombre de bouquet par plante

Source : Auteur, 2014

Le nombre de bouquet par plante le plus élevé a été de 8,66 bouquet contre 1,12 bouquet sur le témoin. L'interaction des facteurs étudiés a affectée de manière significative ($Pr > F = < 0,0001$), le nombre de bouquet par plante

III-3-2. Nombre de fleurs par bouquet

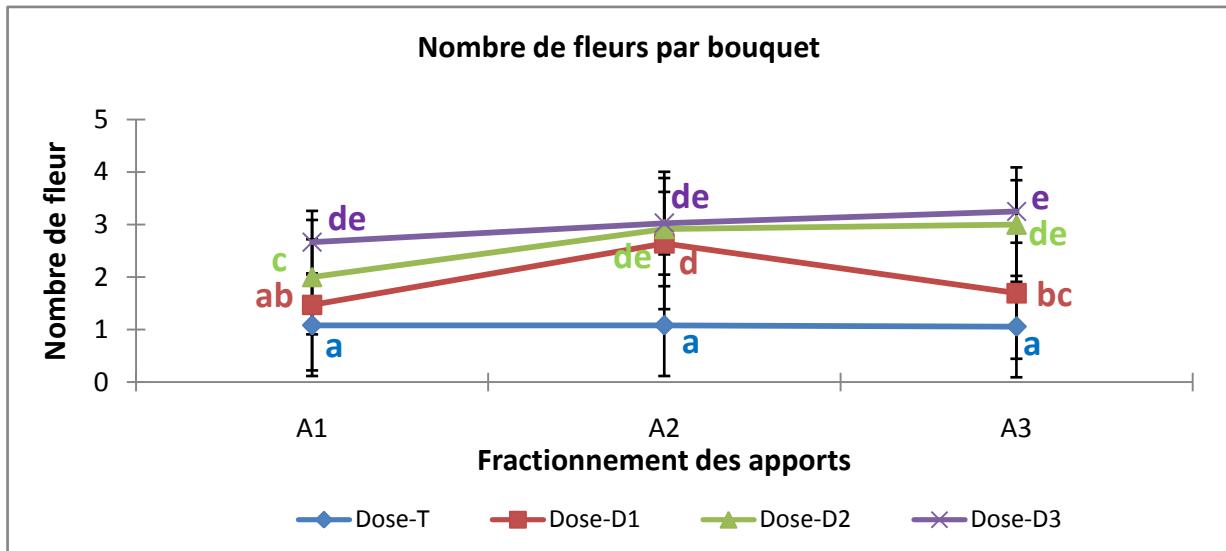


Figure 19: Nombre de fleurs par bouquet

Source : Auteur, 2014

Le nombre de fleurs par bouquet le plus élevé a été de 3,25 fleurs pour D₃A₃ contre 1 fleur pour le témoin. Le nombre de fleurs par bouquet a été affectée de manière significative par l'interaction des facteurs étudiés ($\text{Pr} > F = < 0,0001$).

III-3-3. Nombre de fruits par bouquet

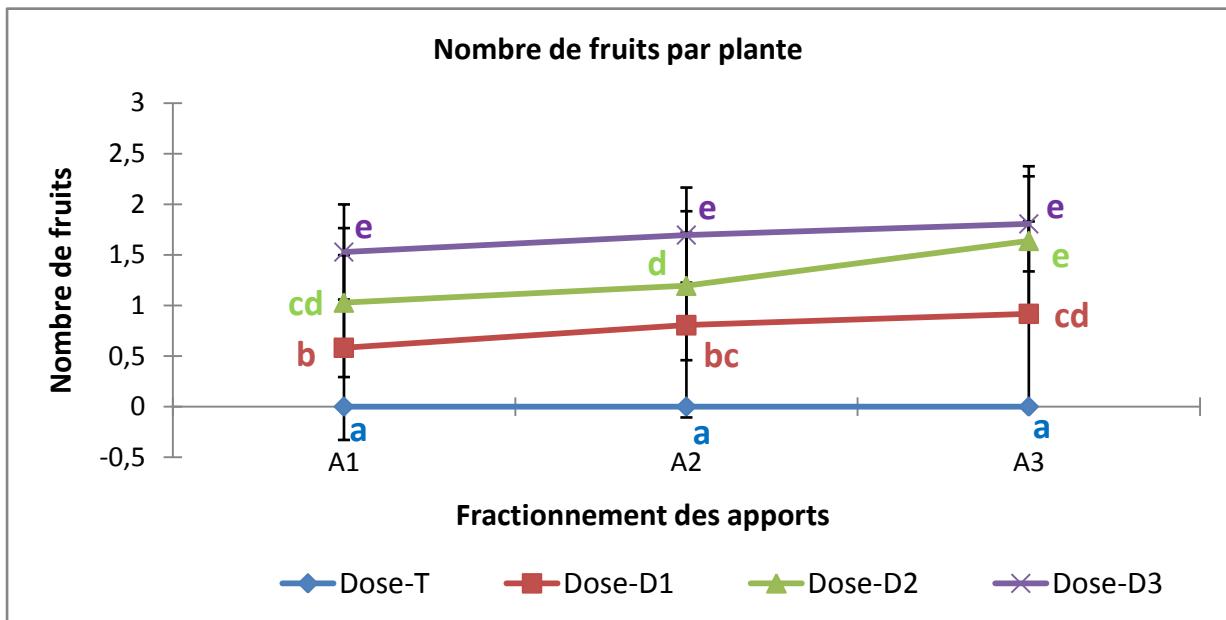


Figure 20: Nombre de fruits par bouquet

Source : Auteur, 2014

Le nombre de fruits par bouquet le plus élevé a été de 1,8 fruit par le traitement D₃A₃ et aucun fruit n'a été observé sur le témoin. Les effets de la dose ($\text{Pr} > F = 0,0001$) et du fractionnement des apports ($\text{Pr} > F = 0,00017$) ont été significatif sur le nombre de fruits par bouquet.

III-3-4. Poids moyen d'un fruit

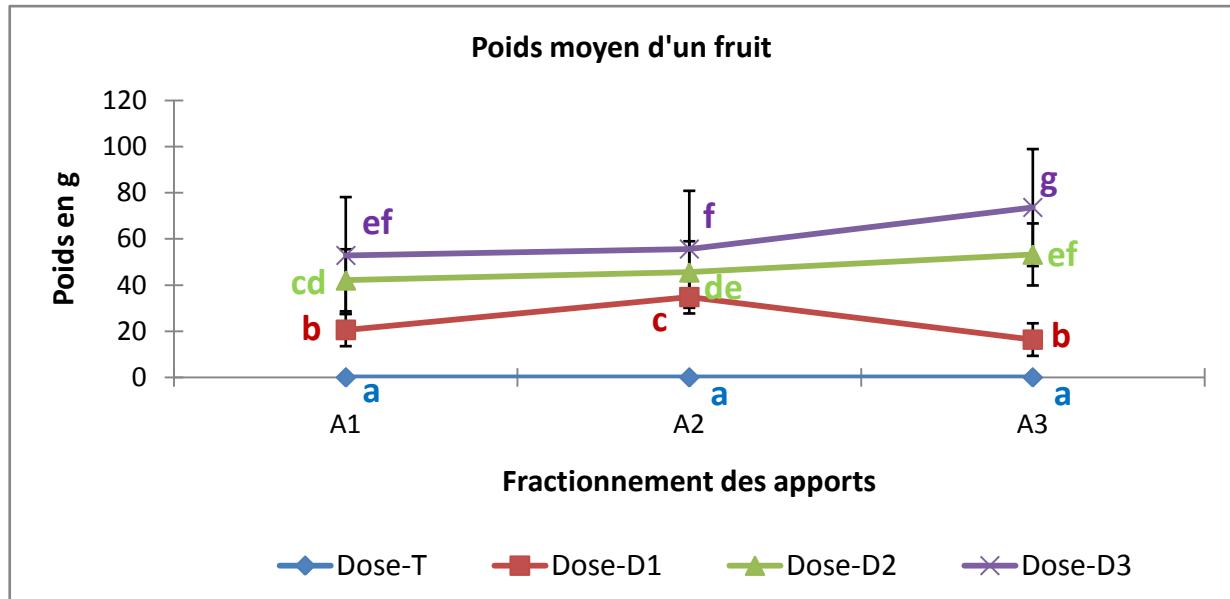


Figure 21: Poids moyen d'un fruit

Source : Auteur, 2014

Le poids moyen d'un fruit a été le plus élevé pour le traitement D₃A₃ avec 73,611 g contre 16,43 g pour le traitement D₁A₃. L'effet de l'interaction des facteurs étudiés a été significatif ($Pr > F = 0,0001$) sur le poids moyen des fruits.

III-3-5. Rendement brut

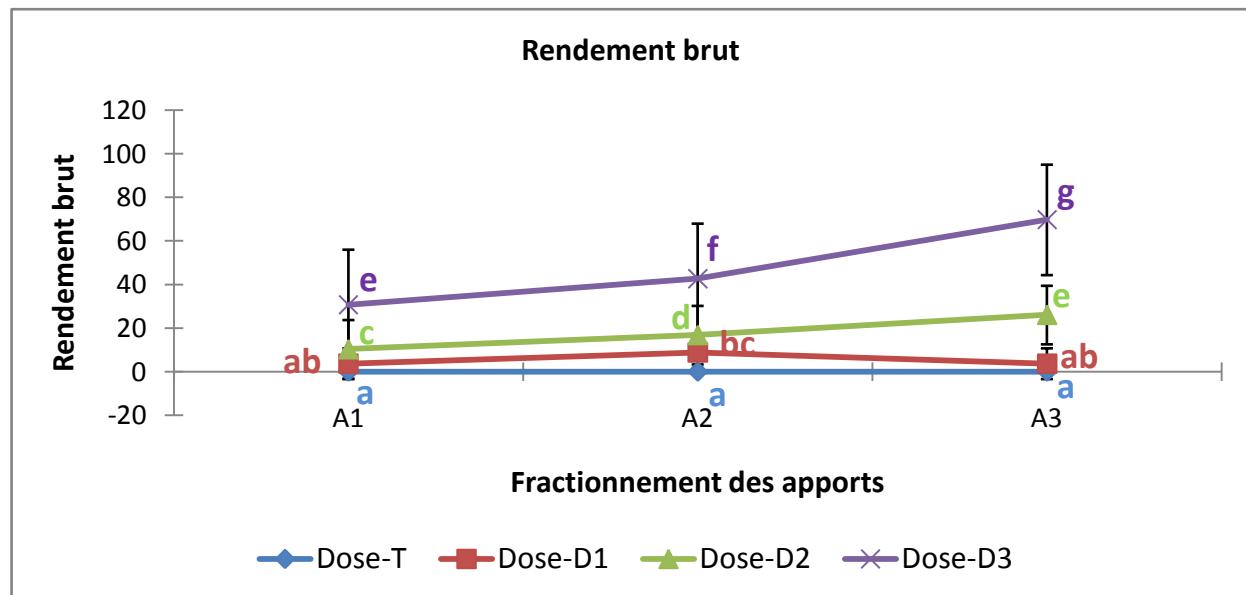


Figure 22: Rendement brut en t.ha⁻¹

Source : Auteur, 2014

Le rendement brut a varié de 69,77 t.ha⁻¹ pour le traitement D₃A₃ à 3,78 t.ha⁻¹ pour le traitement D₁A₁. L'interaction des facteurs étudiés a affecté de manière significative ($Pr > F = < 0,0001$) le rendement brut.

III-3-6. Rendement net

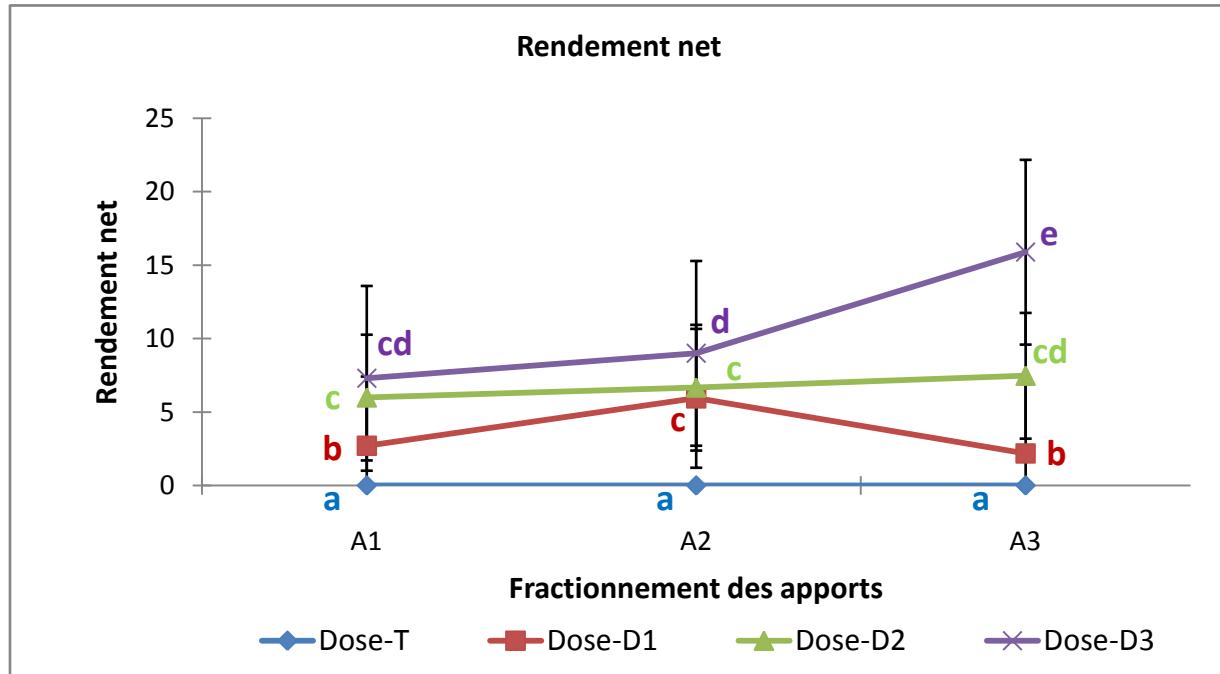


Figure 23: Rendement net en t.ha^{-1}

Source : Auteur, 2014

Le rendement net obtenu a été compris entre 15, 89 t.ha^{-1} pour le traitement D_3A_3 contre 2,18 t.ha^{-1} pour le traitement D_1A_3 . L'interaction des facteurs étudiés ($\text{Pr} > \text{F} = < 0,0001$) a eu un effet significatif sur le rendement net.

