

PROJET ALISOTA

**ESSAI AGRONOMIQUE EN MILIEU PAYSAN ET SUR DISPOSITIF HORS-SOL DES COMPOSTS
ISSUES DU CO-COMPOSTAGE DE DIGESTAT SOLIDE ET DECHETS ORGANIQUES DE LA
DECHARGE D' ANDRALANITRA**

PHASE III

Diffusion à : équipe EPAD-GRET, Chaire Agriculture urbaine, SAMA, Madacompost, MEAH



SOMMAIRE

I.	CONTEXTE	1
II.	OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	1
III.	ZONE DE L'ESSAI	2
IV.	Mise en place et conduite des essais agronomiques	3
IV.1.	Types de spéculatation	3
IV.2.	Types de fumure testés	3
IV.3.	Caractéristique physico-chimique des co-composts	5
IV.4.	Conduite des essais en plein champ.....	5
IV.41.	Identification des participants.....	5
IV.42.	Dispositif expérimental au champ.....	6
IV.43.	Techniques culturales	7
IV.5.	Conduite des essais sur le dispositif hors-sol	8
V.	Suivi des essais	9
VI.	Mode de traitement des données	9
VII.	Résultats des essais agronomiques.....	10
VII.1.	Résultats des essais sur le haricot vert	10
VII.2.	Résultats des essais sur le petsay	14
VIII.	Résultat d'analyse en métaux lourds.....	19
IX.	CONCLUSIONS GENERALES DES ESSAIS ET PERSPECTIVES	21

Ce document constitue le rapport des essais agronomiques sur un dispositif de culture hors- sol et en milieu paysan, des co- composts obtenus à la suite de l'essai de co-compostage du digestat solide et déchets organiques de la ville d'Antananarivo en vue de valider la qualité agronomique de ces nouveaux produits.

I. CONTEXTE

Dans le cadre du projet ALISOTA, des essais agronomiques des sous-produits d'assainissement liquide et solide de la ville d'Antananarivo sont menés depuis 2018 en milieu paysan en vue de la valorisation agricole des déchets. Le résultat de ces essais agronomiques a prouvé l'intérêt d'utilisation du digestat solide en tant que fertilisant agricole grâce à sa richesse en matière azotée. Afin d'améliorer la qualité hygiénique du digestat et fortifier la qualité du compost des déchets organiques, un essai de co-compostage du digestat solide et déchets organiques a été récemment effectué au niveau de la décharge municipale d'Andralanitra dans le cadre de la phase III de l'étude de valorisation agricole des sous-produits d'assainissement. Différents types de ratio de mélange du digestat solide et déchets organiques ont été testés lors du co-compostage ayant produits différents types de co-compost étudiés dans ce présent rapport. En effet, à la fin du co-compostage, il s'avérait nécessaire de vérifier la qualité agronomique de tous les produits obtenus par un essai agronomique pour connaître leurs effets et valeur fertilisante sur des cultures maraichères et permettant ainsi de valider le meilleur ratio de mélange de digestat solide et déchets organiques effectué lors du co-compostage.

II. OBJECTIFS DE L'ETUDE

L'essai agronomique des co-composts a été réalisé sur une période de 3 mois. L'objectif général est d'initier l'utilisation des co-composts et de comparer leur qualité agronomique aux fumures habituelles des paysans et au compost classique produit par MADACOMPOST sur la décharge d'Andralanitra. Cela permettra d'affiner la technique de co-compostage en choisissant le ratio de mélange de digestat solide et déchet organique ayant produit le co-compost le plus avantageux lors des tests agricoles.

Les activités du présent travail ont consisté à :

- Identifier les producteurs participants pour les tests des PRO dans la commune d'Ambohimangakely qui est la zone de production du co-compost
- Former les participants sur le protocole expérimental à suivre
- Réaliser en milieu paysan et sur un dispositif hors-sol des essais de culture avec des co-composts
- Vérifier l'efficacité des co-composts par rapport au compost classique et le fumier des paysans via des suivis phénologique et évaluation de rendement de la récolte
- Vérifier la qualité agronomique de chaque co-compost produit par une analyse physico-chimique en laboratoire
- Evaluer la contamination en métaux lourds des co-composts par des analyses en laboratoire
- Affiner la technique de co-compostage en proposant le meilleur ratio de mélange de digestat solide et déchets organiques issus du résultat des essais agronomiques.

L'objectif perspectif de cette étude est qu'à partir des résultats des essais, la qualité agronomique des co-composts est définie avant leur lancement sur le marché.

III. ZONE DE L'ESSAI

Un double type d'essai de petite envergure sur un dispositif de table hors-sol et en plein champ des paysans a été effectué. L'essai agronomique des co-composts sur dispositif hors-sol a été réalisé au niveau de la décharge d'Andralanitra. Le dispositif hors-sol a été choisi spécifiquement sur la décharge d'Andralanitra pour assurer au maximum l'homogénéité des parcelles pouvant influencer les résultats de rendement de la récolte surtout que le sol est nettement pollué sur ce site. Le sol substrat de culture utilisé a été donc importé depuis un terrain agricole à excaver localisé à l'extérieure de la décharge.

L'installation des tables de cultures trouve aussi profit comme vitrine à l'utilisation des composts produits et l'application de l'agriculture urbaine pour les visiteurs. De par cet intérêt expérimental et vitrine, le choix du dispositif hors-sol pour cette étude se pose aussi pour une raison de sécurité de la récolte contre la divagation des animaux ravageurs sur la décharge d'Andralanitra.

Un deuxième test en parallèle a été effectué avec les paysans de la Commune d'Ambohimangakely dans le Fokontany Betafo qui constitue un majeur bas-fond rizicole de la Commune.



photo 1. Essai en plein champ dans le Fokontany de Betafo

La période d'étude a été marquée par une saison sèche entre le mois de Juillet et Octobre. Les cultures en milieu paysans ont été localisées sur des parcelles en bas-fonds et bas de pente caractérisés par un sol argileux nettement pauvre en matière organique.

IV. Mise en place et conduite des essais agronomiques

IV.1. TYPES DE SPECULATION

Les spéculations utilisées pour cette étude sont le haricot vert et le petsy. Ces légumes ont été choisis pour leur courte durée de récolte d'environ 60 jours. De plus, ils sont aussi bien adaptés à la saison de culture sèche du mois de juillet à Octobre, et au dispositif de table hors-sol d'autant plus qu'ils sont spécialement porteurs de plus-values pour les producteurs locaux.

IV.2. TYPES DE FUMURE TESTES

Chaque essai agronomique effectué au cours de cette étude compare les effets de 3 majeurs types de fumures :

- co-compost de digestat solide avec les déchets
- Compost classique d'Andralanitra
- Fumier

Les paysans ont décidé de ne pas utiliser d'intrants chimiques dans cette étude vue leur propre intérêt à l'agriculture biologique.

Dix types de fumures ont été donc comparés dont :

- 8 types de modalités de co-compost de digestat et déchet organique urbain (M1 à M8) correspondant à nos ratios de mélange lors des essais de co-compostage
- 1 compost de déchet organique urbain produit par MADACOMPOST (M9)
- 1 fumier (M10)

Le fumier est la fumure témoin utilisé.

Le tableau ci-dessous présente les dix modalités de fumures utilisées lors de cet essai:

		COMPOSITION DU CO-COMPOST		
Modalités	TYPE	Déchet organique urbain	Digestat solide	Digestat liquide
M1	Co-compost	2 m ³	1m ³	
M2		3m ³	150 kg	
M3		3m ³	100kg	
M4		3m ³	250 kg	
M5		3m ³	1m ³	360 Litres
M6		3m ³	1 m ³	
M7		4m ³	2 m ³	360 Litres
M8		4m ³	2 m ³	
M9	Compost	6m ³		
M10	Fumier			

Les modalités de l'essai seront orientées sur une comparaison des effets des différents types de fumures (compost, co-compost, fumier). Les composts utilisés sont sur un même dosage d'épandage 30 t/ha sur culture en sol constituant la moitié de dosage de fumier habituellement utilisé par les paysans pour une culture sans engrais chimique. Cette quantité a été épandue en deux temps : avant le semis et à mi-culture.

Sur le dispositif de culture hors-sol, la quantité de compost appliqué a été aussi identique pour M1 à M9 équivaut à 50 t /ha, quantité se rapprochant du tiers du volume de substrat total qui sera incorporée dans un sol pauvre utilisé en hors-sol. La quantité de fumier ajoutée dans M10 a été doublée à 100t/ha vu qu'elle nécessite encore un plus long processus de dégradation dans la culture hors-sol.

IV.3. CARACTERISTIQUE PHYSICO-CHIMIQUE DES CO-COMPOSTS

Les co-composts utilisés dans cette étude ont été analysés au laboratoire de LRI Antananarivo pour savoir leur qualité agronomique. Ces résultats d'analyse permettent d'avoir une comparaison de la qualité des différents PRO et de leurs caractéristiques.

Tableau.1. Résultats d'analyse physico-chimique, LRI 2021

Traitements		C.O (g/kg)	N tot (g/kg)	C/N	NH ₄ -N (mg/kg)	P tot (g/kg)	K tot (g/kg)
M1	Co-compost	169,39	17,35	9,76	87	10,42	2,99
M2		160,60	16,27	9,87	71	9,94	6,23
M3		137,63	13,79	9,92	77	6,86	6,58
M4		139,75	13,14	10,79	61	7,05	5,91
M5		197,18	17,54	11,27	83,5	16,32	10,47
M6		192,76	19,16	10,06	76	14,02	13,73
M7		180,06	17,06	10,55	98	12,90	12,27
M8		191,16	16,96	11,27	100	11,33	11,79
M9	Compost classique	124,61	10,84	11,70	66,5	3,59	7,71
Digestat Ampitatafika	Digestat	328,00	39,74	8,25	275,4	20,28	2,08
Digestat Ambatomaro		415,23	46,89	8,86	221	19,51	2,69

Le digestat se démarque par sa teneur élevée en azote minéral (275 mg/kg) et phosphore (20,28 mg/kg) mais avec un potassium relativement très faible (2 g/kg) par rapport aux composts. L'ajout du digestat solide et liquide lors du co-compostage a significativement augmenté la teneur en azote minéral, la teneur en phosphore ainsi que la vitesse de minéralisation C/N dans les co-composts (M1 à M8) par rapport au compost classique (M9).

Parmi les co-composts, les traitements M5 à M8 de types ratio de mélange 2/1 et 3/1 (correspondant aux volumes déchet organiques et digestat solide) sont les co-composts les plus riches en éléments fertilisants. Ils sont deux fois plus riches en azote minéral, phosphore et potassium que le compost classique M9.

IV.4. CONDUITE DES ESSAIS EN PLEIN CHAMP

IV.4.1. Identification des participants

Les agriculteurs participants aux essais sont des membres d'une association paysanne bénéficiaire du projet PROTANA de l'ONG FERT. Ils ont été sélectionnés d'une part par rapport à leur volonté et expérience à participer à des essais agricoles étant donné le temps imparti pour l'identification

des paysans, et d'autre part pour faciliter la vulgarisation des essais au niveau de l'organisation paysanne existante. Leur contact a été obtenu par le FERT. Malgré une forte motivation des paysans à participer à l'essai, le nombre des participants à l'essai agronomique a été limité sur une parcelle de 10 ares. Cette limite est due à la quantité de co-compost disponible pour l'essai.

Tableau.2. Listes des agriculteurs participants aux essais en plein champ

Nom du paysan	Superficie parcelle	Total superficie	Types de spéculation
RAKOTOMALALA Jean Victor	1,5 are	5.5 ares	petsay
RAZAFINDRAMANANA Jean Pierre	1,5 are		
RAZANAMPARANY Jean Honoré Mampionona	1,5 are		
CLOTILDE	1 are		
RAKOTONIRINAJAONA Philibert	1 are	4.5 ares	Haricot vert
RAKOTOMALALA Olivier Antoine	2 ares		
RAZAFINDRAKOTO Nirina Jean Michael	1,5 are		

IV.42. Dispositif expérimental au champ

On a eu recours à l'expérimentation de plein champ respectant la technique culturale habituelle du paysan en changeant seulement le fertilisant. L'expérimentation consiste à tester sur des placettes d'un même champ l'efficacité des PRO (co-compost / fumier/ compost classique) sur le développement végétatif et le rendement.

Les parcelles des paysans pour la mise en place des essais ont été choisies de manière à ce qu'elles soient le plus homogène possible du point de vue du sol et des pratiques fertilisantes antérieures. Tout de même, en milieu paysan, des hétérogénéités du terrain sont généralement rencontrées (surface irrégulière, gradient d'humidité, culture antécédente différente) pouvant influencer le phénomène étudié et amplifiant ce que l'on appelle la variabilité expérimentale. Vu la petitesse

des parcelles et les 10 types de traitement à comparer, morceler une parcelle en 3 blocs de répétition n'a pas été possible. Toutefois, la réalisation des essais sur plusieurs parcelles situées sur une même zone édaphique constitue une majeure répétition favorable à une analyse statistique des résultats.

Aussi, le protocole expérimental suivi par tous les participants a été identique et impose à ce que toutes les parcelles d'essai respectent les règles suivantes :

- Existence d'un « allée de séparation » ou espace inter-parcelle permettant d'éviter d'une part les interférences entre parcelles élémentaires et bordures car les racines des plantes d'une parcelle élémentaire peuvent déborder sur une autre, ou encore les traitements appliqués à l'une peuvent déborder sur l'autre, puis d'autre part pour faciliter l'accès des parcelles élémentaires
- Homogénéité des semences utilisées.

Des semences certifiées ont été achetées dans le cadre de cette étude et fournies aux paysans.

- Homogénéité de la date et densité de semis ainsi que l'épandage de fumure pour toute la parcelle
- La technique culturale incluant les traitements phytosanitaires ainsi que les entretiens de culture doivent être faite uniformément pour toutes les parcelles

IV.43. Techniques culturales

• Haricot vert

Les parcelles ont été labourées et subdivisées en plusieurs poquets de semis de 20 cm de profondeur. L'écartement des poquets est 20 cm x 20 cm. Un épandage localisé de 0,25 kg de compost ou 0,5 kg de fumier est appliqué dans chaque poquet. Le semis de 5 graines par poquet sur une profondeur de 3 cm à 5 cm a été effectué trois jours plus tard.



Le nombre de poquets par parcelle a été quantifié afin de déterminer le taux de levée par traitement. 15 jours après le semis, les poquets vides ont été ressemés. A mi-stade de développement de la plante, un deuxième apport localisé de fumure a été effectué pour entretenir et booster le développement végétatif. La quantité totale de compost appliquée est de 30 t/ha et le fumier 60t/ha, correspondant respectivement à 0,5 à 1 kg par trous de semis.



photo 2. Semis et épandage localisé d'engrais

- **Petsay**

La technique culturale pour le petsay a été identique à celui du haricot vert sauf sur le nombre de grains semés par tous qui n' a pas été identique entre eux . Une récolte sélective a été faite au fur et à mesure pour éclaircir la densité de semis afin de laisser qu'une seule plante par trous à la fin.