III-4. Calcul économique

III-4-1. Valeur ajoutée brute par are en Ar

a. *VAB si le lombricompost est produit et le prix au kilo de la tomate est de 1.000 Ar*

Tableau 4: VAB/are en Ar si le lombricompost est produit au sein de l'exploitation

	Rendement Brut (Kg)	Produit brut (1)	Rendement net (Kg)	Produit brut (2)	C.I.	VAB (1)	VAB (2)
T.abs	0	0	0	0	191.200	-191.200	-191.200
D₁A₁	37,8	37.800	26,96	26.960	228.100	-190.300	-201.140
D₁A₂	89	89.000	59,42	59.420	229.600	-140.600	-170.180
D₁A₃	38	38.000	21,85	21.850	230.100	-192.100	-208.250
D₂A₁	104	104.000	59,95	59.950	265.000	-161.000	-205.050
D₂A₂	169	169.000	66,67	66.670	266.000	-97.000	-199.330
D₂A₃	261	261.000	73,05	73.050	267.000	-6.000	-193.950
D₃A₁	308	308.000	74,78	74.780	318.000	-10.000	-243.220
D₃A₂	428	428.000	90,07	90.070	319.000	109.000	-228.930
D₃A₃	698	698.000	158,97	158.970	320.000	378.000	-161.030

Source : Auteur, 2014

La VAB est variable en fonction de la dose et des périodes d'apport. Seuls les traitements D₃A₃ et D₃A₂ ont permis d'obtenir des VAB positives en se basant sur la production brute avec 378.500 Ar pour D₃A₃ et 109.500 Ar pour D₃A₂.

b. *VAB si le lombricompost est acheté et le prix au kilo de la tomate est de 1.000 Ar*

Tableau 5: VAB/are en Ar si le lombricompost est acheté

	Rendement Brut (Kg)	Produit brut (1)	Rendement net (Kg)	Produit brut (2)	C.I.	VAB (1)	VAB (2)
T.abs	0	0	0	0	191.200	-191.200	-191.200
D₁A₁	37,8	37.800	26,96	26.960	237.100	-199.300	-210.140
D₁A₂	89	89.000	59,42	59.420	238.600	-149.600	-179.180
D₁A₃	38	38.000	21,85	21.850	239.100	-201.100	-217.250
D₂A₁	104	104.000	59,95	59.950	283.000	-179.000	-223.050
D₂A₂	169	169.000	66,67	66.670	284.000	-115.000	-217.330
D₂A₃	261	261.000	73,05	73.050	285.000	-24.000	-211.950
D₃A₁	308	308.000	74,78	74.780	348.500	-41.000	-274.220
D₃A₂	428	428.000	90,07	90.070	349.500	78.000	-259.930
D₃A₃	698	698.000	158,97	158.970	350.500	347.000	-192.030

Source : Auteur, 2014

Les facteurs étudiés ont affectés différemment les VAB. Ainsi, D₃A₃ et D₃A₂ ont été les seuls traitements permettant d'obtenir des VAB positives, calculées en fonction de la production brute, avec 347.500 Ar pour D₃A₃ et 78.500 pour D₃A₂.

c. *VAB par are en Ar si le prix au kilo de la tomate est élevée à 2.000 Ar*

Tableau 6: VAB/are en Ar si la tomate est vendue à 2.000 Ar le kilo

	VAB en fonction de la production brute		VAB en fonction de la production nette	
	Lombricompost produit	Lombricompost acheté	Lombricompost produit	Lombricompost acheté
T.abs	-191.200	-191.200	-191.200	-191.200
D₁A₁	-152.500	-161.500	-174.180	-183.180
D₁A₂	-51.600	-60.600	-110.760	-119.760
D₁A₃	-154.100	-163.100	-186.400	-195.400
D₂A₁	-57.000	-75.000	-145.100	-163.100
D₂A₂	72.000	54.000	-132.660	-150.660
D₂A₃	255.000	237.000	-120.900	-138.900
D₃A₁	298.000	267.000	-168.440	-199.440
D₃A₂	537.000	506.000	-138.860	-169.860
D₃A₃	1.076.000	1.045.000	-2.060	-33.060

Source : Auteur, 2014

Pour le cas où la tomate est vendue à 2.000 Ar le kilo, les VAB calculées en fonction de la production brute, sont positives pour les traitements : D₂A₂, D₂A₃, D₃A₁, D₃A₂, D₃A₃ avec une valeur maximale de 1.076.000 Ar pour le traitement D₃A₃.

Pour la VAB calculée en fonction de la production nette, pour tous les traitements, les VAB sont toutes négatives.

III-4-2. Valorisation de la journée de travail en VAB /HJ

a. *VAB/HJ si la tomate est vendue à 1.000 Ar le kilo*

Tableau 7: VAB/HJ si la tomate est vendue à 1.000 Ar le kilo

	VAB/HJ en fonction de la production brute		VAB/HJ en fonction de la production nette	
	Lombricompost produit	Lombricompost acheté	Lombricompost produit	Lombricompost acheté
	T.abs	-5.072	-5.072	-5.072
D ₁ A ₁	-4.988	-5.224	-5.272	-5.508
D ₁ A ₂	-3.614	-3.846	-4.375	-4.606
D ₁ A ₃	-4.907	-5.137	-5.319	-5.549
D ₂ A ₁	-4.171	-4.637	-5.312	-5.778
D ₂ A ₂	-2.481	-2.941	-5.098	-5.558
D ₂ A ₃	-152	-606	-4.898	-5.352
D ₃ A ₁	-256	-1.049	-6.220	-7.013
D ₃ A ₂	2.753	1.970	-5.781	-6.564
D ₃ A ₃	9.426	8.653	-4.016	-4.789

Source : Auteur, 2014

Seuls les traitements D₃A₂ et D₃A₃ ont permis d'obtenir des VAB/HJ positives, dans le cas où cet indicateur est calculé en fonction de la production brute. La VAB/HJ maximale est de 9.426 Ar pour le traitement D₃A₃. Pour les VAB/HJ calculées en fonction de la production nette, pour tous les traitements, les valeurs de VAB/HJ sont négatives.

b. **VAB/HJ si la tomate est vendue à 2.000 Ar le kilo**

Tableau 8: VAB/HJ si la tomate est vendu à 2.000 Ar le kilo

VAB/HJ en fonction de la production brute		VAB/HJ en fonction de la production nette	
Lombricompost	Lombricompost	Lombricompost	Lombricompost
produit	acheté	produit	acheté
T.abs	-5.072	-5.072	-5.072
D₁A₁	-3.997	-4.233	-4.566
D₁A₂	-1.326	-1.558	-2.847
D₁A₃	-3.936	-4.166	-4.761
D₂A₁	-1.477	-1.943	-3.759
D₂A₂	1.841	1.381	-3.393
D₂A₃	6.439	5.985	-3.053
D₃A₁	7.621	6.829	-4.308
D₃A₂	13.561	12.778	-3.507
D₃A₃	26.833	26.060	-51
			-824

Source : Auteur, 2014

Pour le cas, où la VAB/HJ est calculée en fonction de la production brute, les traitements D₂A₂, D₂A₃, D₃A₁, D₃A₂, D₃A₃, ont permis d'obtenir des VAB/HJ positives avec une valeur maximale de 26.833 Ar pour le traitement D₃A₃.

Pour les VAB/HJ calculée en fonction de la production nette, toutes les VAB/HJ sont négatives.

IV. DISCUSSIONS

IV-1. Propriétés chimiques du lombricompost

L'analyse au laboratoire du lombricompost a montré que cet amendement organique dont le substrat initial est en majeure partie à base de matières d'origine végétale comprend 0,7 % de N, 0,215 % de P et 0,532 % de K en % de MS, avec un pH de 6,87 et un rapport C/N de 10,2.

Selon GOBAT et al., en 2010, les caractéristiques d'un compost mûr de déchets organiques sont : un rapport C/N compris entre 10 et 20, 0,5 à 1,8 % de N total, 0,4 à 1 % de P_2O_5 soit 0,175 à 0,437 % de P et 0,6 à 1,8 % de K_2O soit 0,5 à 1,5 % K ; en % de MS. Ce lombricompost présente ces caractéristiques précitées, il peut donc être classé comme étant « mûr ».

Pour ce lombricompost, la teneur en azote est la plus élevée, suivi de celle du potassium et enfin en phosphore. Pourtant, la tomate est un légume fruit dont les besoins en potassium sont plus élevés que ceux en azote. En effet, un rendement escompté de 50 t.ha⁻¹ nécessite 130 Kg de N, 24 Kg de P et 250 Kg de K (CIRAD, 1993). Cependant, il convient de se référer à l'offre du sol puisque si l'on prend le cas de cette étude, le phosphore a été le seul élément en carence dans le sol.

En général, les teneurs en éléments N, P et K trouvés par différents auteurs suivent la même tendance avec une teneur plus élevée en azote par rapport au potassium et au phosphore.

Parmi les auteurs ayant étudiés la composition chimique du lombricompost, ARANCON et al., en 2003, rapportent des teneurs totales en % de MS de : 1,9 % de N, 0,47 % de P et 1,4 % de K pour un substrat à base de bouse de vache et 1,3 % de N, 0,27 % de P et 0,92 % de K pour un substrat à base de déchets ménagers ; AZARMI et al., en 2013, a énoncé une composition de 1,3 % de N ; 1,3 % de P et 1 % de K pour un substrat à base d'excréments de mouton. En utilisant différents substrats à base de matières végétales, ANDRIAMADY en 2001, a rapporté les teneurs suivantes, pour un substrat à base de bananier : 0,29 % de N, 0,08 % de P et 0,266 % de K ; pour un substrat à base de mélange *d'Afromomum augustifolium (longoza)*, de *Musa (bananier)*, de *Rubus mollucanus (Takoaka)*, *d'Imperata cylindrica (Tenina)* et de *Colocacia violacea (saonjo dia)* : 0,4 % de N, 0,014 % de P et 0,15 % de K et pour un substrat à base *d'Afromomum augustifolium (longoza)*, *d'Imperata cylindrica (Tenina)* et de *Colocacia violacea (saonjo dia)* : 0,475 % de N, 0,0116 % de P et 0,143 % de K . Pour un substrat à base de fumier, de fanes de haricot et de kikuyu, RANDRIAMALALA en 2013, a trouvé : 0,523 % de N.

Tout cela, confirme le fait que la valeur nutritionnelle du lombricompost est dépendante de son origine (GOLCHIN et al, 2006). Les substrats d'origine animale permettent d'obtenir un lombricompost à haute teneur en éléments majeurs.

Le pH du lombricompost de cette étude est légèrement inférieur par rapport aux résultats trouvés par ANDRIAMADY en 2001, avec des valeurs de pH allant de 7,8 à 8 et RANDRIAMALALA en 2013, avec des valeurs entre 7,56 et 8,14. En effet, selon RANDRIAMA-

LALA en 2013, le pH du lombricompost varie en fonction de l'aliment et du système de traitement (c'est-à-dire du mode d'apport des aliments).

Le rapport C/N de ce lombricompost égal à 10,2 est faible, par conséquent l'azote est rapidement disponible pour les plantes. En effet, les engrains organiques ayant de faibles rapports C/N (<15), sont plus riches en azote minéral et peuvent fournir de l'azote minéral rapidement disponible pour les plantes, mais peuvent aussi entraîner la libération de fortes quantités de nitrates dans les sols (N'DAYEGAMIYE et al., 2004).

IV-2. Paramètres de croissance

L'application de doses croissantes et le mode de fractionnement du lombricompost ont eu des effets significatifs sur les paramètres de croissance de la tomate dont : la hauteur de la plante, le nombre de branches, le nombre de feuilles, la longueur des racines, le poids de la biomasse aérienne et le poids de la biomasse souterraine.

Pour les organes aériens dont : la tige, les branches et les feuilles, on observe que de la transplantation à la floraison, plus la dose la élevée, plus la plante croît. Ce sont alors, les apports en une seule fraction qui ont permis un bon développement végétatif durant cette phase. On peut donc affirmer qu'une certaine quantité d'éléments minéraux dans le lombricompost a déjà été directement assimilable par les plantes.

De la floraison à la fructification, les apports en deux fractions ont donné des résultats supérieurs par rapport aux autres fractionnements, de manière proportionnelle par rapport à la dose. Pendant la fructification jusqu'à la fin du cycle, les résultats ont montré que la croissance a été réduite pour les doses élevées par rapport aux doses faibles sauf, pour le nombre de branches qui a augmenté, proportionnellement à la quantité d'engrais apportée.

Ainsi, les doses élevées ont permis aux plantes de finir plus rapidement leur phase de développement végétatif afin de commencer la phase de production, par rapport aux doses faibles où les plantes sont encore en pleine phase végétative. Plus la dose a été élevée, plus la floraison a été avancée. En effet, selon VALIMUNZIGHA en 2006, la phase végétative peut être prolongée par les déficits en éléments minéraux dans le substrat de culture, pour la tomate. De plus, un minimum de développement végétal correspondant à la maturité de floraison est nécessaire, dont 13 entre-nœuds pour la tomate (CHARONNAT et al., 2005). Toutefois, il est à noter que les déficits minéraux n'agissent pas directement sur la floraison mais leurs effets sur cette dernière sont consécutifs au retard de la croissance et de développement ressentis au niveau de la plante entière (VALIMUNZIGHA, 2006).

En se référant, au poids de la biomasse aérienne, on peut en déduire que la dose la plus élevée, apportée en trois fractions a été la plus favorable sur la croissance de la plante.

Quant à la racine, en plus de la proportionnalité par rapport aux doses, les apports en plusieurs fractions ont permis un meilleur développement.

L'étude de l'effet des doses croissantes de lombricompost sur la culture de tomate par différents auteurs rejoignent l'affirmation selon laquelle : plus la dose s'élève, plus les paramètres de croissance sont développés.

Dans cette étude, la croissance totale en hauteur a varié de 49,2 cm pour le traitement D₃A₂ à 13,7 cm pour le témoin. Selon une étude de différentes doses de lombricompost sur la tomate NAJAR et al, en 2013 ont rapporté une croissance en hauteur allant de $4,72 \pm 0,09$ à $76 \pm 2,01$ cm pour 6 t.ha^{-1} , $3,25 \pm 0,06$ à $69,25 \pm 1,49$ cm pour 4 t.ha^{-1} , $2,67 \pm 0,09$ à $65,25 \pm 1,88$ cm pour 2 t.ha^{-1} et $2,57 \pm 0,09$ à $61 \pm 1,55$ cm pour le témoin absolu. Pour la variété « century 12 » la hauteur moyenne (cm) pour des mélanges en pot, de sol avec : 15 % (VC15), 30 % (VC30) et de 45 % (VC45) de lombricompost a été respectivement de 63 cm, 63,4 cm et 63,5 cm, contre 38 cm pour le témoin (JOSHI, 2010).

BEGUM en 2011, a trouvé pour la variété « Arka Saurabh » des longueurs moyennes de 49,5 cm pour 10 t.ha^{-1} et 51 cm pour 20 t.ha^{-1} de lombricompost dont le substrat a été de la boue des eaux d'égouts.

Le nombre total de feuilles a été de 135 pour le traitement D₃A₂ à 29 pour témoin lors de cette étude. JOSHI et al, en 2010 ont trouvé pour les traitements (VC15), (VC30) et (VC45) respectivement 105 feuilles, 111 feuilles et 104 feuilles contre 59 feuilles pour le témoin.

Concernant la longueur de la racine, elle a variée de 26,6 cm pour le traitement D₃A₃ à 11,2 cm pour le témoin absolu. NAJAR et al., en 2013 ont trouvé des longueurs des racines variant de $2,52 \pm 0,17$ à $36,50 \pm 1,37$ cm pour 6 t.ha^{-1} , $2,2 \pm 0,04$ à $32 \pm 1,21$ cm pour 4 t.ha^{-1} , $1,07 \pm 0,04$ à $30 \pm 1,31$ cm pour 2 t.ha^{-1} et $0,9 \pm 0,04$ à $27,25 \pm 1,1$ cm pour le témoin absolu.

En comparant les résultats de cette étude à ceux de ces auteurs, on trouve que les paramètres de croissance de la tomate sont différents selon la variété, le type croissance, la zone et les conditions de l'étude. Mais, par rapport à l'augmentation de la dose, les tendances sont les mêmes.

De nombreuses explications ont été avancées sur l'effet des doses croissantes de lombricompost sur la croissance de la tomate. Selon ARANCON et al., en 2004, les différentes réponses des plantes aux différentes doses de lombricompost sont dues aux faibles teneurs en substances de croissance dans les faibles doses par rapport aux doses élevées. BACHMAN et al., en 2008, ont affirmé que le lombricompost avait une activité semblable à l'hormone, par conséquent, il aide à une meilleure initiation des racines, à une meilleure production de biomasse et favorise la croissance de la plante. EDWARDS et al., rapportent aussi en 2004, que le lombricompost a des effets positifs sur la croissance végétative en stimulant la croissance en hauteur et l'élongation de la racine. Selon NAGAVALLEMMA et al., en 2004, le lombricompost est une source organique d'éléments nutritifs pour les plantes, contenant un taux élevé en éléments nutritifs nécessaires à la croissance dans des formes directement assimilables.

IV-3. Paramètres de rendement

Les résultats de cette étude sur les paramètres de rendement de la tomate dont : le nombre de bouquet par plante, le nombre de fleur par bouquet, le nombre de fruit par bouquet et le poids moyen des fruits montrent que ces paramètres ont été affectés de manière significative par la dose et le mode d'apport.

Plus les doses ont été élevées, plus ces composantes de rendement ont été favorisées. En ce qui concerne l'effet du fractionnement, l'apport en trois fractions a permis d'obtenir le meilleur rendement. Le fractionnement des apports en trois fractions a été la favorable pour le rendement parce qu'il a permis de satisfaire les besoins de la plante tout au long de leur stade de développement.