IV.5. CONDUITE DES ESSAIS SUR LE DISPOSITIF HORS SOL

Pour les essais hors-sol, 20 tables de cultures de 1.5m² de superficie ont été installées sur une parcelle à proximité de la plateforme de compostage, parcelle habituellement cultivée par les ouvriers de MADACOMPOST comme parcelle de maraichage dans la décharge d'Andralanitra. Deux types de spéculiation (haricot vert et petsay) ont aussi été testés en hors-sol. Chaque table de culture correspond à un type de fumure. 10 tables ont été dédiées à la culture de haricot vert et 10 autres pour le petsay. Une incorporation totale de la fumure et mélange au sol a été faite en amont avant le semis comme dans le processus de préparation de culture en pot. Aucun deuxième épandage n'a été effectué plus tard. La quantité utilisée pour le compost est de 50t/ha et 100t/ha pour le fumier

photo 3. Préparation des tables de cultures

Pour la culture de haricot vert, chaque table contient neuf poquets de haricot-vert contenant 3 graines par trous. Pour le petsay, la densité de semis est de neuf plants de petsay par table.



V. Suivi des essais

Un suivi phénologique a été effectué au cours de la récolte afin d'évaluer l'évolution et le comportement du végétal durant son cycle de culture face aux conditions du milieu.

Aussi, le rendement a été évalué sur chaque parcelle et l'ensemble de la partie aérienne de la plante a été quantifiée comme biomasse. Les aspects esthétiques de la plante a été aussi évalués car ils font partie des facteurs d'appréciations considérés par les agriculteurs face à l'utilisation d'un nouveau produit. A cet effet, les données quantitatives et qualitatives des suivis ont été analysées pour évaluer l'effet des différentes fumures.

Les paramètres quantitatifs et qualitatifs à relever sont détaillés dans le tableau suivant:

Tableau.3. Paramètres à relever pour le suivi phénologique

Période de mesure	Paramètres quantitatifs relevés	Paramètres qualitatifs relevés
10 jours après le semis	Taux de levée	Coloration foliaire
Pendant la phase de développement	La hauteur de la plus haute feuille	Date d'apparition de la première inflorescence et gousse
	Nombre des feuilles	Taux d'attaque ravageur
Pendant la récolte	Rendement à chaque récolte	-Taille moyenne des gousses pour le haricot vert -Diamètre à mi-hauteur des petsy

VI. Mode de traitement des données

Une analyse statistique des données de suivi phénologique a été effectuée par le logiciel statistique R studio. Des tests ANOVA ou KRUSKAL-WALLIS sont appliqués pour analyser s'il y a une dépendance significative entre les variables quantitatives (paramètres relevés) et les variables qualitatives (les types de fumure). En effet, le test de Kruskal-Wallis est souvent utilisé comme une alternative à l'ANOVA dans le cas où l'hypothèse de normalité n'est pas acceptable. La valeur du p-value calculée indique s'il y a une différence significative entre les effets des traitements sur les paramètres relevés. Si le p-value calculé est inférieur au seuil de signification $\alpha = 0,05$, alors une différence significative existe.

Pour chaque site d'essai, l'analyse des données relevées détermine s'il y a un effet des traitements ou type de fumure en se posant la question : « *Est-ce que les paramètres quantitatifs relevés dépendent des différents traitements? Si oui, quel type de fumure est le plus performant ?* »

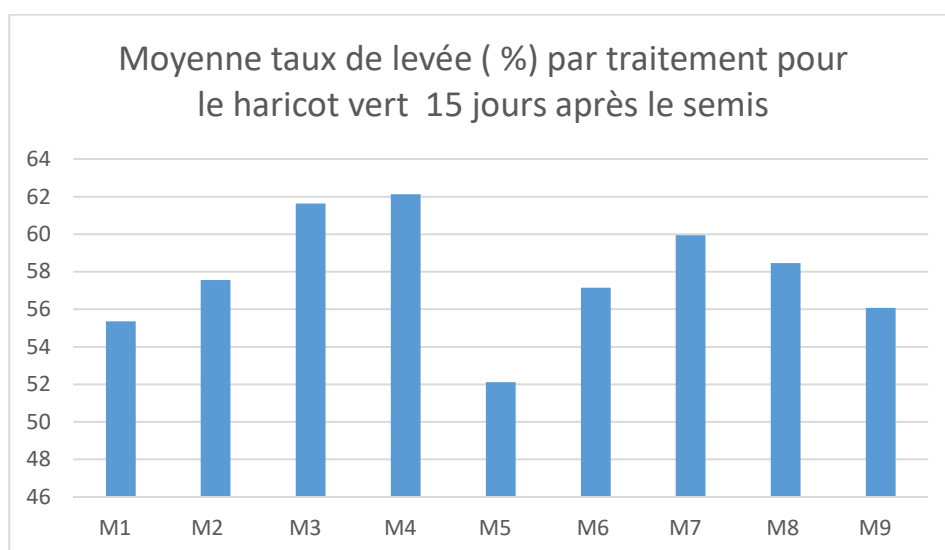
VII. Résultats des essais agronomiques

Cette section de l'ouvrage est dédiée à l'évaluation de la performance agro-économique des différents PRO testés. Les résultats d'analyse statistique des variables collectées en champ sont successivement présentés par types de spéculation.

VII.1. RESULTATS DES ESSAIS SUR LE HARICOT VERT

- **Taux de levée moyenne pour la culture de haricot vert**

Le test de Kruskal-Wallis sur le taux de levée du haricot vert déduit qu'aucune différence significative n'existe entre les résultats des différents traitements pour les 3 sites d'essais en champ et 1 site hors-sol car le p-value est égal à 0,99. L'utilisation du compost classique, co-compost ou fumier n'a donc pas impacté significativement le taux de levée des haricots verts. Les valeurs de taux de levée varient entre 50 à 60% ce qui pourrait être due à la qualité de semence et climat.



- **Hauteur et nombre de feuille des plants de haricot vert**

Les p-values calculés au seuil de signification $\alpha = 0,05$ pour les hauteurs de plants de chaque site d'essai sont présentés dans le tableau ci-dessous

Culture en plein champ			Culture hors-sol
Site d'essai n°1	Site d'essai n°2	Site d'essai n°3	Site d'essai n°4
p-value = 0.98	p-value =0.02	p-value =0.03	p-value =0.0000

Trois essais sur 4 ont montré des résultats significatifs sur l'influence des différents traitements sur la vitesse de croissance en hauteur de la plante de haricot vert. Sur les 2 sites d'essais en plein champ, il est remarqué que les traitements co-composts M5 et M8 ayant respectivement un ratio de mélange 3 :1 et 2 :1 ont similairement doublé la vitesse de croissance en hauteur des plantes par rapport au compost classique et fumier. La hauteur moyenne des plantes est 29 cm pour les traitements M5 et M8 comparée à 15 cm la hauteur obtenue par le compost classique ou fumier. L'usage des co-composts est donc plus avantageux sur l'accélération de la vitesse de croissance par rapport compost classique ou fumier

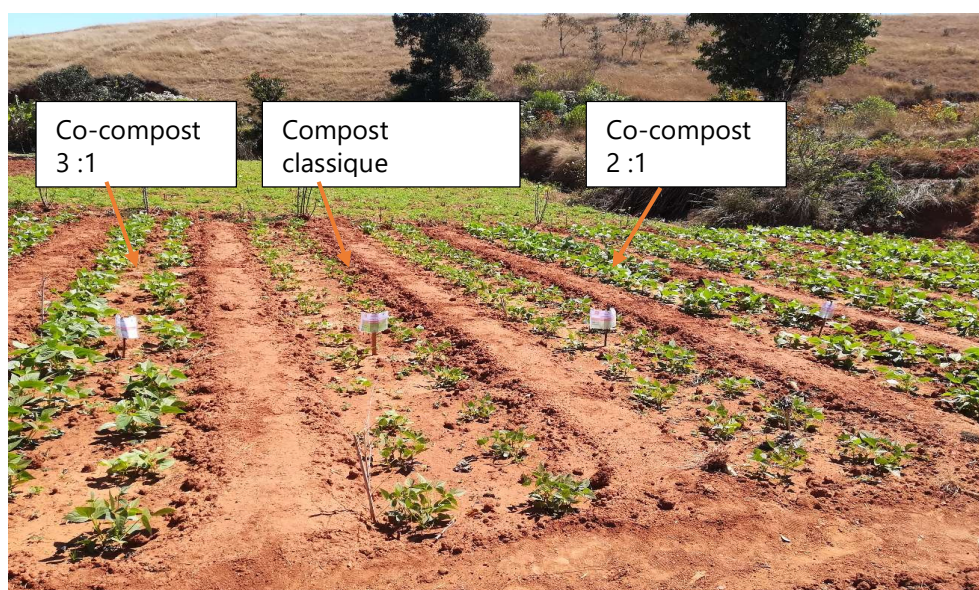
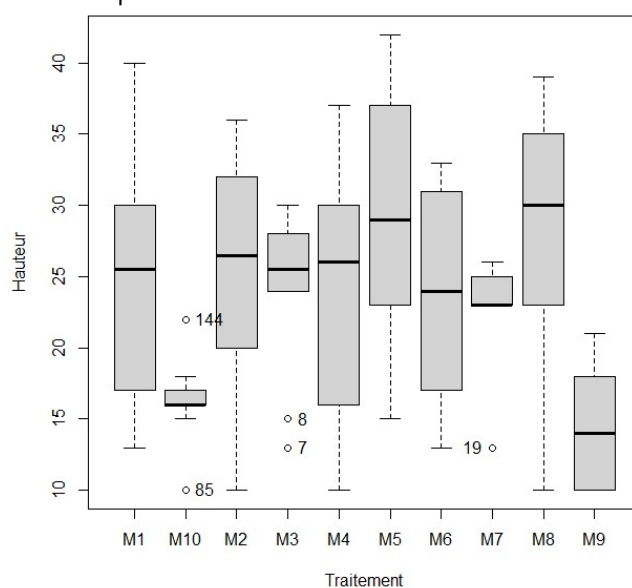
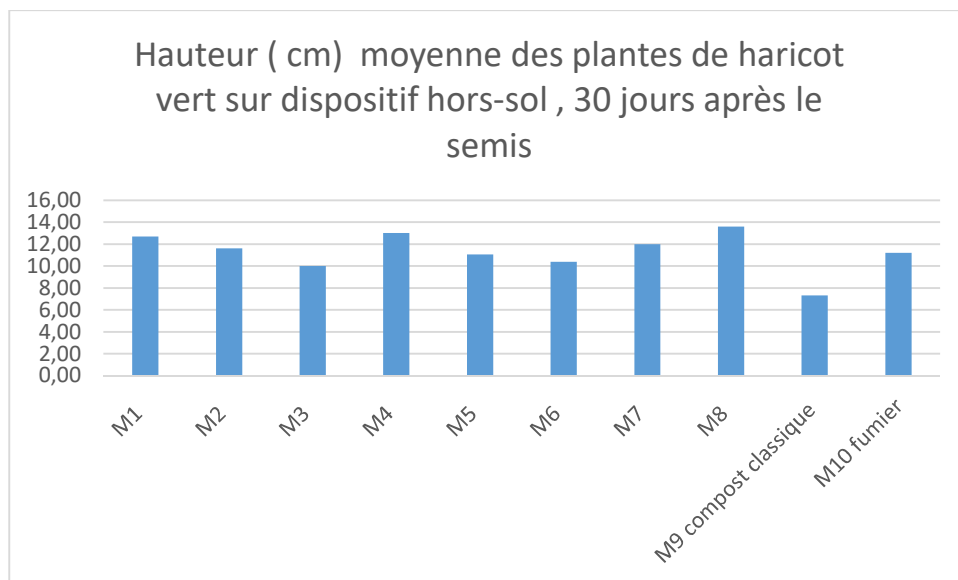


photo 4. Comparaison entre les hauteurs des plantes de haricot vert

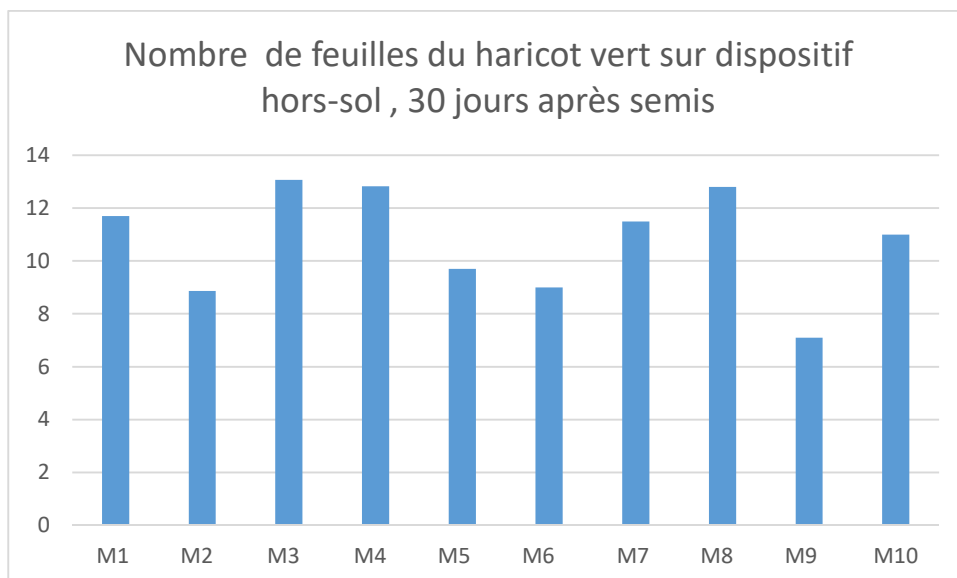
Les résultats du dispositif hors-sol révèlent également que la vitesse de croissance est la plus lente chez la culture de haricot vert fertilisée par le compost classique. La hauteur moyenne des plantes est 7 cm sur le traitement compost classique alors que sur le fumier ou co-compost, elle varie de 10 à 12 cm.



Concernant le nombre de feuille du haricot vert, seule l'essai hors-sol a fourni un résultat significatif entre les traitements selon les p-values du tableau ci-dessous.