En effet, la fumure d'entretien, pour le cas de la tomate est recommandée car pour les légumes fruits, la présence simultanée de fleurs et de fruits en phase de grossissement et de maturation exige une fertilisation fractionnée (ZUANG, 1986). De plus, mettre en relation les périodes d'application et la quantité apportée avec la croissance de la plante est important pour l'efficacité de l'engrais. (MA CHIN HUA et al., 2010)

Les résultats de l'évolution du rendement de la culture de tomate en fonction de la dose d'engrais trouvés par de nombreux auteurs coïncident avec ce résultat selon lequel les doses croissantes permettent d'obtenir des rendements croissants.

Les composantes de rendement trouvées lors de cette étude ont variés de : 8 bouquets pour D₃A₃ à 1 bouquet par plante pour le témoin ; 1,8 fruits par bouquet pour D₃A₃ à 0,5 fruits pour D₁A₁ et 74 g pour D₃A₃ à 16 g pour D₁A₃ pour le poids moyen d'un fruit.

Selon NAJAR et al., en 2013, pour des doses croissantes, le nombre de bouquets par plante a été de $7,50 \pm 0,42$ pour 6 t.ha⁻¹, $6,83 \pm 0,30$ pour 4 t.ha⁻¹, $6,33 \pm 0,21$ pour 2 t.ha⁻¹ et $6 \pm 0,25$ pour le témoin ; le nombre de fruits par bouquet trouvé a été de $5,33 \pm 0,21$ pour 6 t.ha⁻¹, $4,66 \pm 0,21$ pour 4 t.ha⁻¹, $4,11 \pm 0,30$ pour 2 t.ha⁻¹ et $4 \pm 0,36$ pour le témoin et le poids moyen d'un fruit a été de $74,08 \pm 5,54$ g pour 6 t.ha⁻¹, $64,28 \pm 4,16$ pour 4 t.ha⁻¹, $53,76 \pm 2,90$ pour 2 t.ha⁻¹ et $52,3 \pm 1,96$ pour le témoin. BEGUM en 2011, a rapporté les poids moyen de fruits suivants : 40,5 g pour 10 t.ha⁻¹ et 42 g pour 20 t.ha⁻¹.

Concernant le rendement par plante, dans cette étude, les rendements obtenus par plante ont été compris entre : 1,16 Kg pour D₃A₃ à 0,063 Kg pour D₁A₁ pour le rendement brut et 0,26 Kg pour D₃A₃ à 0,036 Kg pour D₁A₃ pour le rendement net.

NAJAR et al., en 2013, ont trouvé $2,98 \pm 0,27$ Kg pour 6 t.ha⁻¹, $2,05 \pm 0,15$ Kg pour 4 t.ha⁻¹, $1,40 \pm 0,13$ Kg pour 2 t.ha⁻¹ et $1,21 \pm 0,10$ Kg pour le témoin.

Pour des doses de 0 t.ha⁻¹, 5 t.ha⁻¹, 10 t.ha⁻¹ et 15 t.ha⁻¹ les rendements obtenus par plante ont été respectivement de : 1,92 Kg, 2,52 Kg, 2,82 Kg et 3,26 Kg selon AZARMI et al., en 2008.

Les résultats de ces auteurs coïncident aux résultats de cette étude et, illustrent le fait que plus la dose s'élève, plus le rendement augmente. Cependant, les rendements sont en fonction de nombreux autres paramètres dont : la variété et les conditions de l'expérimentation.

En effet, ARANCON et al., en 2006, a rapporté une meilleure croissance des plantes, une stimulation de la floraison, et une augmentation du rendement en fruits pour des doses élevées de lombricompost. De plus, le lombricompost contient la plupart des éléments nutritifs nécessaires à la plante dans des formes disponibles telles que le phosphate, le calcium échangeable, le potassium soluble, et d'autres éléments majeurs, avec une grande quantité en micro-organismes bénéfiques, des vitamines et hormones qui influencent sur la croissance et le rendement de plantes (THEUNISSEN et al., 2010).

Le rendement maximum observé lors de cette étude, suivant les techniques de production biologique a été de : 158 Kg par are pour la dose de 15,5 t.ha⁻¹ en trois apports.

Par rapport aux rendements en culture conventionnelle observé dans diverses régions de Madagascar dont : 191,66Kg par are à Toamasina (MENANDROBY, 2011), 177,33 Kg par are à Ambatovy (RAKOTOSON, 2011), 200 à 250 Kg par are à Nanisana (ROVANIAINA, 2010), 117,5 Kg par are à Mahitsy (RANDRIAMIHARISOA, 2004), 60 à 280 Kg par are dans la région Itasy (LAKERMANCCE, 1995) ; on constate que ce rendement en mode de production biologique est plus ou moins faible. En fait, durant la fructification et la maturation des fruits, les luttes biologiques par les produits naturels n'ont pas été efficaces et cela a entraîné un taux élevé de pertes de la récolte. De plus, la réduction de la fréquence d'arrosage pour le contrôle du flétrissement bactérien a probablement eu un effet non négligeable sur le rendement.

A Madagascar, la saison de culture joue un rôle déterminant sur le rendement, la culture de saison (Septembre à Décembre) qui est caractérisée par une production faible et un prix élevé, la saison intermédiaire (Janvier à Mai) où la qualité augmente par rapport à la précédente et la contre saison (Avril à Aout) pendant laquelle le produit se trouve en quantité et en qualité sur le marché local (ANDRIAMAROLAHY, 1996). Cette étude a été menée durant la saison intermédiaire, mais le potentiel de la variété par rapport à la taille des fruits et la grande variabilité du climat dans la commune d'Ambanitsena ont été favorables pour la culture.

IV-4. Calcul économique

Ces résultats sur le calcul économique indiquent que pour cette étude, la Valeur Ajoutée Brute est très variable en fonction du rendement, donc par conséquent, en fonction de la quantité d'engrais apportée. Pour la VAB calculée en fonction de la production brute, seuls le les traitements D₃A₃ et D₃A₂ ont été rentables pour un prix de vente de 1000Ar au kilo tandis que pour la VAB calculée en fonction de la production nette, aucun traitement n'a été rentable. Par contre, si l'on suppose que la tomate biologique se vend à 2.000 Ar le kilo, les traitements D₂A₂, D₂A₃ et D₃A₁ deviennent aussi rentables pour le cas où la VAB est calculée en fonction de la production brute. Les pertes sont moins élevées pour le cas où la VAB est calculée en fonction de la production nette avec -51 Ar si le lombricompost est produit, et -824 Ar si le lombricompost est acheté, pour le traitement D₃A₃.

Pour les deux scénarios ont été avancées, une différence de 31.000 Ar a été observée entre le cas où le lombricompost a été produit par l'exploitation et le cas où le lombricompost est acheté pour le traitement D₃A₃ qui a permis d'obtenir le meilleur rendement. Il est évident qu'il est plus intéressant de produire soi-même son engrais organique.

Par rapport aux VAB étudiés par différents auteurs à Madagascar dont : 148.193,548 Ar par are pour une culture en été à Toamasina selon MENANDROMBY en 2011 ; 54.462 Ar par are pour la saison de pluie et 131.556 Ar par are pour la saison « kely orana » dans la région Itasy à Ampefy selon LAKERMANCCE en 1995 ; on constate qu'en dépit de la variation de rentabilité de la culture de tomate selon la saison, le VAB est faible en bio par rapport à la production conventionnelle sur le marché local. La valorisation de la journée de travail exprimée en VAB/HJ suit la même tendance que la VAB pour les différents cas. Mais, par rapport à la VAB, on remarque que les pertes sont moins élevées quand on réfère au temps de travail.

Pour cette étude, cette faible valeur ajoutée brute peut aussi être expliquée par le coût élevé des investissements en défrichement et en aménagement du terrain qui ont été évalué à 65% des coûts de production totaux. De plus, ne pas avoir utilisé des produits chimiques a entraîné une forte perte sur la récolte.

Afin d'obtenir une rentabilité plus élevée, il faut augmenter le prix de vente des produits.

V. RECOMMANDATIONS

V-1-1. Mode d'utilisation du lombricompost

En ce qui concerne le dosage, il est toujours préférable de se baser sur des analyses aux laboratoires et faire régulièrement un suivi des caractéristiques physico-chimique des parcelles avant de préconiser les doses à apporter.

Cependant, sur un terrain nouvellement défriché, il faut apporter un surplus d'engrais par rapport aux besoins du rendement escompté.

Vu que le lombricompost contient déjà une part d'éléments directement assimilables par les plantes, il est préférable de fractionner son apport.

Pour les légumes fruits, il est plus intéressant d'apporter l'engrais en trois fractions tandis que pour les légumes feuilles, le fractionnement en deux apports pourrait être plus efficace.

Par ailleurs, afin que les plantes bénéficient d'une plus grande quantité d'éléments nutritifs à leur plantation, il est conseillé d'apporter le lombricompost avant la plantation.

Suite à cette étude, évaluer les effets du lombricompost sur les propriétés physico-chimiques du sol est recommandé afin de suivre l'évolution des effets de cet amendement organique sur celui-ci.

V-1-2. Production du lombricompost

- Substrat

Le substrat joue un rôle déterminant sur la composition chimique du lombricompost. Il est conseillé d'utiliser un mélange de plusieurs matières organiques avec une plus grande proportion pour celles d'origine animale.

RANDRIAMALALA en 2013, a démontré que le mode d'apport a aussi un effet sur la production de lombricompost, apporter les aliments en une seule fois est plus efficace.

- Pré-compostage

Le pré-compostage est une pratique qui permet d'obtenir une température suffisamment élevée pour éliminer la plupart des pathogènes et de bien mélanger les différents constituants du substrat. (FRANCIS et al., 2003). Ainsi, si possible, il est recommandé de pratiquer le pré-compostage avant le lombricompostage.

- Thé ou jus de compost

A part le lombricompost, le thé de compost est aussi un produit dérivé du lombricompostage. Il s'agit du liquide riche en matières organiques issu du compostage que l'on peut utiliser comme engrais foliaire après une dilution de 10%. A Madagascar, TATA Ambohimamanabola produit le jus de compost sous le nom de : « Ranon-jezika ZEKA ».

- Durée de stockage

Le lombricompost est un produit biologique qui contient des micro-organismes qui perd ses propriétés au cours du temps. Il est conseillé de l'utiliser dans les six mois après la récolte. (<http://desbois-lombriculture.info>)

V-1-3. Gestión des maladies ravageurs en agriculture biologique

A part les pratiques « ady gasy » basées sur l'utilisation des extraits fermentés de produits naturels (consoude, ortie, sisal ...), de nombreuses méthodes peuvent être encore pratiquées pour prévenir et lutter contre les maladies et ravageurs. On peut citer :

- l'utilisation des variétés résistantes conventionnelles qui n'ont pas été traitées par des produits chimiques et qui ne sont pas OGM et cela par le biais d'une dérogation si l'on est certifié. Par exemple : la variété spunta de pomme de terre qui est résistante au mildiou, la variété Roma VF de tomate résistante au mildiou, au fusarium et au verticillium.
- l'utilisation d'un matériel végétal de départ sain et adapté aux conditions locales
- la rotation culturelle, en évitant la succession de cultures appartenant à une même famille sur une parcelle, afin de briser le cycle des ravageurs ou une association de plantes pour gérer la dynamique des populations de ravageurs.
- l'adoption de techniques culturales adaptées et soignées : densité de semis, éviter de blesser le végétal lors de l'entretien des cultures
- une bonne gestion de la fertilisation, les plantes vigoureuses sont plus résistantes.
- l'aménagement d'un environnement favorable aux auxiliaires et répulsif ou attractif pour les ravageurs : haies vives, bandes fleuries, bandes enherbées ...
- l'utilisation des pièges gobe-mouches contre les mouches de fruits.
- l'utilisation des produits phytopharmaceutiques autorisés en agriculture biologiques qui sont déjà disponibles chez quelques fournisseurs à Madagascar (Arbiochem Analakely, Agri-com Ambodihady).

VI. CONCLUSION

Face aux problèmes auxquels se heurtent l'agriculture conventionnelle, cette étude a été menée dans le but de démontrer l'efficacité de la fertilisation biologique par le lombricompost et de proposer une technique d'utilisation rationnelle de cet amendement organique. Ainsi, un essai à doses croissantes de lombricompost (0 t.ha^{-1} , $4,5 \text{ t.ha}^{-1}$, 9 t.ha^{-1} et $15,5 \text{ t.ha}^{-1}$) réparties à différentes périodes d'apport (en un seul apport à la transplantation, avec un deuxième apport à la floraison et avec un troisième apport pendant la fructification) a été réalisé au sein du centre FOFIFAKRI du SAF/FJKM Isoavina Ambanitsena.

Les résultats des analyses chimiques faites sur le lombricompost montrent que la teneur en azote est la plus élevée, suivie de celle en potassium et enfin en phosphore.

Les paramètres de croissance : la hauteur, le nombre de feuilles, le nombre de branches, la longueur de la racine, le poids de la biomasse aérienne et le poids de la biomasse souterraine ont été influencées de manière significative par la dose et le fractionnement des apports de lombricompost. Par rapport au poids de la biomasse aérienne, c'est le traitement D_3A_3 qui a permis d'obtenir le meilleur résultat.

Les composantes de rendement : le nombre de bouquet par plante, le nombre de fruit par bouquet et le poids moyen des fruits varient considérablement selon les doses et le fractionnement des apports. L'augmentation de la dose et le fractionnement des apports ont permis d'obtenir un rendement plus élevé. Par conséquent, la première hypothèse stipulant que : « le rendement croît en fonction de la dose » et la deuxième hypothèse selon laquelle : « les périodes d'apport ont des impacts sur le rendement » sont toutes deux vérifiées.

Le rendement brut maximum, étant de $69,77 \text{ t.ha}^{-1}$ a été obtenu par le traitement D_3A_3 et le minimum de $3,7 \text{ t.ha}^{-1}$ par le traitement D_1A_1 .

Mais, la qualité de la production a été affectée par l'inefficacité de la lutte biologique par les produits naturels durant les phases de fructification et de maturation et par conséquent les rendements nets ont été compris entre $15,89 \text{ t.ha}^{-1}$ pour D_3A_3 à $2,18 \text{ t.ha}^{-1}$ pour D_1A_3 .

L'analyse économique a démontrée que, si la tomate est vendue à 1.000 Ar le kilo, seuls les traitements D_3A_3 et D_3A_2 permettent d'obtenir des Valeurs Ajoutées Brutes positives, dans le cas où la VAB est calculée en fonction de la production brute. La VAB maximale calculée à partir de la production brute a été de 347.500 Ar par are si le lombricompost est acheté contre 378.500 Ar par are si le lombricompost est produit dans l'exploitation pour le traitement D_3A_3 . Par contre, si la tomate est vendue à 2.000 Ar le kilo, les traitements : D_2A_2 , D_2A_3 , D_3A_1 deviennent aussi rentables.

Ainsi, la troisième hypothèse affirmant que : « la fertilisation par le lombricompost est économiquement rentable sur la culture de tomate » est partiellement vérifiée, étant donné que les

faibles doses ne permettent pas d'obtenir suffisamment de production et que la qualité de la récolte est fortement influencée par l'attaque des ravageurs.

Bref, cette étude basée sur la fertilisation biologique de la culture de tomate par le lombricompost a pu contribuer à fournir quelques références sur l'utilisation du lombricompost dont principalement son dosage et son mode d'apport.