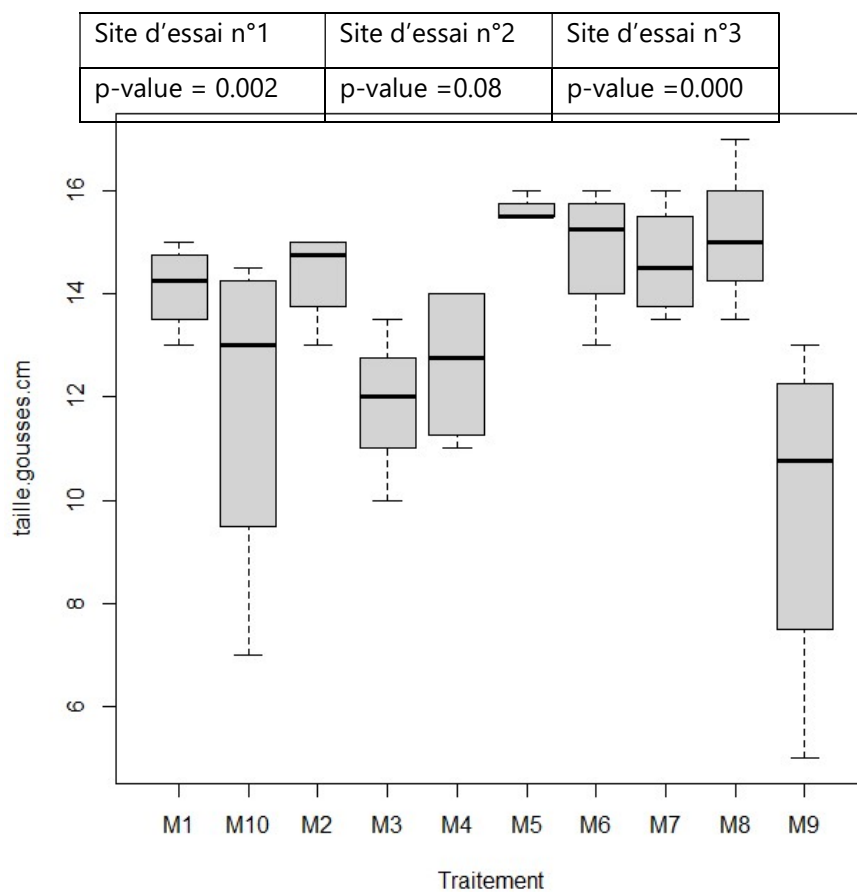
Culture en plein champ			Culture hors-sol
Site d'essai n°1	Site d'essai n°2	Site d'essai n°3	Site d'essai n°4
p-value = 0.99	p-value =0.57	p-value =0.64	p-value =0.0000

Similairement à la hauteur des plantes, l'abondance en feuillage des plantes est aussi le plus faible pour le compost classique comparé aux traitements co-compost et fumier. Les parcelles cultivés avec du co-compost ou fumier présentent des plantes avec 9 à 13 feuilles, alors que ceux du compost classique est moins de 7 feuilles. Ceci témoigne bien la lenteur de croissance de plantes issues du compost classique qui est moins riche en élément fertilisant que le co-compost selon l'analyse physico-chimique effectué.



- **Taille des gousses**

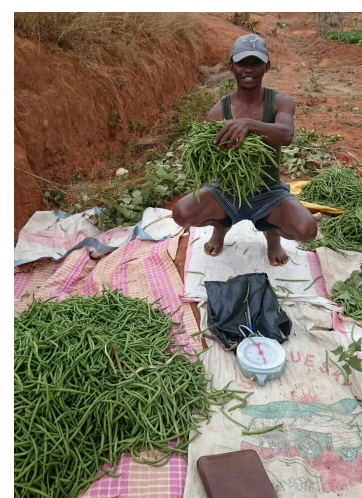
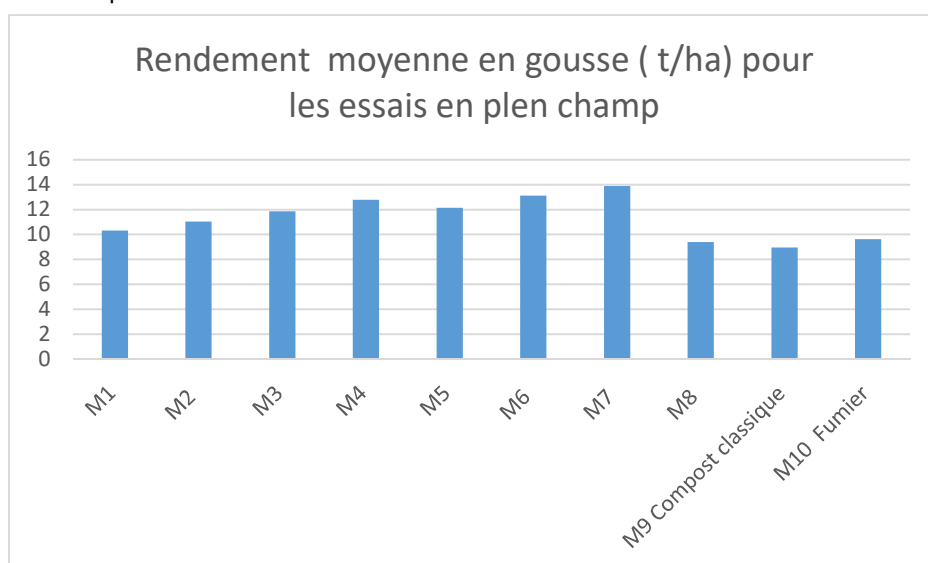
La taille des gousses de haricot vert mesuré pour les 3 sites d'essais en plein champ indique qu'il existe une différence très significative de croissance en gousse entre les traitements. Les gousses de parcelles amendées par les co-composts de ratio 3 :1 et 2 :1 atteignent les 16 cm contre 10 cm pour les gousses des parcelles où on a mis du co-compost et 13 cm pour le fumier.



Aucune donnée de récolte de haricot vert n'a pu être exploitée pour le dispositif hors-sol à cause d'une perte de production suite à l'impact des feux sur la décharge d'Andralanitra.

- **Rendement en gousse**

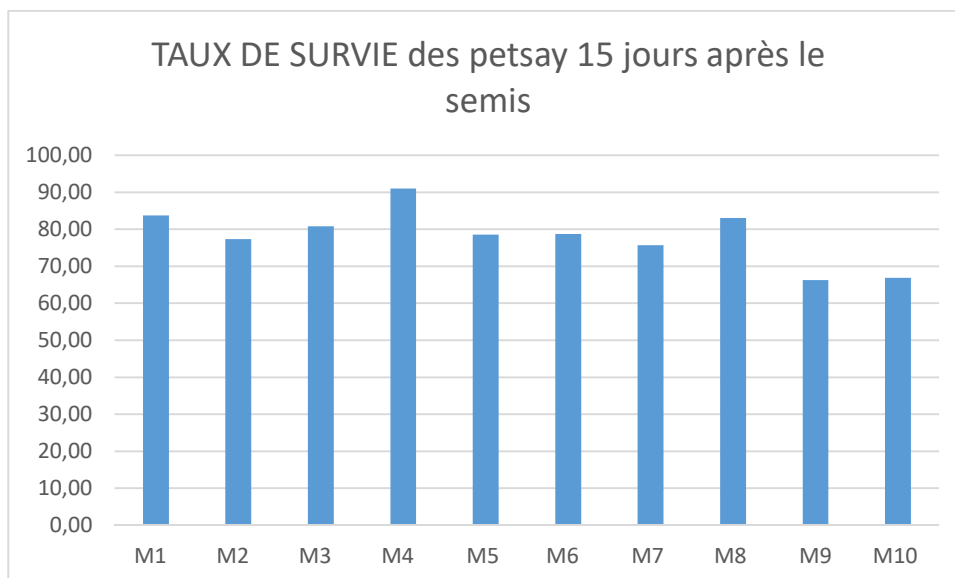
Bien que le p-value calculé pour les rendements en gousse par traitement soit égal à 0,9 pour les essais en champ, on peut déduire des valeurs numériques que les rendements les plus élevés sont fournis par l'usage des co-composts (M1 à M8). En effet, le compost classique ou fumier a permis d'obtenir un rendement maximum de 9 t/ha contre un maximum de 14 t/ha pour le co-compost.



VII.2. RESULTATS DES ESSAIS SUR LE PETSAY

- **Taux de levée moyenne de la culture de petsay**

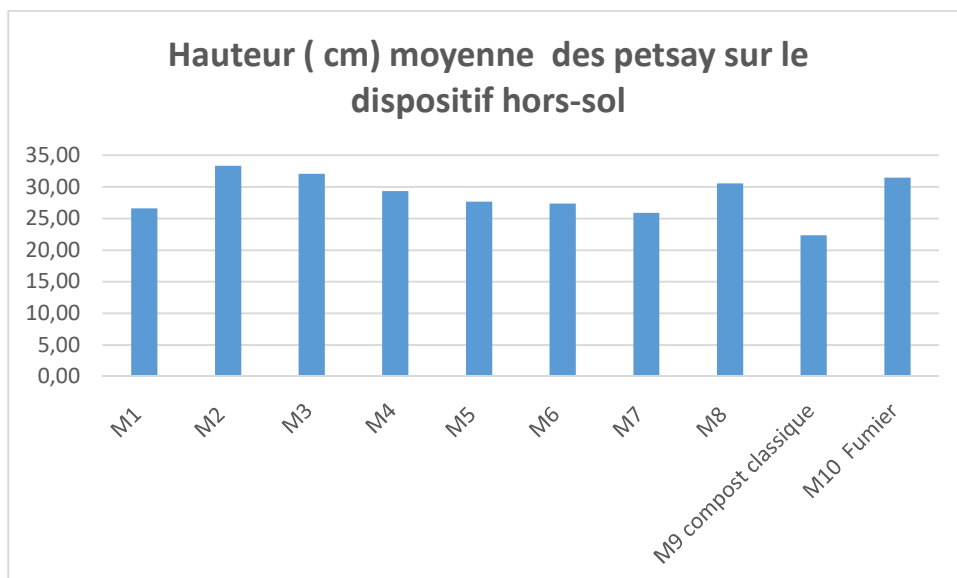
Bien que la valeur de p-value calculée du test de Kruskal-Wallis est supérieure au seuil de signification $\alpha = 0,05$, une simple interprétation des valeurs du taux de levée des traitements 15 jours après le semis pour les 4 sites d'essais en champ et 1 site en hors-sol montre que le taux de levée des tous les essais varie entre 70 à 90 %. Cela est certainement lié à la qualité de semence utilisé.



- **Hauteur et nombre de feuille des plantes de petsay**

Pour les valeurs en hauteur et feuillage des petsay cultivés en champ, les tests statistiques effectués ne concluent pas sur une différence significative entre les traitements. Cela peut être expliqué par la densité de semis de plusieurs graines en poquet qui constitue un facteur compétitif au type de fumure appliqué sur la vitesse de croissance des plants. La technique de semis appliquée par les agriculteurs a biaisé l'analyse statistique pendant la phase d'évolution des petsay car non seulement le nombre de graines semés n'est pas identique par poquet mais aussi un éclaircissement de chaque poquet est réalisé au fur et à mesure pour laisser à la fin qu'un seul plant par poquet.

Par contre, le test de Kruskal Wallis réalisé sur les données des hauteurs et nombre de feuille des petsay cultivés en hors-sol à Andralanitra sont significatifs avec un p-value = 0.000. On observe que les petsay issus du compost classique de déchet organique ont la plus faible vitesse de croissance par rapport aux co-composts et fumier. Sur une même date de mesure, la hauteur des plants issus du compost classique mesure 22 cm si cette valeur atteint entre 25 à 33 cm pour les co-composts et fumier.

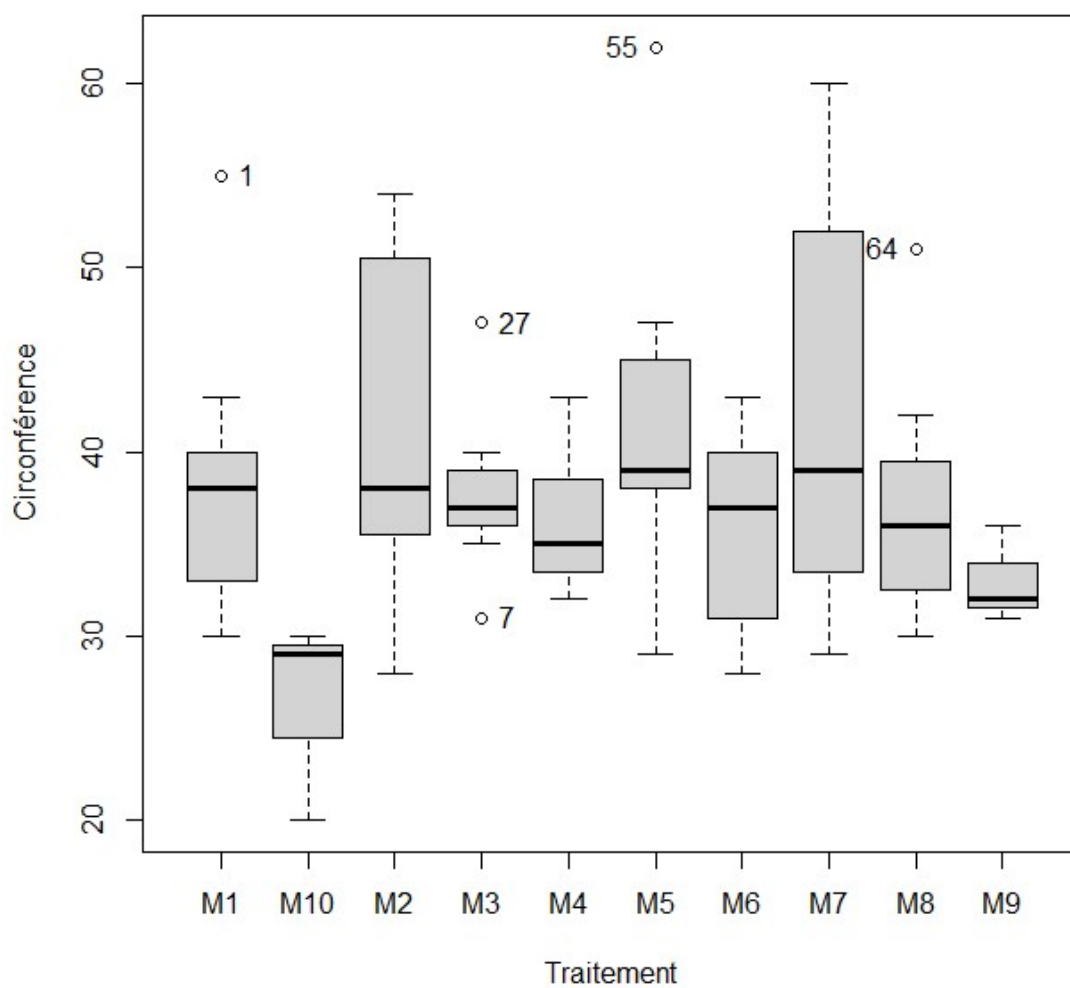


- **Circonférence à mi-hauteur des petsay**

Ce paramètre est facteur primordial influençant la valeur marchande du petsay. Plus le petsay est gros, plus il rapporte un plus- value aux paysans.