Cependant, une fertilisation raisonnée ne suffit pas pour améliorer la production agricole, tant sur la quantité que sur la qualité. Ainsi donc, approfondir les recherches sur la gestion des maladies et ravageurs en mode de production biologique s'avère nécessaire.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDOSSIDES Anthoula., 2002. Stratégie et politique agricole de la République Libanaise-Ministère de l'Agriculture-Direction des Etudes et de la Coordination-Filière de l'Agriculture Biologique. FAO/Projet "Assistance au Recensement Agricole".62p
- ANDRIAMADY V., 2001. Experimentation agronomique basée sur la fabrication de lombricompost en vue de l'amélioration de la fertilité des sols, cas du CDIA/Beforona. Mémoire de fin d'études d'ingénierat, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, département agriculture.85p
- ANDRIAMAROLAHY, 1996. Contribution à l'étude de l'importance de la culture de la tomate dans la région d'Analavory par la dynamisation du système de production. Mémoire de fin d'études d'ingénierat. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, département Agromanagement .118p
- ANDRIANJAFY-ANDRIAMANINDRISOA E., 2004. Économie populaire, territoires et développement à Madagascar, Dimensions historiques, économiques et socioculturelles du fokonolona, Etudes de cas : la commune rurale de Masindray et la commune urbaine d'Antsibé.Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences sociales (développement, population, environnement) à l'Université Catholique de Louvain. 318p
- ARANCON, N. Q., EDWARDS, C. A., BIERNAN, P., WELCH, C., METZER, J. D. (2004). Influence of Vermicomposts on field strawberries: effect on growth and yields. Bioresource Technology, 93, 145-153
- AZARMI R., ZIVEH P., SATARI M., 2008. Effect of vermicompost on growth, yield and nutrition status of tomato (*lycopersicum esculentum*). Pakistan Journal of Biological Sciences11: 1797-1802
- BACHMAN, G. R., METZGER, J. D. (2008). Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost. Bioresource Technology, 99, 3155-3161.
- BEGUM ABIDA, 2011. Evaluation of Municipal sewage sludge vermicompost on two Cultivars of Tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants. International Journal of Chem Tech Research. Vol 3, N° 3.p 1184- 1188
- BLANCARD D., 2009. Les maladies de la tomate. Editions QUAE. 668p
- BOARD N., 2004.The Complete Technology Book on Vermiculture and Vermicompost. National Institute Of Industrial Re - Compost.354 p
- BOUCHE M., 1982. Le ver de terre pour le traitement des déchets. Biofutur n°7, p 43-46

- CARON M., 2011. Le ver de terre, allié du jardin. Futura-Sciences. 10p
- CHARONNAT C., DELAY S., 2005. Croissance et développement des plantes cultivées : dossier d'autoinformation. Educagri Editions. 97pages
- CIRAD, 1993. Mémento de l'Agronome. Ministère de la Coopération, République Française, 4ème Edition. 1635 p
- CNUCED, 2003. Le contexte général de l'agriculture biologique et le potentiel de marché pour les exportations. Rapport préliminaire préparé pour la Conférence Internationale pour la Promotion des Exportations Haïtiennes. 22p
- DABAT M., RAMANANARIVO R., RAVONIARISOA F., RAMAHAIMANDIMBISOA T., AUBRY C., 2010. Distance to the city and Performance of Food Chains in Antananarivo, Madagascar. Urban Agriculture magazine. Number 24
- DOMINGUEZ J., 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. In: C.A. Edwards (Ed.). Earthworm Ecology (2nd edition). CRC Press LLC. p 401-424
- EDWARDS C., BURROWS I., 1988. The potential of earthworm composts as plant growth media. In: C. A. Edwards, & Neuhauser (Eds.), Earthworms in Environmental and Waste Management. The Netherlands: SPB Academic Publishers p. 211-220
- EDWARDS, C.A., DOMÍNGUEZ, J. AND ARANCON, N.Q. (2004). The influence of vermicomposts on plant growth and pest incidence. In: S.H Shakir and W.Z.A. Mikhaïl, (Eds). Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st century. (pp 397-420)
- FAO, 2001. Le marché des fruits et légumes biologiques.
- FAO/OMS , 2007. CODEX ALIMENTARIUS-Aliments issus de l'agriculture biologique-Troisième édition. 54p
- FRANCIS F., HAUBRUGE E., THANG T., KINH V., LEBAILLY P., GASPAR., 2003. Technique de lombriculture au Sud Vietnam. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 5 pages
- HUBERT P., 1970. Recueil de fiches techniques d'agriculture spéciale. Tome 2
- IFOAM, 2005. Les normes IFOAM pour la production et la préparation en agriculture biologique. 139p
- IFOAM, 2009. Le nouveau Règlement européen pour l'agriculture et l'alimentation biologiques (CE) n°834/2007 : contexte, évaluation, interprétation. 66p

- JEAN-MICHEL GOBAT, MICHEL ARAGNO, WILLY MATTHEY. 2010. Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols. PPUR Presses polytechniques. Soil biology - 817 pages
- JOSHI, R., & VIG, A. P. (2010). Effect of vermicompost on growth, yield and quality of tomato (*Lycopersicum esculentum* L.). African Journal of Basic and Applied Science 2, (3-4), P117- 123
- JOURNEAU V., 2013. La conversion à l'agriculture biologique dans les pays en développement : une voie de développement durable. Essai présenté au Département de biologie en vue de l'obtention du grade de maître en écologie internationale, Faculté des sciences Université de Sherbrooke, Québec, Canada. 84p
- KUMAR A., 2005. Verms & Vermitechnology. APH Publishing - Biotechnology. 200 pages
- LABOURDETTE J-P., AUZIAS D., 2011. Petit Futé Madagascar. 600p
- LAKERMANCE B., 1996. La situation de la filière tomate à Madagascar, cas de la région du lac Itasy - Projet PNUD/FAO/MAG 9500. Mémoire de fin d'études d'ingénierat, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, département agriculture. 90p
- MA CHIN-HUA, YUEH-HUEI LIN, 2010. Soil fertility management for safer tomato production. Safer tomato production techniques. A field guide for soil fertility and pest management. SRINIVASAN R Ed. AVRDC Publication N° 10-740. 97p
- MAEP, 2006. Stratégie nationale pour le développement de l'utilisation de l'engrais. 48p
- MENANDROBY J., 2011. Contribution au développement des cultures maraîchères en été dans les communes périphériques de Toamasina Madagascar. Mémoire de fin d'études d'ingénierat. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, département Agriculture. 38 pages
- MESSIAEN C. M., 1998 .Le potager tropical - Techniques vivantes : Section Agronomie tropicale. Presses universitaires de France. 567p
- MINTEN B., RANDRIANARISOA J-C., RANDRIANARISON L., 2003. Agriculture, pauvreté rurale et politiques économiques à Madagascar. Cornell Food and Nutrition Policy Program. 107p
- N'DAYEGAMIYE, A., M. Giroux et R. Royer (2004). Épandages d'automne et de printemps de divers fumiers et boues mixtes de papetières : rendements de maïs-ensilage, coefficient d'efficacité et accumulation de nitrates dans le sol. Rapport de recherche 2001-2003. IRDA. 24p
- NAJAR I., KHAN B., 2013. Effect of Vermicompost on Growth and Productivity of Tomato (*Lycopersicon esculentum*) Under Field Conditions. Acta Biologica Malaysiana

- NOP, 2011. Guidance : Compost and Vermicompost in Organic Crop Production.NOP 5021.4p
- PCD Commune rurale Ambanitsena
- PNUE, 2002. L'avenir de l'environnement mondial 3. GEO 3 : le passé, le présent et les perspectives d'avenir. Editions De Boeck. 447 p
- PRD Région Analamanga
- RAJAONARISON A., 2004. L'agriculture biologique à Madagascar depuis 1960. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Masters of Science in « Agriculture and Rural development » à Laulanié Green Université.60p
- RAKOTONDRAVONY H., 2011. Communiqué de la DIRECTION DE LA PROTECTION DES VEGETAUX.SIC/DSEC
- RAKOTOSON M., 2011.La situation de la culture maraîchère dans les zones d'intervention du projet Ambatovy Madagascar. Mémoire de fin d'études d'ingénierat. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, département Agriculture.39 pages.
- RAMBOATIANA R., 2002.l'agriculture biologique, un facteur de développement économique et social pour le pays du tiers-monde - L'exemple de Madagascar. Equipe spéciale PNUE-CNUCED chargée du renforcement des potentiels en matière de commerce, d'environnement et de développement (ESRP)-Débat sur les moyens d'accroître la production et les échanges de produits agricoles biologiques-Secrétariat ACP, Bruxelles
- RANDRIAMALALA M., 2012.Etude des substrats d'alimentation adaptés à l'alimentation des lombrics : *pennesy wigger*. Mémoire de fin d'études d'ingénierat, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, département élevage.54p
- RANDRIAMIHARISOA D., 2004. Analyse de la filière tomate approvisionnant Antananarivo. Mémoire de fin d'études d'ingénierat, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, département agro-management.46p
- RASOARIMALALA S., ANDRIAMILIJAONA H., RABEMANANTSOA M., 2011. Apui à la mise en place d'un système de production et de distribution d'intrants (engrais et produits phytosanitaires) dans les zones d'intervention de PARECAM. Rapport d'étude. 121p
- RAZAFINDRAVONIARISOA E., 2013. Use of Lombrica to Enhance Soil Fertility for Crop Production in Madagascar. Developments in soil classification, Land Use Planning and Policy Implications. Edited by Shabbir A. Shadid, Faisal K. Taha, Mahmoud A. Abdelfattah. 913 p

- RAZAKAMANARIVO H., RAZAFINDRAKOTO M-A., ALBRECHT A., 2010. Fonction puits de carbone des taillis d'eucalyptus à Madagascar. Bois et forêts des tropiques, 2010, n° 305 (3) stock de carbone et plantations.
- RECKHAUS, 1997. « Maladies et ravageurs des cultures maraîchères à l'exemple de Madagascar ». DPV – GTZ, 402p
- RÈGLEMENT (CE) N° 834/2007 DU CONSEIL du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) N° 2092/91
- RÈGLEMENT (CE) N° 889/2008 DE LA COMMISSION du 5 septembre 2008 portant modalités d'application du règlement (CE) N° 834/2007 du Conseil relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques en ce qui concerne la production biologique, l'étiquetage et les contrôles
- ROVANIAINA J., 2010. Mise au point de la lutte chimique contre l'acarien rouge, *Tetranychus neocaledonicus andré*, dans le cadre de la lutte intégrée sur tomate. Mémoire de fin d'études d'ingénierat. Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, département Agriculture.58p
- RTM, BIMTT élargi, 2011. Manuel sur les techniques de base en Agriculture Biologique. 102p
- RTM, BIMTT élargi, 2012. Torolalana momba ny teknika fototry ny fambolena biolojika. 84p
- THEUNISSEN, NDAKIDEMI, LAUBSCHER, 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. 5(13), 1964-1973International Journal of Physical Science
- VALIMUNZIGHA C, 2006 Étude du comportement physiologique et agronomique de la tomate (*Solanum lycopersicum L.*) en réponse à un stress hydrique précoce resses univ. de Louvain, Jan 1, 196 pages
- ZUANG H., MUSARD M., 1986. « Cultures légumières sur substrats ». CITFL (Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes), 271p.

WEBOGRAPHIE

www.lesdoigtsverts.com

www.graines-et-plantes.com

www.graines-de-bambous

semences-partage.forum-tomates.net

desbois-lombiculture.info

ANNEXES

Annexe 1 : Présentation de l'ONG RTM

1-Présentation

Reggio Terzo Mondo (RTM) est une organisation non gouvernementale (ONG) de volontariat international d'inspiration chrétienne. Depuis 1973, elle promeut des projets de coopération et de solidarité internationale en Afrique, en Amérique Latine, aux Balkans et au Moyen Orient, et des activités d'information, de sensibilisation et d'éducation au développement en Italie. Sa mission est de promouvoir la dignité de la personne et de défendre ses droits fondamentaux, ainsi que de soutenir les processus de développement économique et social attentifs aux personnes et à l'environnement. RTM opère à travers des interventions de moyen et long terme, avec la participation active des partenaires locaux et l'implication des communautés locales. Le point fort de RTM étant l'existence des volontaires qui sont engagés soit à l'étranger, dans des projets de développement, soit dans des activités de sensibilisation, éducation à la mondialité, ainsi que dans les campagnes de levée de fonds.

RTM collabore avec les institutions italiennes et européennes, les principales organisations internationales, avec les institutions et les Eglises locales des pays où elle travaille, les communautés de base, la société civile, et tous les Acteurs non Etatiques.

RTM est un organisme reconnu par l'Union Européenne, par le Ministère des Affaires Etrangères italien, par la République de Madagascar et par les Autorités Locales italiennes.

RTM adhère à:

- CIDSE (Coordination des ONG de développement déléguées des conférences épiscopales)
- F.O.C.S.I.V. (Fédération des Organismes Chrétiens de Service International de Volontaires)
- ALDA (Association des agences de la démocratie locale)

2-Secteurs d'intervention

Dans le monde :

- Sanitaire : prévention, sensibilisation, animation dans les domaines de l'hygiène et de la santé dans les communautés rurales ; campagnes de vaccination ; formation des agents communautaires pour la prise en charge à domicile des malades
- Sécurité alimentaire : construction de digues, greniers, puits, formation agricole, éducation alimentaire, micro crédit
- Appui nutritionnel : appui à des cantines scolaires, aides alimentaires pour les malades tuberculeux, lutte contre la malnutrition infantile
- Tutelle de l'environnement : gestion soutenable des ressources forestières
- Développement de l'artisanat local et de la production biologique : appui et formation aux associations et coopératives d'artisans et cultivateurs, commerce équitable et solidaire

- Education à la paix : réalisation d'activités adressées aux familles et enfants afin de favoriser le dialogue inter ethnique et inter religieux
- Promotion des droits des femmes : appui et formation à des groupes de femmes artisanes et paysannes
- Développement rural : formation dans le domaine agricole – environnemental et de coopération pour de groupes de cultivateurs et éleveurs
- Tutelle et réinsertion des mineurs avec handicap : activités d'éducation et d'assistance aux enfants avec des problèmes neuropsychiatriques, de hypoacusie ; etc. ; soutien aux familles ; animation dans les villages.
- Tutelle des mineurs incarcérés : mesures alternatives à la réclusion, formation scolaire, activités agricoles et récréatives de rééducation, formation professionnelle, appui pédagogique et psychologique aux jeunes gens, formations des agents sociaux.

En Italie :

- Education au développement
- Campagnes de sensibilisation et récolte de fonds
- Camps de formation et travail
- Cours de formation sur le volontariat international

3-Oeuvres de la RTM dans le secteur de l'agriculture biologique à Madagascar

- Formation des producteurs sur les techniques de base en agriculture biologique sur les axes Est, Centre et Sud.
- Sessions de formations des techniciens et animateurs avec l'institut de certification éthique et environnementale
- Formations spécifiques par filières en collaboration avec le Centre Technique Horticole de Tamatave et le Centre Technique pour le Conditionnement des produits
- Formations théoriques et pratiques en collaboration avec BIMTT et CTHT pour les techniciens de terrains et animateurs.
- Ateliers de réflexion et séances de travail initiés et organisés en collaboration avec le réseau BIMTT
- Mise en place de parcelles de démonstration pour la pratique des techniques de base en agriculture biologique sur des filières bien spécifiques
- Formations sur la certification des groupements ou certification collective en Agriculture biologique
- Appui à la création du comité ad hoc pour le développement de l'agriculture biologique à Madagascar.

4-Adresse et contact

Bureau de Coordination Madagascar : Malaza – Andoharanofotsy - BP 1660 Antananarivo
101 MADAGASCAR

Tél. et Fax +261.(0)20.22 467 26

rtm-tana@reggioterzomondo.org

www.reggioterzomondo.org

Siège:

Reggio Emilia - Italie

Annexe 2 : Présentation du centre FOFIFAKRI SAF/FJKM Isoavina

1-Présentation

Le centre FOFIFAKRI (Foibe fiofanana-famokarana, kristiana) ou Centre chrétien de formation-production d' ISOAVINA Ambanitsena est un organisme confessionnel de développement, rattaché à la FJKM. Il s'agit de l'ex-station des missionnaires de London Missionary Society (LMS), au village d'Isoavina.

Le but primordial du SAF/ FJKM est « la contribution à l'amélioration des conditions de vie des couches défavorisées », conformément à son fondement biblique de "Chercher l'avantage du plus grand nombre ». (I Corinthiens 10: 23-33)

D'une façon globale, le SAF oriente ses objectifs vers l'amélioration de conditions de vie des populations cibles, en insistant sur des appuis et sensibilisations en vue d'une autogestion appropriée:

- Valorisation des ressources localement disponibles
- Développement socio-économique des communautés de base

2-Activités :

Au centre sur 7ha

- centre d'accueil : réception, hébergement, restauration
- centre de formation / séminaire : réunion, atelier
- pépinières centrales : plants d'arbres exotiques à croissance rapide, plants d'arbres autochtones, plants d'arbres fruitiers et horticoles
- centre d'expérimentation, de démonstration et de production : recherche-action sur des vergers, jardins maraîchers, compostage, lombricompostage, élevage...
- centre récréatif (Sports et loisirs) : espaces verts, terrains et équipement de sports, circuits de randonnée
- centre touristique : sites historiques, circuits de randonnée, tourisme solidaire / tourisme local

Concernant la production agricole, on y trouve : le maraîchage avec le système de micro-irrigation de goutte à goutte, le lombricompostage, un verger d'agrumes Beambiaty avec le Système de Couverture Végétale (SCV), un champ d'expérimentation en SCV d'arachis et de paillage, pépinière d'arbres fruitiers

Dans les zones périphériques (Districts de MANJAKANDRIANA & ANTANANARIVO-AVARADRANO)

- Éducation non formelle ou ENF (alphabétisation, formation thématique, renforcement de capacité, campagne d'Information-Éducation-Communication, sensibilisation)
- Animation rurale, vulgarisation des nouvelles variétés et technique culturales performantes (Agri Bio, compostage / lombricompostage, SRI/SRA, TP7 / Mittleider) ;
- Environnement (éducation environnementale – agroforesterie – arboriculture – séquestration de carbone à travers le reboisement.)
- Infrastructures rurales (maîtrise d'œuvre pour les pistes rurales, bâtiments communautaires, ouvrages hydro agricoles, adduction d'eau potable– assainissement et hygiène)
- Santé communautaire (nutrition, éradication de la tuberculose et du paludisme,’ et élimination de la pratique de défécation à l'air libre pour l'assainissement)

3- Adresse et contact :

Centre FOFIFAKRI Isoavina, CR Ambanitsena Distrika Manjakandriana (116), c/o Siège social: BP. 623 – Analakely Antananarivo, Madagascar

Mr Ranaivo-Harisoa Rajerison

Tel : 22 227 78

saf@moov.mg

Annexe 3 : Etat de connaissances sur l'agriculture biologique et sur le lombricompost

I-Agriculture biologique

1-Définitions

Au niveau international, les deux organisations, l'IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements) et la Commission du Codex Alimentarius, servent de référence pour la définition de l'agriculture biologique.

- Selon l'IFOAM :**

L'agriculture biologique est un système de production qui maintient et améliore la santé des sols, des écosystèmes et des personnes. Elle s'appuie sur des processus écologiques, la biodiversité et des cycles adaptés aux conditions locales, plutôt que sur l'utilisation d'intrants ayant des effets adverses. L'agriculture biologique allie tradition, innovation et science au bénéfice de l'environnement commun et promeut des relations justes et une bonne qualité de vie pour tous ceux qui y sont impliqués. (IFOAM, 2009)

- Selon Codex Alimentarius :**

L'agriculture biologique est un système de gestion de production holistique qui favorise et met en valeur la santé de l'agro-écosystème, y compris la biodiversité, les cycles biologiques et l'activité biologique des sols. Elle met l'accent sur les pratiques de gestion plutôt que l'utilisation d'intrants extérieurs à la ferme, en tenant compte du fait que les conditions régionales nécessitent des systèmes adaptés localement. Ceci est accompli en utilisant, lorsque c'est possible, des méthodes culturelles, biologiques et mécaniques, par opposition à l'utilisation de produits synthétiques, afin de remplir toute fonction spécifique dans le système. (FAO /OMS, 2007)

- **La production biologique** est l'utilisation du mode de production conforme aux règles fixées à tous les stades de la production, de la préparation et de la distribution. (RÈGLEMENT (CE) N° 8 34/2007)
- **Un produit biologique** est un produit qui a été obtenu, préparé et/ou manipulé en conformité avec les règles de l'agriculture biologique. (IFOAM, 2005)
- **Biologique** : est un terme d'étiquetage indiquant que les produits ont été obtenus dans le respect de normes de production biologique et certifiées comme telles par un organisme ou une autorité d'inspection dûment constitué. (FAO/OMS, 2007)

2-Aspects législatifs de l'Agriculture biologique

En général, un des éléments essentiels distinguant l'agriculture biologique d'autres formes d'agriculture durable est l'existence de normes de production et de procédures de certification. (ADOSSIDES, 2002)

L'International Federation of Organic Movements (IFOAM), ou la fédération internationale des mouvements en agriculture biologique, créée en 1972 constitue actuellement la plus grande organisation et la plus vaste plate-forme des mouvements mondiaux en agriculture biologique. Elle regroupe plus de 750 organisations membres venant de plus de 100 pays différents. L'IFOAM a mis en place des directives qui ont été largement adoptées pour la production et la transformation agro-alimentaire biologique. Ces directives sont communément considérées comme des "normes minimales", laissant de la marge pour des exigences plus détaillées, en fonction des situations régionales ou locales.

L'agriculture biologique étant désormais plus répandue, de nombreux pays développés ont défini leurs propres normes biologiques : les pays de la communauté Européenne (CE) ont adopté une norme biologique commune qui est expliquée dans le règlement CE N° 2092/91 remplacé par les règlements CE N° 834/2007 et N° 889/2008, la norme adoptée aux Etats-Unis est le NOP (National Organic Program), et celle du Japon est le JAS (Japanese Agricultural Standards). (CNUCED, 2003 ; IFOAM, 2009)

3-L'Agriculture Biologique à Madagascar

La filière biologique de Madagascar a commencé avec une petite taille et reste petite. Un manque de connaissance en matière de production, de certification, de transformation et d'exportation continue d'inhiber sa croissance. Pendant les années 90, certains organismes internationaux et agences étrangères ont fourni un appui technique pour améliorer la capacité de production biologique et promouvoir les exportations. Mais, aucune norme nationale concernant l'agriculture biologique n'existe à Madagascar (FAO, 2001). La réglementation européenne est donc la seule règle appliquée et ECOCERT est le seul organisme de certification présent à Madagascar. (RAMBOATIANA, 2002). L'agriculture biologique malagasy comme dans les autres pays reste l'initiative des opérateurs privés. L'agriculture biologique est principalement pratiquée pour les marchés à l'exportation. A Madagascar, l'exportation de produits biologiques certifiés a commencé en 1989. L'agriculture biologique non certifiée est celle promue par les ONG en tant que technologie appropriée en milieu rural ou en respect de l'environnement. Les productions ne bénéficient pas de bonus de prix par rapport aux produits conventionnels. Bien que le marché local n'existe pas encore, un projet est en cours. Ce projet conduit par le Programme de Transition Eco-Régional (PTE), le PRONABIO et le Centre des Techniques Horticoles d'Antananarivo (CTHA) vise à commercialiser sur le marché local,

notamment dans les grandes surfaces, des produits naturels sous le label NATIORA. (RA-JAONARISON, 2004). Actuellement, un comité ad hoc a été créé par le ministère de l'agriculture pour le développement de l'agriculture biologique à Madagascar. (ARRETE n° 20490/2012 du ministère de l'agriculture)

4-Place de l'activité lombricole en agriculture biologique

La lombriculture est une pratique essentielle en agriculture biologique, impliquant des techniques de cultures spécialisées de vers de terre pour le recyclage des déchets organiques en compost stable, homogène et riche nutriments connu sous le nom de lombricompost. (SARKAR, 1994)

Le lombricompost est une source d'éléments nutritifs pratique pour l'agriculture biologique. Il est écologique, non toxique, consomme peu d'énergie pour le compostage et est un produit biologique recyclé. (KUMAR, 2005)

Le lombricompost tient une place importante en agriculture biologique dans la gestion de la fertilité des sols. En effet il s'agit d'un amendement organique issu de déjections de vers qui est autorisé, sans restriction en agriculture biologique selon le règlement (CE) N° 834/2007 de l'Union Européenne dans l'annexe 1.

Selon le NOP (National Organic Program) en 2011, le lombricompostage est une méthode acceptable de compostage lorsque :

- 1) le lombricompost est fabriqué à partir de matières de base acceptées (soit des substances non synthétiques qui ne sont pas interdites au § 205 602, ou synthétiques agréés pour les plantes ou comme amendement)
- 2) les conditions aérobies sont maintenues par des ajouts réguliers de couches de matière organique, de telle sorte que l'humidité soit maintenue à 70-90%, et
- 3) la durée de lombricompostage est suffisante pour produire un produit fini qui ne contribue pas à la contamination des cultures, du sol ou de l'eau par des éléments nutritifs, des organismes pathogènes, métaux lourds ou des résidus de substances interdites.

II-Lombricompost

1-Définitions et propriétés

Définitions

Selon les auteurs, de nombreuses définitions peuvent être attribuées au lombricompost ou vermicompost et au lombricompostage dont :

Le lombricompost est appelé également fertilisant bio-organique ou bio-écologique ou super-humus. Il provient du compostage des matières organiques en présence des vers de terre (BOUCHE, 1982).

Le lombricompost est un engrais finement divisé avec une bonne porosité, une bonne aération, une bonne capacité de drainage et de rétention d'eau, des activités microbiennes et il est stabi-

lisé par l'interaction entre les vers de terre et microorganismes dans un processus non thermophile (EDWARDS et al., 1988).

Le lombricompost est un amendement organique microbiologiquement actif riche en nutriments qui résulte des interactions entre les vers de terre et les micro-organismes au cours de la décomposition de la matière organique. Il est stabilisé, finement divisée, comme la tourbe, avec un faible ratio C:N, dans lequel la plupart des nutriments sont présents dans des formes qui sont facilement absorbés par les plantes. (DOMINGUEZ, 2004)

Le lombricompost est un engrais organique (bio-engrais) produit comme les déjections de vers par l'alimentation des vers de terre sur des déchets organiques et des résidus végétaux. Le produit est le résultat de déchets biologiques consommés par les vers de terre, digérés et excrétés sous forme de granulés. Ce compost est une matière organique inodore, propre contenant des quantités adéquates de N, P, K et plusieurs micronutriments essentiels pour la croissance des plantes. (KUMAR, 2005)

Le lombricompostage est un simple procédé biotechnologique de compostage, où certaines espèces de les vers de terre sont utilisés pour améliorer le processus de conversion des déchets et de produire un meilleur produit fini. Le lombricompostage diffère de compostage de plusieurs façons (GANDHI et al, 1997). Il s'agit d'un processus mésophile, utilisant des micro-organismes et des vers en activité entre 10 à 32 ° C. Le processus est plus rapide que compostage, parce que la matière passe à travers l'intestin des vers de terre, une part importante de la transformation s'y effectue mais pas pleinement, de sorte que les coulées de vers de terre résultant (ver de fumier) sont riches en activité microbienne, en régulateurs de croissance des plantes, et enrichis de répulsifs aux ravageurs. (VERMI CO, 2001 ; CRESCENT TARA, 2003) cité par NAGAVALLEMMA et al en 2004.

Propriétés physico-chimiques du lombricompost

Le lombricompost riche en humus, est de couleur brun foncé à noir. Il est doux au toucher et exempt de toute odeur fétide, de graines de mauvaises herbes et d'autres contaminants. Il est électriquement chargé, ce qui améliore l'absorption des nutriments par les plantes. (KUMAR, 2005)

Les lombricomposts ont une structure beaucoup plus fine que les composts et contiennent nutriments dans les formes qui sont facilement disponibles pour l'absorption de la plante. (EDWARDS et al., 1988).

Le lombricompost est composé principalement de carbone (C), hydrogène (H) et d'oxygène (O) et contient des éléments nutritifs comme en NO_3 , PO_4 , Ca, K, Mg, S et d'autres micronutriments qui présentent des effets similaires aux engrains inorganiques sur la croissance des plantes et sur le rendement lorsqu'il est appliqué sur le sol (OROZCO et al., 1996; SINGH et al., 2008 cité par NAJAR et al., en 2013).

Le lombricompost contient aussi une forte proportion de substances humiques (acides humiques, acides fulviques et humines) qui peut fournir de nombreux sites pour la réaction chimique; des composants microbiens connus pour améliorer la croissance et la suppression de la maladie à travers les activités des bactéries (*Bacillus*), des levures (*Sporobolomyces* et *Cryptococcus*) et les champignons (*Trichoderma*), ainsi que des antagonistes chimiques tels que des phénols et des acides aminés (THEUNISSEN, 2010 cité par NAJAR et al., en 2013).

2-Historique

L'élevage des vers de terre a commencé aux États-Unis dans les années 1930. Le Dr Georges Sheffield Oliver, originaire du Texas et inventeur de la charrue en acier, lu par hasard en 1906 le livre de Charles Darwin, naturaliste et scientifique britannique, s'intitulant « La formation de la terre végétale par l'action des vers de terre avec des observations sur leurs habitudes » publié en 1881. Il commença à élever des vers de terre dans sa ferme et à les mettre dans son jardin. Il constata alors que les arbres avaient une meilleure vitalité, que ses fleurs devenaient plus belles et plus parfumées, et que ses fruits et légumes gagnaient en goût. Plus tard, il fit de cela une activité lucrative avec beaucoup de réussite, sans pourtant jamais révéler quoi que ce soit de son secret pour parvenir à ces résultats spectaculaires.

L'élevage s'est développé ensuite à l'échelle industriel mais uniquement dans le but de produire des appâts de pêche. En 1980, l'activité lombricole commença avec l'implication des vers dans le domaine de la valorisation des déchets ménagers et la création d'amendements.

Par la suite, le développement de la lombriculture s'est appuyé sur l'intérêt croissant du public pour les problèmes d'environnement, ainsi que l'intérêt scientifique pour la question du traitement des déchets organiques agricoles, urbains et industriels. (CARON, 2011 ; RANDRIA-MALALA, 2012)

3-Lombricompostage et lombriculture

Le « vermicompostage » ou « lombricompostage» est un procédé de dégradation des biodéchets faisant appel aux lombrics. Il a pour objectif de produire des lombricomposts tandis que la lombriculture a pour but de produire des biomasses lombriciennes (CIRAD, 1993).

La lombriculture est une méthode scientifique de reproduction et l'élevage des vers de terre dans des conditions contrôlées. Il vise à créer de meilleures conditions artificiellement afin que les vers de terre se multiplient dans le temps le plus court possible et dans l'espace. Le lombricompostage est une méthode de fabrication de compost à l'aide de vers de terre, qui vivent généralement dans le sol, mangent et excrètent la biomasse sous une forme digérée. (BOARD, 2004)

4-Le lombricompostage à Madagascar

Le lombricompostage a été introduit à Madagascar par la société Agriver, qui a débuté ses premières recherches en 1996. Un projet pilote sis à Antanifotsy, en partenariat avec le projet Voarisoa et l'Endaoi a commencé à vulgariser le lombricompostage dans de nombreux centres et associations dont le TMA (Tanora Miasa An –jezika) Andavamamba, le CCEE (Centre Culturel Educatif à l'Environnement) Mahamasina, l'EPSA (Ecole Professionnelle Supérieure Agricole) Bevalala, FAFIALA Ambohimangakely et le TATA (Tontolo Arovana Tany sy Ala) Ambohimanambola. (ANDRIAMADY, 2001). Après, les techniques du lombricompostage se sont répandues (RANDRIAMALALA, 2012) dans toute l'île, par le biais des formations. Actuellement, le lombricompostage devient courant à Madagascar et il existe de nombreux centres qui produisent du lombricompost : TATA à Ambohimanambola, le SAF/FJKM, HAINGONALA à Ambositra, FLAEF Sarl, CARITAS, CEFFEL et les producteurs de FAFAFI/SPAM à Antsirabe, SOANAVELA à Mahitsy, Centre Saint Benoît à Fénerive Est et les producteurs anglicans de SAFAMP….

Annexe 4 : Généralités sur la culture de tomate

1-Origine et Historique

La tomate est originaire des régions montagneuses de l'Amérique du Sud (Pérou, Bolivie, Equateur). Elle fut apportée en Europe peu après la découverte de l'Amérique, cultivée d'abord comme plante ornementale et réputée vénéneuse, elle ne fut réhabilitée et admise en culture potagère qu'à partir du 18^{ème} siècle. On l'appelait au début la « Pomme de Pérou ». On la nommait aussi « Pomme d'or », « Pomme d'Amour ». Toutes les variétés de tomate d'Europe et d'Asie proviennent de l'Amérique latine, importées par des marchands espagnols et portugais au cours du 16^{ème} siècle. Pour les tomates africaines, elles furent introduites par des marchands européens ou les colonisateurs. Aujourd'hui, les cultivateurs modernes peuvent cultiver des tomates hybrides sous des climats très différents de ceux de leur site d'origine. A Madagascar, on trouve la culture de tomate un peu partout, mais la principale production est assurée par les régions d'Itasy, de Betafo, d'Antananarivo et ses environs et les régions du Nord-Ouest et du lac Alaotra....