Une différence significative existe entre la circonférence à mi-hauteur des petsay cultivés sur tous les sites en plein champ, selon un p-value = 0,09 du test de Kruskal- Wallis.

Les petsay plantés sur les co-composts sont plus gros que les petsay fertilisés par le compost classique et fumier. La taille moyenne des petsay fertilisés par les co-composts de ratio 2 :1 est de 42 cm contre 33 cm pour le compost classique et 26 cm pour le fumier.



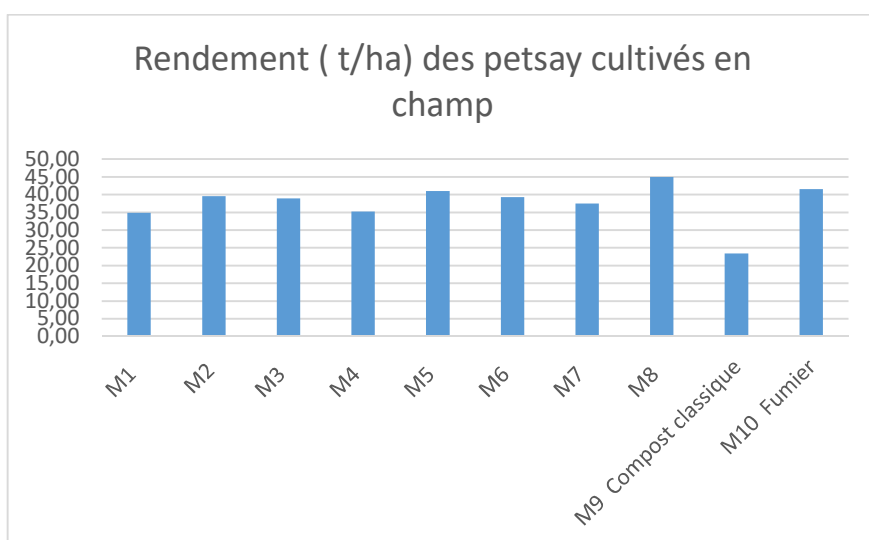
Une comparaison du résultat des circonférences de petsy sur le dispositif hors-sol confirme également que les petsy issus du compost classique et fumier sont de plus petit calibre, 33 cm de taille, par rapport aux petsy cultivés sur le co-compost où la circonférence atteint 40cm.

photo 5. Récolte des petsy sur le dispositif hors-sol



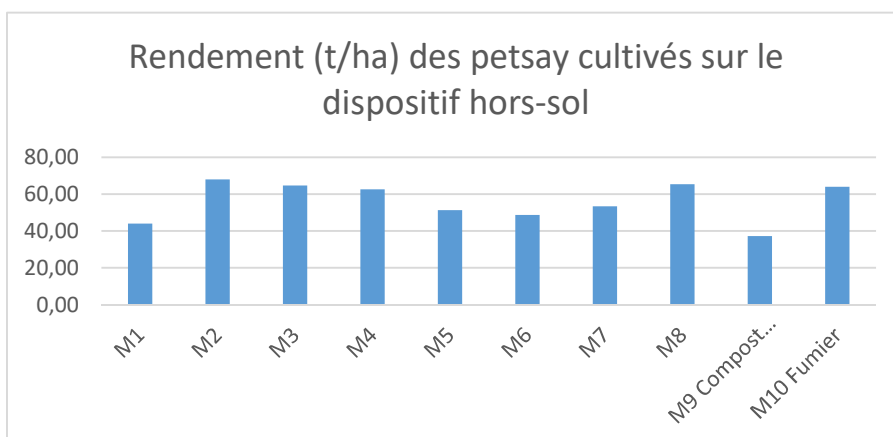
- **Rendement en petsay**

D'un vu global, les meilleurs rendements sont obtenus par les co-composts. Sur les essais de petsay en plein champ, le traitement co-compost M8 dont le ratio de mélange est 2 :1 a quasi-doublé le rendement fourni par le compost classique (M9) de 23 t/ ha en 45 t/ha. De plus, les valeurs de rendement sont en corrélation avec la masse de petsay. Les petsay du co-compost M8 qui a donné 45 t/ha de rendement pèsent en moyenne 2 Kg chacune contre 0,6 kg pour les petsay du compost classique. Le fumier a quasi-donné le même rendement que le co-compost tout en sachant que la quantité de fumier épandue est le double de celui du co-compost.



Traitement	Masse des petsay en kg
M1	0,84
M2	0,90
M3	0,95
M4	0,92
M5	0,94
M6	0,88
M7	0,87
M8	2,01
M9	0,67
M10	0,73

La performance des co-composts sur l'amélioration du rendement des petsay est aussi prouvée sur la culture hors-sol où le co-compost et fumier ont permis d'obtenir un double du rendement issu du compost classique. Un rendement maximum de 68 t/ha de petsay est obtenu par le co-compost et fumier contre 37 t/ha pour le compost classique M9.



VIII. Résultat d'analyse en métaux lourds

Les 9 types de composts utilisés dans cette étude ont été analysés à l'INSTN pour savoir les teneurs en métaux lourds qu'ils contiennent.

Deux échantillons de pètsay non lavés issus respectivement des parcelles co-compost M8 (ratio 2 :1) et fumier du paysan ont été aussi analysés pour évaluer le niveau de transfert de ces métaux lourds dans la plante. Les pètsay analysés proviennent du dispositif hors- sol où aucun traitement phytosanitaire a été appliqué.



Tableau.4. Résultats des analyses des métaux lourds, INSTN 2021

	Fer (Fe)	Titane (Ti)	Manganèse (Mn)	Zinc (Zn)	Stronium (Sr)	Cuivre (Cu)	Plomb (Pb)	Cobalt (Co)	Rudidium (Rb)
	%	Unité en mg/kg							
M1	2,7	3291	1113	489,4	218,5	63,3	70,4	3	62,4
M2	2,8	3478	1223	783	276,2	109,5	65,4	5,5	64,9
M3	2,9	3534	919,6	911,3	220,7	108,1	54,2	3	57
M4	4	3398	1024	1128	232,9	151,2	58,4	7	56,3
M5	2,8	3965	1030	861,5	227,3	106,9	62,6	3	65,8
M6	2,7	3761	983	813,3	230,6	100,2	45,4	3	77,9
M7	3,1	3657	943	772,8	232,9	99,9	51,8	5,4	73,2
M8	4,2	5971	1082	705,2	222,2	101,1	53,6	7,7	67,3
M9	3,5	4067	1218	805,1	296,5	135,4	174,4	3	102,5
Pètsay -M8	369,7	39,1	59,2	106,1	55,8	14	2,1	3	174,2
Pètsay -M10	409,6	59,4	65,6	87	91,9	10,1	2,4	3	104,1
NFU-044-095				600		300	180		

Il ressort des résultats d'analyse que les concentrations en métaux lourds contenus dans les différents composts (M1 à M9) sont inférieures à ceux strictement imposés par la norme NFU-044-095 pour les éléments comme le plomb, zinc et cuivre. A noter que les autres types de métaux ne sont pas exigés dans cette norme.