2-Systématique

La tomate appartient au :

Règne : Végétal

Embranchement : Phanérogames

Sous- embranchement : Angiospermes

Classe : Dicotylédones

Ordre : Tubiflorales

Famille : Solanaceae

Genre : Solanum

Espèce : *Lycopersicon esculentum*

La tomate est connue sous le nom malgache : « Voatabia »

3-Botanique

3-1- Morphologie

Racines

La tomate a un système radiculaire important. De nombreuses racines primaires, secondaires, tertiaires prennent naissance sur un pivot puissant. Les racines peuvent atteindre 85 à 90 cm de long, mais les principales racines nourricières se rencontrent entre 25 et 35 cm de profondeur.

Tiges

Il n'y a qu'une tige par pied. Mais cette tige peut se ramifier un grand nombre de fois et donne à la plante un aspect buissonnant. Les tiges sont vertes pourvues de poils blanchâtres. Elles portent les feuilles, les fleurs et les fruits. Le plus souvent, elles sont retombantes et demandent à être attachées sur des tuteurs. On distingue deux grandes catégories de tiges :

- Les tiges à croissance déterminée : leur croissance s'arrête après avoir émis un nombre variable de bouquets de fleurs. Elles donnent des pieds qui ont 60 à 80 cm de hauteur (cultures industrielles)

- Les tiges à croissance indéterminée : leur croissance ne s'arrête pas tant que la condition écologique est favorable. Elles donnent des pieds atteignant 1,40 à 1,60 m et parfois plus. De telles variétés demandent à être palissées.

Feuilles

Suivant les variétés, elles sont plus ou moins découpées et composées. Certaines variétés ont des feuilles non découpées, mais la plupart comprennent un certain nombre de paires de folioles (souvent trois) et une foliole terminale. Les folioles sont insérées sur le pétiole de la feuille par l'intermédiaire de petites ramifications. Les feuilles sont vertes, poilues et ont une odeur forte lorsqu'on les froisse. Au point d'insertion du pétiole sur la tige on trouve un bourgeon qui donne souvent naissance à une nouvelle ramification.

Inflorescences

Ce sont des grappes plus ou moins ramifiées formant ce qu'on appelle couramment des bouquets. Suivant le mode de croissance des tiges, de 1 à 4 feuilles, en moyenne, séparent 2 bouquets successifs. Le nombre de fleurs par bouquet diminue au fur et à mesure que l'on s'approche de l'extrémité des tiges. On compte en moyenne 5 par bouquets.

Fleurs

Elles sont jaunes, généralement hermaphrodites et ont environ 3 cm de large, et se composent :

- d'un calice formé par 5 sépales verts ;
- d'une corolle formée par 5 pétales jaunes soudés par leur base ;
- de 5 étamines dont les anthères forment un manchon autour du style de l'ovaire ;
- d'un ovaire possédant un nombre variable de loges, suivant les variétés. L'ovaire est surmonté par un style qui porte un stigmate. En principe, il y autofécondation, mais le pourcentage de pollinisation croisée augmente avec le nombre des insectes pollinisateurs.

Fruits

Ce sont des baies plus ou moins volumineuses, charnue, à peau lisse. La tomate est constituée par un certain nombre de loges qui détermine sa forme. Le nombre de loges dépend de la variété. Les tomates sont les plus souvent rouges, mais il existe des variétés à fruits jaunes ou violacés et parfois même blancs. En culture on distingue deux grandes catégories de couleur de fruit :

- Les fruits à collet vert, pour lesquels il reste des tâches vertes autour du point d'insertion du pédoncule, le reste du fruit étant rouge.

- Les fruits de couleur uniforme

La grosseur des tomates varie avec la richesse du sol, la température, et le nombre de fruits portés par le pied. En moyenne, les tomates pèsent de 60 à 200 grammes. Certains fruits atteignent 300 grammes.

Graines

Chaque tomate renferme en grand nombre de graines qui sont noyées dans la pulpe du fruit. Les graines sont petites, aplatis, réniformes et blanchâtres. Un litre de graines pèse de 300 à 400 grammes. Leur faculté germinative dure 4 ans en moyenne. Le pourcentage de germination est de l'ordre de 75%.

3-2-Physiologie

Dans sa région d'origine, la tomate est une plante vivace. La même plante donne alors des fruits plusieurs années de suite. En culture, on considère la tomate comme une plante annuelle. La durée du cycle végétatif des tomates cultivées est de 120 à 150 jours. Le cycle végétatif comprend 4 phases :

Phase de germination

A température ambiante comprise entre 18 et 24°C, la levée s'effectue au bout de 6 à 8 jours. Elle se manifeste par l'apparition d'une tige portant 2 feuilles cotylédonaires simples et opposées. Dans le sol, la racine possède un manchon de poils absorbants bien visible.

Phase de croissance

La tomate a un système radiculaire important. Un pivot puissant soutient de nombreuses racines primaires et secondaires. La racine s'allonge et prend l'aspect d'un filament blanchâtre sur lequel apparaissent des racines secondaires.

Les deux premières vraies feuilles de type composé apparaissent vers le 11^{ème} jour et ne sont bien développées que vers le 20^{ème} jour.

Au bout de 4 à 6 semaines suivant les conditions écologiques, le jeune plant a 3 à 4 paires de feuilles composées et 15 à 20 cm de hauteur. C'est le moment de le repiquer si le semis n'est pas direct.

Phase de floraison

A 2,5 à 3 mois environ après semis, la première inflorescence en grappe plus ou moins ramifiée de type « bouquet » apparaît.

La croissance de la plante continue. Puis d'autres bouquets vont apparaître au-dessus de la première inflorescence, intercalés par des feuilles en nombre variable.

On compte, en moyenne, 5 fleurs par bouquet, mais ce nombre diminue au fur et à mesure que l'on s'approche du sommet des tiges. La floraison dure un mois et demi environ, c'est-à-dire de deux mois et demi à trois et demi après le semis.

Phases de fructification et maturation

A ces phases, la croissance s'arrête. La fructification débute durant la phase de floraison. Elle commence par la nouaison des fruits de l'inflorescence de base et se poursuit par les inflorescences supérieures au fur et à mesure de leur apparition et de la fécondation des fleurs.

Les fruits se développent, grossissent et après avoir atteint leur taille définitive, ils commencent à perdre leur coloration verte au profit du jaune puis d'un rouge de plus en plus accentuée.

La grosseur des fruits varie suivant les conditions écologiques, le nombre de fruits portés par le pied et les variétés.

3-3-Ecologie

Besoin en eau

La tomate est une plante assez résistante à la sécheresse, surtout si un ameublissemement du sol lui permet de développer un système radiculaire important. Même de courtes périodes de manque d'eau peuvent faire baisser la production. Néanmoins, elle demande une humidité suffisante du sol et les arrosages sont favorables à son développement. On estime que pendant la quarantaine de jours qui suivent la transplantation, les jeunes pieds ont besoin de 50m³/ha/jour. Pendant la floraison et la maturation, ces besoins en eau sont de l'ordre de 100 à 110 m³/ha/jour.

La tomate craint l'excès d'humidité et la stagnation de l'eau. Il faut éviter de mouiller les feuilles durant l'arrosage si on veut éviter les attaques généralisées des maladies cryptogamiques et la chute des fleurs.

Besoin en chaleur

La tomate est une plante qui a besoin de beaucoup de chaleur pour assurer le cycle complet de sa végétation. La germination des graines est optima pour des températures comprises entre 18 et 24°C, lente pour des températures comprises entre 10 et 18°C, puis elle devient très lente pour des températures inférieures à 10°C.

La croissance de la tomate demande des températures moyennes situées entre 21 et 27° le jour et 10° et 20°C la nuit. A partir de 13°C, la croissance est arrêtée. Vers 1 -2°C, la plante gèle entièrement.

Pendant la phase de floraison, la température joue un rôle très grand dans la réussite de la fécondation. Il faut 18 à 24°C durant le jour et 14 - 15 °C durant la nuit. Si la température tombe la nuit au-dessous de 12°C pendant plusieurs genres, ou si durant le jour la température reste supérieure à 38°C, il se produit une coulure plus ou moins généralisée.

Pendant la phase de maturation, il faut avoir une température environ 18°C la nuit et 27°C le jour pour avoir des fruits qui mûrissent rapidement et acquièrent une belle coloration.

Besoins en lumière

La tomate est une plante de lumière. Si on la place dans un endroit ombragé, elle va filer et donner un rendement insignifiant. De plus la chute des feuilles est favorisée. Les très fortes insolations provoquent sur les fruits des coups de soleil favorisant des craquelures qui constituent une porte d'accès aux champignons.

Besoin en sol

La tomate demande des sols profonds, légers, frais, non humides, assez riches en humus et en matières fertilisantes. Dans les sols lourds, il faut prévoir un drainage suffisant.

La qualité du sol n'est pas prédominante pour la tomate. Il lui suffit d'avoir un sol profond et bien drainé. Les sols argileux ne donnent que de très faibles rendements. La tomate est moins sensible à la salinité et préfère un sol légèrement acide à pH 5,5 à 6,8.

Besoins en altitude

L'altitude agit sur la végétation de la tomate presque exclusivement par l'intermédiaire de la température. Aussi trouve-t-on la culture industrielle de la tomate dans les zones chaudes proches de la mer, tandis que dans les zones d'altitude on ne trouve que des tomates de maraîchages.

Besoin en matières fertilisantes

- L'azote assure le bon développement des feuilles et l'allongement des tiges.
- Le potassium donne une certaine résistance aux maladies.
- Le magnésium favorise la fertilité des fleurs.
- Le phosphore : l'utilisation de phosphore diminue la couleur des fleurs provoquée par un excès d'azote. Il est aussi un facteur de précocité et accélère la maturité des plantes.

4-Les régions productrices

Les tomates sont produites dans différentes régions à Madagascar :

- Moyen Ouest (dans la région d'Itasy)
- aux environs d'Antananarivo (Ambatomanina, Anjozorobe, Mahitsy, Ambohimanambola, Antsirabe)
- Sud (Antsirabe, Betafo)
- dans la région d'Alaotra à Ambatondrazaka

Ces zones citées en-dessus sont les principales zones de production à Madagascar. La zone d'Itasy où la culture de la tomate se fait presque toute l'année, se caractérise par la prédominance des sols ferralitiques, et des sols riche d'origine volcanique. La région d'Ambatondrazaka produit des tomates réputées de bonnes qualités et dominant le marché de la capitale. D'après les enquêtes auprès des acteurs de la filière, c'est la qualité des sols d'Ambatondrazaka qui en est la cause. La partie Nord-Ouest (Mampikony, Port Bergé, Ambato-Boeni) autrefois a été une des plus grandes régions productrices à Madagascar grâce au climat chaud de cette zone et à la présence des grandes plaines alluvionnaires. Mais les productions dans ces zones ont perdu beaucoup de son importance suite à la fermeture de l'usine de conserve.

5-Saison de culture de la tomate à Madagascar

D'une manière générale, la culture de la tomate se pratique tout au long de l'année qui se subdivise en :

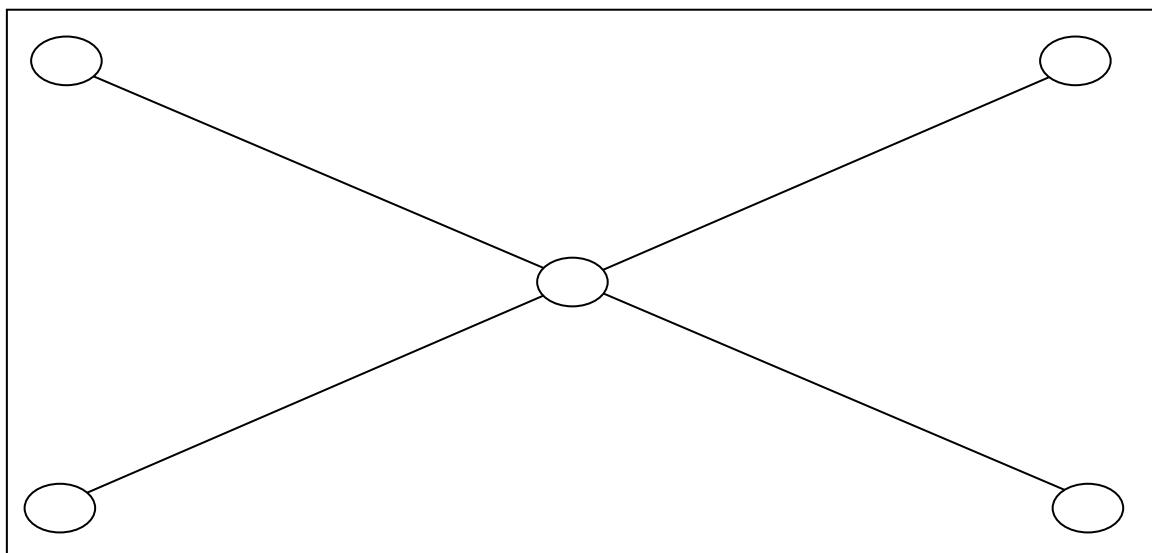
Culture de saison : qui s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de décembre. Les paysans cultivent des tomates sur les tanety et les baiboho ou dans des lieux où l'accumulation d'eau est impossible durant les périodes pluviales. La culture de saison est soumise à la forte précipitation qui compromet le rendement et met en risque sa survie. Pendant cette période, le coût de production est élevé car la plante est sujette à plusieurs maladies. Ainsi, cette saison est caractérisée par une production faible et un prix élevé.

Culture de saison intermédiaire : le cycle tombe au mois de janvier jusqu'au mois d'avril ou mai. On les cultive sur les tanety. Les entretiens sont moyennement faibles mais la qualité augmente par rapport à la précédente.

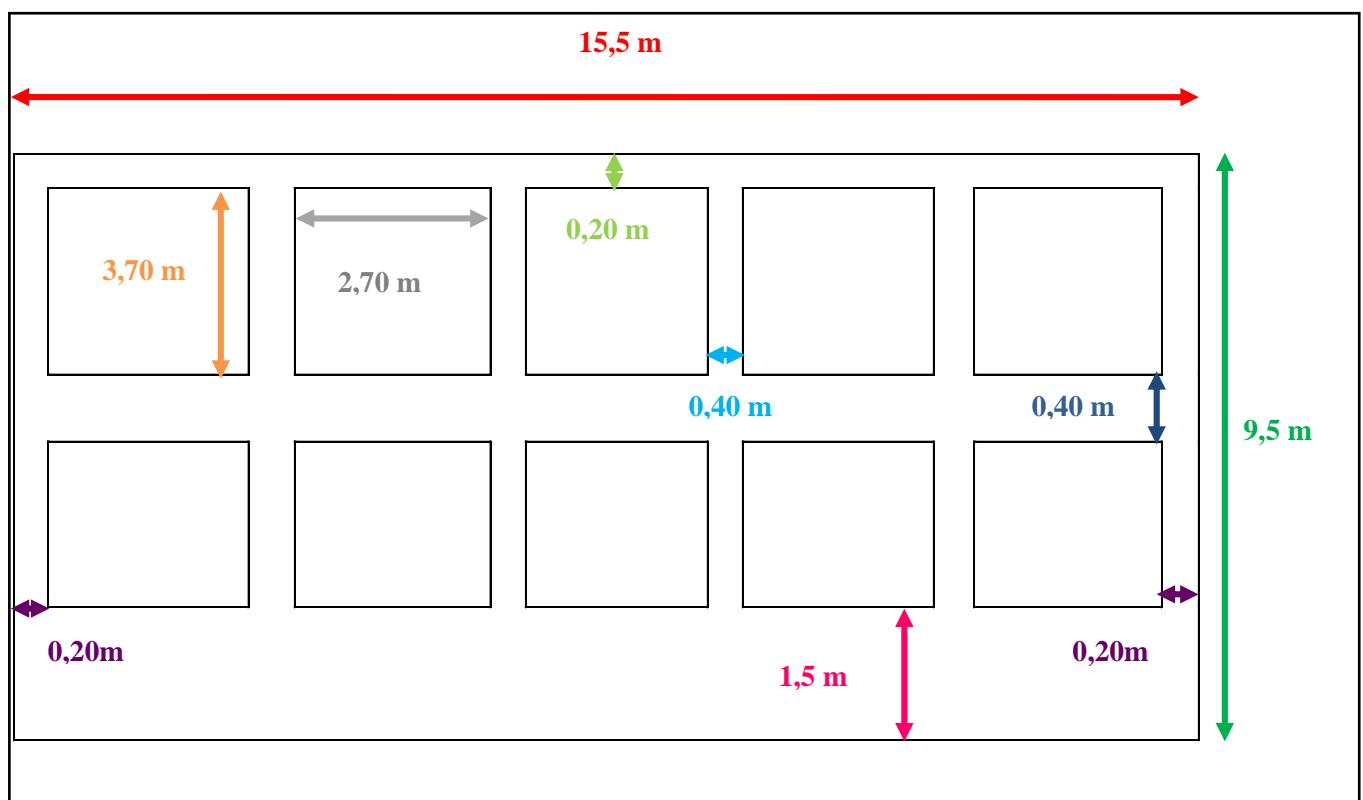
Culture de contre saison : cette pratique est très fréquente après la récolte du riz irrigué. Le semis est effectué au mois d'avril ou mai pour être récolté au mois d'août. Par rapport aux deux premiers types de culture, elle n'a besoin que de très peu d'entretien. Le produit se trouve en quantité et en qualité sur le marché local (ANDRIAMAROLAHY, 1996).

Annexe 5 : Technique d'échantillonnage pour l'analyse de sol

Itinéraire en diagonales croisées (DAVET, 1996)



Annexe 6 : Dispositif expérimental



Annexe 7 : Randomisation des traitements sur le dispositif expérimental

BLOC 1		BLOC 2		BLOC 3	
D₃ A₁	D₃ A₂	D₁ A₂	D₁ A₁	D₂ A₂	D₁ A₁
D₃ A₃	T	D₂ A₂	D₃ A₂	T	D₃ A₁
D₂ A₂	D₁ A₃	D₃ A₃	T	D₂ A₃	D₁ A₃
D₁ A₁	D₂ A₃	D₂ A₁	D₃ A₁	D₃ A₃	D₃ A₂
D₁ A₂	D₂ A₁	D₂ A₃	D₁ A₃	D₁ A₂	D₂ A₁

Annexe 8 : Calcul du dosage de l'engrais

8-1 Exportations pour les rendements escomptés (en unités)

Exportations	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
50 t.ha ⁻¹	130	50	250
40 t.ha ⁻¹	104	40	200
60 t.ha ⁻¹	156	60	300
90 t.ha ⁻¹	234	90	450

$$P = P_2O_5 \times 0,48 \text{ et } K = K_2O \times 0,83$$

8-2 Dose à apporter pour un rendement de 40 t.ha⁻¹

	N	P	K
Fourniture par le sol en g/Kg	1,4	0,00236	0,10235
Densité apparente	2,111	2,111	2,111
Profondeur de labour	0,2	0,2	0,2
Surface en m ²	10000	10000	10000
Masse de terre	4222	4222	4222
Fourniture par le sol en Kg/ha	5910,8	9,96392	432,1217
Besoins de la culture en Kg /ha	104	19,2	166
Quantité à apporter par l'engrais	-5806,8	9,23608	-266,1217
Quantité d'éléments dans l'engrais	0,007	0,00215	0,00532
Engrais à apporter	-829542,857	4295,85116	-50022,8759
Dose en t.ha ⁻¹	-829,542857	4,29585116	-50,0228759

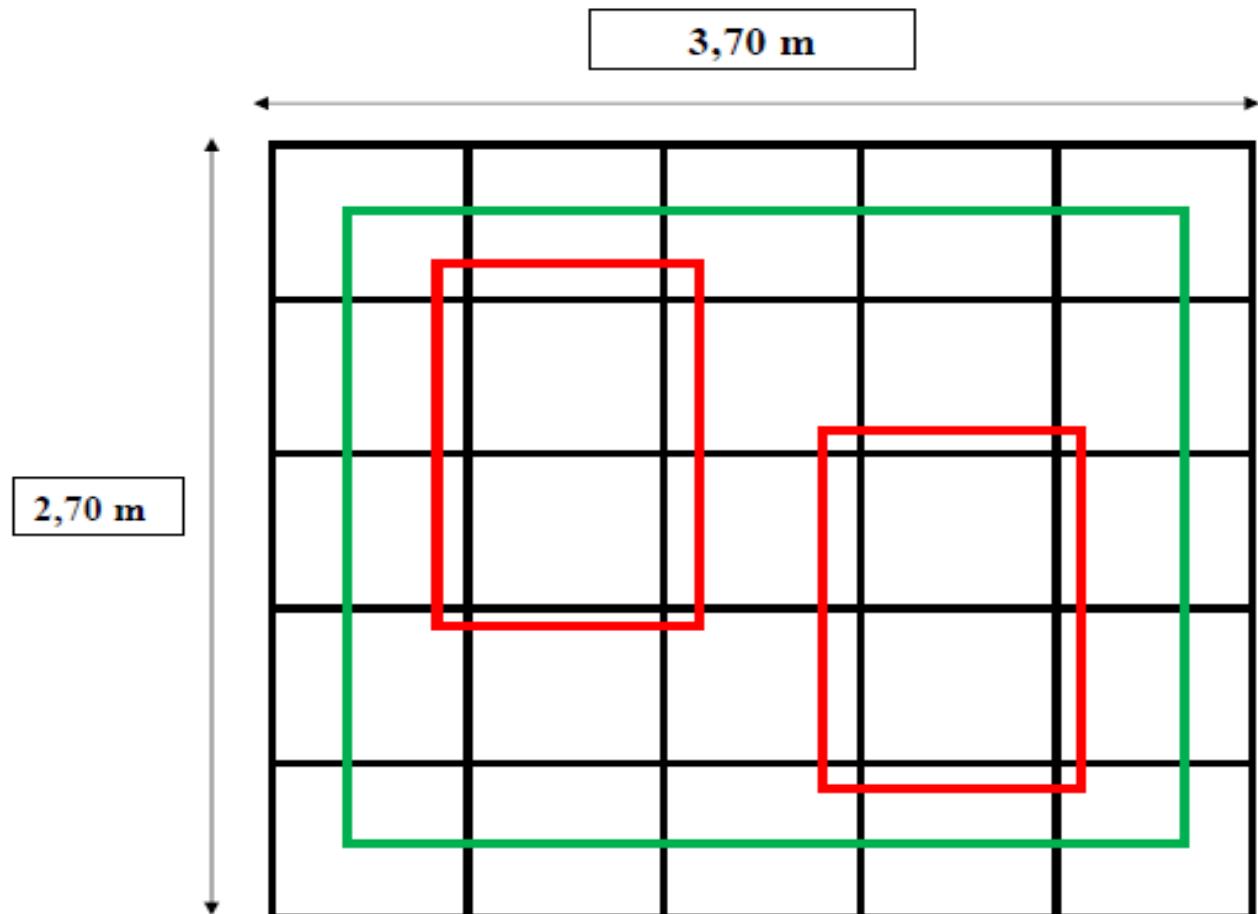
8-3 Dose à apporter pour un rendement escompté de 60 t.ha⁻¹

	N	P	K
Fourniture par le sol en g/Kg	1,4	0,00236	0,10235
Densité apparente	2,111	2,111	2,111
Profondeur de labour	0,2	0,2	0,2
Surface en m ²	10000	10000	10000
Masse de terre	4222	4222	4222
Fourniture par le sol en Kg/ha	5910,8	9,96392	432,1217
Besoins de la culture en Kg /ha	156	28,8	249
Quantité à apporter par l'engrais	-5754,8	18,83608	-183,1217
Quantité d'éléments dans l'engrais	0,007	0,00215	0,00532
Engrais à apporter	-822114,286	8760,96744	-34421,3722
Dose en t.ha ⁻¹	-822,114286	8,76096744	-34,4213722

8-4 Dose à apporter pour un rendement escompté de 90 t.ha⁻¹

	N	P	K
Fourniture par le sol en g/Kg	1,4	0,00236	0,10235
Densité apparente	2,111	2,111	2,111
Profondeur de labour	0,2	0,2	0,2
Surface en m ²	10000	10000	10000
Masse de terre	4222	4222	4222
Fourniture par le sol en Kg/ha	5910,8	9,96392	432,1217
Besoins de la culture en Kg /ha	234	43,2	373,5
Quantité à apporter par l'engrais	-5676,8	33,23608	-58,6217
Quantité d'éléments dans l'engrais	0,007	0,00215	0,00532
Engrais à apporter	-810971,429	15458,6419	-11019,1165
Dose en t.ha ⁻¹	-810,971429	15,4586419	-11,0191165

Annexe 9 : Technique d'échantillonnage pour la collecte des données



Annexe 10 : Détails des traitements statistiques

10-1-Hauteur de la transplantation à la floraison

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	19170,618	6390,206	683,208	< 0,0001
Apport	2	1541,616	770,808	82,411	< 0,0001
Dose*Apport	6	576,292	96,049	10,269	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	4,806	2,158	A
Dose-T*Apport-A2	4,806	2,158	A
Dose-T*Apport-A3	4,806	2,158	A
Dose-D1*Apport-A3	13,417	3,857	B
Dose-D1*Apport-A2	14,861	2,919	C
Dose-D2*Apport-A3	16,250	3,055	C
Dose-D1*Apport-A1	18,083	3,166	D
Dose-D2*Apport-A2	18,861	3,242	DE
Dose-D3*Apport-A3	19,639	2,929	E
Dose-D3*Apport-A2	21,333	3,089	F
Dose-D2*Apport-A1	22,972	3,29	G
Dose-D3*Apport-A1	26,361	3,972	H

10-2- Hauteur de la floraison à la fructification

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	9370,006	3123,335	396,623	< 0,0001
Apport	2	810,514	405,257	51,462	< 0,0001
Dose*Apport	6	721,301	120,217	15,266	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A3	3,597	1,926	A
Dose-T*Apport-A1	3,597	1,926	A
Dose-T*Apport-A2	3,597	1,926	A
Dose-D1*Apport-A3	5,278	2,421	B
Dose-D1*Apport-A1	9,472	3,084	C
Dose-D2*Apport-A1	10,667	2,390	CD
Dose-D2*Apport-A3	11,917	2,234	DE
Dose-D1*Apport-A2	12,833	2,823	E
Dose-D2*Apport-A2	14,889	3,770	F
Dose-D3*Apport-A1	14,972	3,574	F
Dose-D3*Apport-A3	15,972	3,393	F
Dose-D3*Apport-A2	17,917	3,254	G

10-3-Hauteur de la fructification à la fin du cycle

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	2532,259	844,086	263,723	< 0,0001
Apport	2	1322,032	661,016	206,525	< 0,0001
Dose*Apport	6	490,616	81,769	25,548	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	5,306	1,769	A
Dose-T*Apport-A2	5,306	1,769	A
Dose-T*Apport-A3	5,306	1,769	A
Dose-D3*Apport-A1	6,000	1,723	A
Dose-D2*Apport-A1	8,333	1,414	B
Dose-D1*Apport-A1	9,111	1,753	B
Dose-D3*Apport-A2	9,972	1,594	C
Dose-D2*Apport-A2	10,361	1,606	C
Dose-D1*Apport-A2	11,500	2,455	D
Dose-D3*Apport-A3	12,833	1,797	D
Dose-D2*Apport-A3	13,556	1,663	EF
Dose-D1*Apport-A3	14,194	1,909	F

10-4- Hauteur totale

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	74548,502	24849,501	527,267	< 0,0001
Apport	2	423,616	211,808	4,494	0,012
Dose*Apport	6	490,458	81,743	1,734	0,111

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	13,708	5,21	A
Dose-T*Apport-A2	13,708	5,21	A
Dose-T*Apport-A3	13,708	5,21	A
Dose-D1*Apport-A3	32,889	7,02	B
Dose-D1*Apport-A1	36,667	7,219	C
Dose-D1*Apport-A2	39,194	7,700	CD
Dose-D2*Apport-A3	41,722	6,408	DE
Dose-D2*Apport-A1	41,972	6,322	DE
Dose-D2*Apport-A2	44,111	7,934	E
Dose-D3*Apport-A1	47,333	8,528	F
Dose-D3*Apport-A3	48,444	7,373	F
Dose-D3*Apport-A2	49,222	7,123	F

10-5-Nombre de branches de la transplantation à la floraison

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	1521,963	507,321	353,163	< 0,0001
Apport	2	228,167	114,083	79,417	< 0,0001
Dose*Apport	6	159,537	26,590	18,510	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	-0,444	1,409	A
Dose-T*Apport-A3	-0,444	1,409	A
Dose-T*Apport-A2	-0,444	1,409	A
Dose-D1*Apport-A3	1,389	0,903	B
Dose-D1*Apport-A2	1,694	0,859	BC
Dose-D2*Apport-A3	1,944	0,790	CD
Dose-D1*Apport-A1	2,417	0,906	DE
Dose-D2*Apport-A2	2,583	0,946	E
Dose-D3*Apport-A3	3,500	1,010	F
Dose-D3*Apport-A2	3,722	0,972	F
Dose-D2*Apport-A1	4,028	1,182	F
Dose-D3*Apport-A1	7,056	1,970	G

10-6- Nombre de branches de la floraison à la fructification

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	1998,546	666,182	331,185	< 0,0001
Apport	2	434,477	217,238	107,998	< 0,0001
Dose*Apport	6	152,579	25,430	12,642	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A3	3,028	1,218	A
Dose-T*Apport-A1	3,028	1,218	A
Dose-T*Apport-A2	3,028	1,218	A
Dose-D1*Apport-A1	3,611	1,248	AB
Dose-D1*Apport-A3	3,917	1,461	B
Dose-D2*Apport-A1	4,889	1,237	C
Dose-D2*Apport-A3	5,833	1,320	D
Dose-D1*Apport-A2	6,333	1,586	D
Dose-D3*Apport-A1	7,333	1,621	E
Dose-D2*Apport-A2	8,083	1,586	F
Dose-D3*Apport-A3	8,361	1,735	F
Dose-D3*Apport-A2	10,833	1,439	G

10-7-Nombre de branches de la fructification à la fin du cycle

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	836,102	278,701	218,589	< 0,0001
Apport	2	722,338	361,169	283,270	< 0,0001
Dose*Apport	6	622,051	103,675	81,314	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	1,000	0,758	A
Dose-T*Apport-A2	1,000	0,758	A
Dose-T*Apport-A3	1,000	0,758	A
Dose-D1*Apport-A1	1,583	1,204	B
Dose-D1*Apport-A2	1,833	1,088	BC
Dose-D3*Apport-A1	1,972	1,108	BC
Dose-D3*Apport-A2	2,056	1,320	BC
Dose-D1*Apport-A3	2,139	0,866	CD
Dose-D2*Apport-A2	2,472	1,010	DE
Dose-D2*Apport-A1	2,806	0,920	E
Dose-D3*Apport-A3	7,028	1,843	F
Dose-D2*Apport-A3	8,167	1,276	G

10-8-Nombre total de branches

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	11684,519	3894,840	454,167	< 0,0001
Apport	2	197,375	98,688	11,508	< 0,0001
Dose*Apport	6	405,940	67,657	7,889	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	3,583	2,855	A
Dose-T*Apport-A2	3,583	2,855	A
Dose-T*Apport-A3	3,583	2,855	A
Dose-D1*Apport-A3	7,444	2,590	B
Dose-D1*Apport-A1	7,611	2,417	B
Dose-D1*Apport-A2	9,861	2,938	C
Dose-D2*Apport-A1	11,722	2,752	D
Dose-D2*Apport-A2	13,139	2,734	E
Dose-D2*Apport-A3	15,944	2,817	F
Dose-D3*Apport-A1	16,361	3,473	F
Dose-D3*Apport-A2	16,611	2,908	F
Dose-D3*Apport-A3	18,889	3,626	G