Le tableau ci-dessus montre également que le compost classique sans digestat solide (M9) présente une teneur risquant en plomb d'une valeur de 174,4 mg/kg très proche de 180 mg/kg imposé par la norme française. Les teneurs en plomb, cuivre et cadmium sont largement plus faibles dans les co-composts comparés aux teneurs contenues dans le compost classique. Cela est expliqué par le fait qu'on a ajouté du digestat solide dans le co-compost, un produit plus net n'enrichissant pas la teneur en métaux lourds. Aussi, il est déduit de cette réduction de métaux lourds dans les co-composts que les déchets urbains sont les sources principales en métaux car ils contiennent plus de déchets toxiques.

Faire du co-compostage réduit la quantité de déchets urbains dans le mélange car on ajoute plutôt du digestat solide au lieu de 100% déchets organiques urbains. Le compostage optimise également le triage lors de sa préparation car le mélange du digestat et déchet organique se fait successivement pendant la formation d'andain, ce qui permet une refinalisation du triage si celui-ci a été mal fait en amont du processus de compostage.

Concernant la teneur en métaux lourds des pètas analysés, les concentrations en plomb 2,1 mg/kg et 2,4 mg/kg dans les deux échantillons de pètas dépassent le seuil maximal imposé par le règlement européen sur les contaminants (CE) N° 1881/2006 qui réglemente, entre autres, les niveaux maximums de métaux lourds contenus dans les légumes feuilles à 0,3 mg/kg pour le plomb. Étant donné qu'il n'y a pas de différence significative entre la teneur en plomb du pètas cultivé sur le co-compost M8 et fumier M10 qui est supposé le plus hygiénique en terme de toxicité en métaux lourds, les sources de contamination en métaux lourds dans la plante de pètas pourraient être associées à d'autres sources de pollution autre que la fumure telle que l'eau d'irrigation proche de la décharge ou poussières émises sur la décharge déposant des traces de métaux sur le substrat de culture. Cela veut dire que si les pètas ont été arrosés par de l'eau propre, la teneur en plomb aurait probablement diminué et leur consommation n'a pas posé un risque pour la santé.

IX. CONCLUSIONS GENERALES DES ESSAIS ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis d'évaluer la performance agronomique des différents types de co-composts produits lors de l'essai de co-compostage de la phase 3 sur des essais en plein champ et sur dispositif hors-sol sans utilisation d'engrais chimique.

Huit types de co-composts de digestat solide et déchet organique ont été comparés au fumier et compost classique sur la culture de haricot vert et petsy. 4 sites d'essai de petsy et 3 sites d'essai pour le haricot vert ont été réalisés avec des agriculteurs en plein champ à Betafo de la Commune d' Ambohimangakely. Parallèlement, un essai hors-sol a été mené sur la décharge d'Andralanitra pour les deux types de spéculations afin de revalider les résultats obtenus en plein champ.

Des contraintes plus ou moins inévitables aient été rencontrées au cours de la réalisation des essais agronomiques, à savoir :

- Variabilité des opérations culturales effectuées par le paysan (date de semis et récolte différentes, entretien cultural) augmentant le risque de biaiser les résultats d'expérimentation en plein champ
- Perte de la récolte de haricot vert sur le dispositif hors-sol à Andralanitra à cause des incendies de la décharge empêchant l'arrosage de la culture

Néanmoins, réalisée sous ces différentes contraintes, cette étude a procuré plusieurs conclusions sur la valeur fertilisante des différents co-composts et sur le meilleur ratio de mélange de digestat solide et déchets organiques à recommander lors du co-compostage grâce au couplage des résultats d'essais agronomiques en plein champ et hors-sol avec les résultats d'analyse physico-chimique des co-composts.

Il ressort de nos essais effectués que les co-composts ont donnés des meilleurs rendements très satisfaisant. Spécifiquement :

- **Sur le haricot vert**, les co-composts à 30t/ha de type M5 et M8 ayant respectivement un ratio de mélange 3 :1 et 2 :1 ont similairement doublé la vitesse de croissance et le rendement par rapport au compost classique 30 t/ha et fumier 60t/ha. Le ratio de co-compost 3 :1 correspondant au volume de déchet organique et digestat solide est assez optimal pour être recommandé pour la culture de haricot vert

- **Sur le petsay,** le co-compost M8 dont le ratio de mélange est 2 :1 en terme de déchet organique urbain et digestat solide a quasi- doublé le rendement fourni par le compost classique (M9) de 23 t/ ha en 45 t/ha. Une augmentation de grosseur des petsay a été aussi observée sur les petsay où l'on a mis du co-compost 2 :1. Ce qui est facteur important sur la valeur marchande de la récolte pour les paysans. Le co-compost de ratio 2:1 est donc plus avantageux pour la production de légumes feuilles requérant un teneur en azote assez élevé.

Les ratios de co-compost 2 :1 et 3 :1 sont donc les meilleurs parmi les huit ratios testés lors de nos essais de co-compostage. L'usage de l'une ou de l'autre est à recommander selon la besoin en nutriment de la plante à cultiver. Si c'est une plante gourmande en azote, le ratio de co-compost 2 :1 est à privilégier.

L'utilisation du co-compost peut être une alternative plus performante à la fertilisation habituelle du paysan d' autant plus que ce type de compost présente également un atout sur la non-utilisation d'engrais minéral qui réduit la vitesse de pourrissement de la récolte et améliore le goût. La richesse en éléments fertilisants des co-composts est également prouvée par le résultat d'analyse physico-chimique élaboré qui a montré une augmentation de teneur en azote et phosphore en corrélation avec l'ajout du digestat dans le mélange de co-compost.

Parallèlement, une réduction de la sévérité des ravageurs a été constatée par les agriculteurs sur les essais effectués liées à l'usage de compost sans engrais chimique car certains sites n'ont même pas eu besoin d'être traité par des produits phytopharmaceutiques. Cela est expliqué par le dosage adéquat de compost apporté à la culture. En effet, l'excès d'apport de fertilisant ou surfertilisation habituellement effectué par les paysans lors de l'emploi de fumier et engrais chimique favorise la verse des plantes et leur sensibilité aux ravageurs.

La présente étude a aussi montré que la contamination en métaux lourds dans les co-composts ne dépasse pas encore les seuils maximaux exigés par la norme européenne. Il a été aussi constaté que le co-compost est moins contaminé en métaux lourds que le compost classique de déchets organiques urbain grâce à l'ajout de digestat qui est nettement moins pollué lors de la préparation. Les récoltes issues des co-composts produites en milieu paysan ne présentent pas de risque pour les consommateurs en termes de métaux lourds.

Par contre, une attention particulière est apportée sur les cultures cultivées en hors-sol sur la décharge d'Andralanitra qui contiennent un teneur en métaux lourds inquiétant à cause de l'utilisation d'eau polluée à proximité de la décharge pour l'irrigation. Cette source d'eau doit être prétraitée avant leur utilisation.

Bien que cette étude ait fourni des informations sur la valeur fertilisante des co-composts, les résultats sur l'effet résiduel ou valeur amendante n'ont pas été encore exploités. Pourtant, la performance d'une fumure organique est aussi évaluée à 50% par son arrière effet sur le sol.

La rentabilité économique liée à l'utilisation des co-composts n'a pas encore de précision. Une étude du coût de production du co-compost s'avère nécessaire afin d'établir un prix de vente pour comparer au prix du fumier et engrais chimique.

Tout cela oriente les perspectives de la présente étude vers l'évaluation des effets post-récoltes des PRO ou d'effectuer ultérieurement des essais sur deux cycles culturaux successifs et un approfondissement de la rentabilité économique des PRO en déterminant aussi le coût de production lors de co-compostage et le taux marginal de rentabilité pour les paysans.