10-9-Nombre de feuilles de la transplantation à la floraison

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	258444,611	86148,204	1070,875	< 0,0001
Apport	2	10384,921	5192,461	64,545	< 0,0001
Dose*Apport	6	5466,986	911,164	11,326	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A3	-1,222	3,707	A
Dose-T*Apport-A2	-1,222	3,707	A
Dose-T*Apport-A1	-1,222	3,707	A
Dose-D1*Apport-A3	29,694	13,943	B
Dose-D1*Apport-A2	45,111	12,785	C
Dose-D2*Apport-A3	49,167	10,713	CD
Dose-D1*Apport-A1	50,778	8,373	D
Dose-D2*Apport-A2	51,472	9,5	D
Dose-D3*Apport-A3	56,444	11,146	E
Dose-D3*Apport-A2	60,083	7,635	EF
Dose-D2*Apport-A1	63,694	10,159	F
Dose-D3*Apport-A1	68,778	11,268	G

10-10- Nombre de feuilles de la floraison à la fructification

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	432588,083	144196,028	2975,013	< 0,0001
Apport	2	59359,875	29679,938	612,348	< 0,0001
Dose*Apport	6	34234,958	5705,826	117,721	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A3	19,306	11,241	A
Dose-T*Apport-A1	19,306	11,241	A
Dose-T*Apport-A2	19,306	11,241	A
Dose-D1*Apport-A3	26,000	22,010	B
Dose-D1*Apport-A1	31,583	3,532	C
Dose-D2*Apport-A1	44,833	3	D
Dose-D2*Apport-A3	65,917	3,820	E
Dose-D1*Apport-A2	72,083	6,207	F
Dose-D2*Apport-A2	90,500	4,595	G
Dose-D3*Apport-A1	93,056	2,994	G
Dose-D3*Apport-A3	104,806	3,003	H
Dose-D3*Apport-A2	117,139	2,748	I

10-11-Nombre de feuilles de la fructification à la fin du cycle

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	142671,889	47557,296	2652,070	< 0,0001
Apport	2	5413,810	2706,905	150,953	< 0,0001
Dose*Apport	6	3351,431	558,572	31,149	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-D3*Apport-A2	-42,639	5,139	A
Dose-D3*Apport-A1	-35,944	4,471	B
Dose-D3*Apport-A3	-35,694	8,066	B
Dose-D2*Apport-A2	-20,667	3,545	C
Dose-D2*Apport-A3	-9,000	3,439	D
Dose-D2*Apport-A1	-5,333	2,484	E
Dose-D1*Apport-A2	-4,333	2,124	E
Dose-D1*Apport-A3	-1,667	5,898	F
Dose-D1*Apport-A1	8,000	3,225	G
Dose-T*Apport-A1	10,389	4,11	H
Dose-T*Apport-A2	10,389	4,11	H
Dose-T*Apport-A3	10,389	4,11	H

10-12- Nombre total de feuilles

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	615108,028	205036,009	1065,495	< 0,0001
Apport	2	31424,449	15712,225	81,651	< 0,0001
Dose*Apport	6	40731,569	6788,595	35,278	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A3	28,472	15,713	A
Dose-T*Apport-A1	28,472	15,713	A
Dose-T*Apport-A2	28,472	15,713	A
Dose-D1*Apport-A3	54,028	28,809	B
Dose-D1*Apport-A1	90,361	11,156	C
Dose-D2*Apport-A1	103,194	12,020	D
Dose-D2*Apport-A3	106,083	13,165	D
Dose-D1*Apport-A2	112,861	12,915	E
Dose-D2*Apport-A2	121,306	12,542	F
Dose-D3*Apport-A3	125,556	17,535	F
Dose-D3*Apport-A1	125,889	13,075	F
Dose-D3*Apport-A2	134,583	11,559	G

10-13-Poids de la biomasse aérienne

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	1039869,907	346623,302	434,419	< 0,0001
Apport	2	262508,681	131254,340	164,500	< 0,0001
Dose*Apport	6	234601,856	39100,309	49,004	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	29,444	8,115	A
Dose-T*Apport-A2	29,444	8,115	A
Dose-T*Apport-A3	29,444	8,115	A
Dose-D1*Apport-A1	40,167	6,049	A
Dose-D1*Apport-A2	55,944	16,361	B
Dose-D1*Apport-A3	61,028	11,402	BC
Dose-D2*Apport-A1	69,528	9,874	C
Dose-D2*Apport-A2	85,361	12,880	D
Dose-D3*Apport-A1	103,444	31,360	E
Dose-D3*Apport-A2	129,472	33,922	F
Dose-D2*Apport-A3	144,389	21,014	G
Dose-D3*Apport-A3	239,667	78,102	H

10-14- Longueur de la racine

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	19170,618	6390,206	683,208	< 0,0001
Apport	2	1541,616	770,808	82,411	< 0,0001
Dose*Apport	6	576,292	96,049	10,269	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	11,208	3,153	A
Dose-T*Apport-A2	11,208	3,153	A
Dose-T*Apport-A3	11,208	3,153	A
Dose-D1*Apport-A1	17,278	2,834	B
Dose-D1*Apport-A2	18,278	2,456	BC
Dose-D2*Apport-A1	18,306	2,550	BC
Dose-D2*Apport-A2	19,611	2,949	CD
Dose-D1*Apport-A3	20,167	3,350	D
Dose-D3*Apport-A1	21,750	3,383	E
Dose-D2*Apport-A3	22,611	2,969	EF
Dose-D3*Apport-A2	23,278	3,836	F
Dose-D3*Apport-A3	26,583	3,111	G

10-15-Poids de la biomasse souterraine

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	12236,962	4078,987	792,755	< 0,0001
Apport	2	1152,205	576,102	111,966	< 0,0001
Dose*Apport	6	911,797	151,966	29,535	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A2	3,000	1,798	A
Dose-T*Apport-A1	3,000	1,798	A
Dose-T*Apport-A3	3,029	1,798	A
Dose-D1*Apport-A1	9,611	1,931	B
Dose-D1*Apport-A2	10,583	2,234	BC
Dose-D2*Apport-A1	11,361	2,058	CD
Dose-D1*Apport-A3	11,861	1,659	DE
Dose-D2*Apport-A2	12,556	1,811	EF
Dose-D3*Apport-A1	13,417	1,810	F
Dose-D2*Apport-A3	15,250	2,129	G
Dose-D3*Apport-A2	17,028	3,459	H
Dose-D3*Apport-A3	23,000	3,601	I

10-16- Nombre de bouquet par plante

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	2513,556	837,852	571,375	< 0,0001
Apport	2	149,741	74,870	51,058	< 0,0001
Dose*Apport	6	151,862	25,310	17,260	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A3	1,118	1,171	A
Dose-T*Apport-A1	1,139	1,171	A
Dose-T*Apport-A2	1,139	1,171	A
Dose-D1*Apport-A1	1,333	1,218	A
Dose-D1*Apport-A3	1,500	1,362	A
Dose-D2*Apport-A1	2,667	1,045	B
Dose-D1*Apport-A2	3,278	1,111	C
Dose-D2*Apport-A2	4,361	1,046	D
Dose-D2*Apport-A3	4,972	1,362	E
Dose-D3*Apport-A1	6,139	1,623	F
Dose-D3*Apport-A2	7,500	1	G
Dose-D3*Apport-A3	8,667	1,014	H

10-17-Nombre de fleurs par plante

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	227,782	75,927	82,916	< 0,0001
Apport	2	28,787	14,393	15,718	< 0,0001
Dose*Apport	6	27,264	4,544	4,962	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A3	1,059	0,965	A
Dose-T*Apport-A1	1,083	0,965	A
Dose-T*Apport-A2	1,083	0,965	A
Dose-D1*Apport-A1	1,472	1,362	AB
Dose-D1*Apport-A3	1,694	1,410	BC
Dose-D2*Apport-A1	2,000	1,242	C
Dose-D1*Apport-A2	2,639	0,639	D
Dose-D3*Apport-A1	2,667	0,676	DE
Dose-D2*Apport-A2	2,917	0,554	DE
Dose-D2*Apport-A3	3,000	1,069	DE
Dose-D3*Apport-A2	3,028	0,506	DE
Dose-D3*Apport-A3	3,250	0,439	E

10-18- Nombre de fruits par bouquet

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	168,332	56,111	146,310	< 0,0001
Apport	2	6,792	3,396	8,855	0,000
Dose*Apport	6	3,875	0,646	1,684	0,123

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A3	0,000	0	A
Dose-T*Apport-A1	0,000	0	A
Dose-T*Apport-A2	0,000	0	A
Dose-D1*Apport-A1	0,583	0,806	B
Dose-D1*Apport-A2	0,806	0,786	BC
Dose-D1*Apport-A3	0,917	1,105	CD
Dose-D2*Apport-A1	1,028	0,810	CD
Dose-D2*Apport-A2	1,194	0,749	D
Dose-D3*Apport-A1	1,528	0,506	E
Dose-D2*Apport-A3	1,639	0,487	E
Dose-D3*Apport-A2	1,694	0,467	E
Dose-D3*Apport-A3	1,806	0,401	E

10-19-Poids moyen d'un fruit

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	230171,322	76723,774	212,254	< 0,0001
Apport	2	3730,508	1865,254	5,160	0,006
Dose*Apport	6	14516,876	2419,479	6,693	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	0,000	0	A
Dose-T*Apport-A2	0,000	0	A
Dose-T*Apport-A3	0,000	0	A
Dose-D1*Apport-A3	16,431	17,27	B
Dose-D1*Apport-A1	20,625	27,491	B
Dose-D1*Apport-A2	34,806	31,472	C
Dose-D2*Apport-A1	42,111	31,984	CD
Dose-D2*Apport-A2	45,583	24,941	DE
Dose-D3*Apport-A1	52,806	7,549	EF
Dose-D2*Apport-A3	53,306	13,53	EF
Dose-D3*Apport-A2	55,528	11,0215	F
Dose-D3*Apport-A3	73,611	16,92	G

10-20- Rendement brut

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	147589,041	49196,347	347,502	< 0,0001
Apport	2	13578,305	6789,152	47,956	< 0,0001
Dose*Apport	6	20305,492	3384,249	23,905	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	0,000	0	A
Dose-T*Apport-A2	0,000	0	A
Dose-T*Apport-A3	0,000	0	A
Dose-D1*Apport-A1	3,780	5,589	AB
Dose-D1*Apport-A3	3,802	5,224	AB
Dose-D1*Apport-A2	8,893	8,715	BC
Dose-D2*Apport-A1	10,408	9,278	C
Dose-D2*Apport-A2	16,893	12,133	D
Dose-D2*Apport-A3	26,125	13,790	E
Dose-D3*Apport-A1	30,780	16,232	E
Dose-D3*Apport-A2	42,737	15,313	F
Dose-D3*Apport-A3	69,795	25,345	G

10-21- Rendement net

Analyse Type I Sum of Squares :

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Dose	3	6749,812	2249,937	139,597	< 0,0001
Apport	2	415,834	207,917	12,900	< 0,0001
Dose*Apport	6	1413,010	235,502	14,612	< 0,0001

Regroupements :

Modalité	Moyenne estimée	Ecart-type	Groupes
Dose-T*Apport-A1	0,000	0	A
Dose-T*Apport-A2	0,000	0	A
Dose-T*Apport-A3	0,000	0	A
Dose-D1*Apport-A3	2,185	2,959	B
Dose-D1*Apport-A1	2,696	4,163	B
Dose-D1*Apport-A2	5,942	5,814	C
Dose-D2*Apport-A1	5,995	4,858	C
Dose-D2*Apport-A2	6,667	4,358	C
Dose-D3*Apport-A1	7,305	4,202	CD
Dose-D2*Apport-A3	7,478	3,524	CD
Dose-D3*Apport-A2	9,007	4,392	D
Dose-D3*Apport-A3	15,897	6,449	E

Annexe 11 : Détails des calculs économiques

11-1 Calcul du VAB en Ar si le lombricompost est produit par l'exploitation

Opérations culturales	T	D1A1	D1A2	D1A3	D2A1	D2A2	D2A3	D3A1	D3A2	D3A3
Débroussaillage + dessouchage + épierrage	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700
Terrassement	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300
Nivellement	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Labour + parcellisation	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000
Semence	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Entretien pépinière	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Transplantation	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Engrais	0	36 000	36 000	36 000	72 000	72 000	72 000	124 000	124 000	124 000
Buttage/Apprentir engrais	2 000	2 000	3 000	4 000	2 000	3 000	4 000	2 000	3 000	4 000
Préparation et application "ady gasy"	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800
Arrosage	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000
Effeuillage	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Bararata	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400
Fil	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Ligature	400	800	800	800	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
Récolte	0	500	1 000	500	1 000	1 000	1 000	2 000	2 000	2 000
Consommation intermédiaire	191 200	228 100	229 600	230 100	265 000	266 000	267 000	318 000	319 000	320 000
Rendement brut (1)	0	38	89	38	104	169	261	308	428	698
Prix/Kg	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
PB (1)	0	37 800	89 000	38 000	104 000	169 000	261 000	308 000	428 000	698 000
Rendement net (2)	0	27	59	22	60	67	73	75	90	159
Prix/Kg	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
PB (2)	0	26 960	59 420	21 850	59 950	66 670	73 050	74 780	90 070	158 970
VAB sur Rdt brut	-191 200	-190 300	-140 600	-192 100	-161 000	-97 000	-6 000	-10 000	109 000	378 000
VAB sur Rdt net	-191 200	-201 140	-170 180	-208 250	-205 050	-199 330	-193 950	-243 220	-228 930	-161 030

11-2-Calcul du VAB si le lombricompost est acheté

Opérations culturales	T	D1A1	D1A2	D1A3	D2A1	D2A2	D2A3	D3A1	D3A2	D3A3
Débroussaillage + dessouchage + épierrage	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700	65 700
Terassement	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300	25 300
Nivellement	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000	5 000
Labour + parcel-lisation	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000	31 000
Semence	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
Entretien pépi-nière	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
Transplantation	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000
Engrais	0	45000	45000	45000	90000	90000	90000	155000	155000	155000
Buttage/Appart engrais	2 000	2 000	3 000	4 000	2 000	3 000	4 000	2 000	3 000	4 000
Préparation et application "ady gasy"	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800
Arrosage	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000
Effeuillage	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Bararata	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400	14 400
Fil	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
Ligature	400	800	800	800	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200	1 200
Récolte	0	500	1 000	500	1 000	1 000	1 000	2 000	2 000	2 000
Consommation intermédiaire	191 200	237 100	238 600	239 100	283 000	284 000	285 000	349 000	350 000	351 000
Rendement brut (1)	0	38	89	38	104	169	261	308	428	698
Prix/Kg	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
PB (1)	0	37 800	89 000	38 000	104 000	169 000	261 000	308 000	428 000	698 000
Rendement net (2)	0	27	59	22	60	67	73	75	90	159
Prix/Kg	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
PB (2)	0	26 960	59 420	21 850	59 950	66 670	73 050	74 780	90 070	158 970
VAB sur Rdt brut	-191 200	-199 300	-149 600	-201 100	-179 000	-115 000	-24 000	-41 000	78 000	347 000
VAB sur Rdt net	-191 200	-210 140	-179 180	-217 250	-223 050	-217 330	-211 950	-274 220	-259 930	-192 030

11-3-Temps de travail en HJ

Opérations culturales	T	D₁A₁	D₁A₂	D₁A₃	D₂A₁	D₂A₂	D₂A₃	D₃A₁	D₃A₂	D₃A₃
Débroussaillage + des-souchage + épierrage	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Terassement	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Nivellement	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Labour + parcellisation	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Entretien pépinière	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Transplantation	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Buttage/Apport engrais	1	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
Préparation et applica-tion "ady gasy"	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Arrosage	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Effeuillage	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Palissage	0,2	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Récolte	0	0,25	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	1	1	1
Total	37,7	38,15	38,9	39,15	38,6	39,1	39,6	39,1	39,6	40,1

Annexe 12 : Photographies



Terrain pendant l'aménagement



Préparation du sol



Prélèvement des échantillons de sol



Prélèvement échantillon de lombricompost



Prélèvement d'échantillon de lombricompost



Pépinière après la levée



Pépinière



Trouaison des parcelles



Apport localisé de l'engrais



Transplantation



Phase végétative



Attaque du flétrissement bactérien



Floraison et fructification



Fruits de la tomate



Pesage de la racine



Mesure de la racine