

# *Des Granules Des Roches Volcaniques Combines Avec Du Compost Pour L'Amélioration De La Production Agricole A Madagascar*

Hobiniaina Rakotondrafara<sup>1</sup>, Dimbimalala Ratsarahasina<sup>2</sup>, Zoé Ravaorinirina<sup>3</sup>, Louissette Rasoloniaina<sup>4</sup>, Seta Randriamampionona<sup>5</sup>, Jean de Dieu Ramaroson<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Centre National des Recherches Industrielle et Technologique : Departement Metallurgie et Geologie Appliquée  
Ecole Doctorale Sciences et Technologies de l'Ingénierie et de l'Innovation  
Antananarivo, Madagascar  
email : hobynyn@gmail.com

<sup>2</sup>Centre National des Recherches Industrielle et Technologique : Departement Matériaux et Génie Civil  
Ecole Doctorale Sciences et Technologies de l'Ingénierie et de l'Innovation  
Antananarivo, Madagascar  
email : dimby.ratsara@gmail.com

<sup>3</sup>Centre National des Recherches Industrielle et Technologique : Departement Energetique  
Ecole Doctorale Sciences et Technologies de l'Ingénierie et de l'Innovation  
Antananarivo, Madagascar  
email : rzoemartine@yahoo.fr

<sup>4</sup>Centre National des Recherches Industrielle et Technologique : Departement Metallurgie et Geologie Appliquée  
Antananarivo, Madagascar  
email : rasololili@yahoo.fr

<sup>5</sup>Centre National des Recherches Industrielle et Technologique : Departement Metallurgie et Geologie Appliquée  
Antananarivo, Madagascar  
email : randriaseta@yahoo.fr

<sup>6</sup>Centre National des Recherches Industrielle et Technologique : Departement Matériaux et Génie Civil  
Ecole Doctorale Sciences et Technologies de l'Ingénierie et de l'Innovation  
Antananarivo, Madagascar  
email : ddramaro@yahoo.fr



**Résumé – 46,5% des sols à Madagascar sont des sols ferralitiques, pauvres en éléments fertilisants ce qui nécessitent l'apport d'amendement fertilisant volcaniques de la région d'Itasy, réputés fertiles pour améliorer leur fertilité et leur rendement agricole. Or les poudres volcaniques combinées avec des matières organiques sont volatiles, facilement lessivées et néfastes pour la santé des agriculteurs. Ainsi, nous avons fait une étude de la granulation de ces poudres volcaniques pour la réduction de la pollution, l'hygiène de travail, l'amélioration de la condition de transport et la santé des utilisateurs.**

**L'objectif de ce travail est d'élaborer une granulation des poudres de roches volcaniques et de compost en utilisant un liant tels que le digestat, l'épluchure et la féculé de manioc d'une part et d'autre part, d'évaluer les granulés obtenus sur la culture d'haricot. Des essais expérimentaux ont permis de déterminer teneur optimale du liant de 18%, 20%, 21% et 23% pour formuler quantitativement les granulés comme amendement fertilisant. Des analyses chimiques des granulés ont montré l'existence des éléments fertilisants majeurs et**

mineurs nécessaires au développement de la plante. Pour évaluer l'effet des granulés sur la culture d'haricot en pots, nous avons constaté que les plantes se sont bien développées en hauteur, en nombre de feuilles et en graines. Par conséquent, le meilleur rendement correspond aux granulés de l'épluchure de manioc EM avec 1,76T/ha même si ses feuilles sont infestées par des moucheron. En effet, ces granulés peuvent bien être utilisés comme amendements fertilisants pour les sols appauvris.

**Mots clés –** *Liant, Amendement, Fertilisant, Rendement, Haricot*

**Abstract –** In Madagascar, 46.5% of the soil is ferrallitic, poor in fertilising elements, which requires the use of volcanic fertiliser amendments from the Itasy region, which are reputed to be fertile, to improve fertility and agricultural yield. The volcanic powders combined with organic matter are volatile, easily dissolved and damaging to the health of farmers. Therefore, we have studied the granulation of these volcanic powders for the reduction of pollution, work hygiene, improvement of the transport condition and the health of the users.

The objective of this work is to develop a granulation of volcanic rock powders and compost using a binder such as digestate, peelings and cassava starch on the one hand, and on the other hand, to evaluate the granules obtained on the bean crop. Experimental tests determined the optimal binder content of 18%, 20%, 21% and 23% for the quantitative formulation of the granules as a fertilizer amendment. Chemical analyses of the granules showed the existence of major and minor fertilizing elements necessary for plant development. To evaluate the effect of the granules on the bean crop in pots, we found that the plants developed well in height, number of leaves and seeds. Therefore, the best yield corresponds to the EM cassava peel granules with 1.76T/ha even if its leaves are infested by midges. In effect, these granules can be used well as fertilizer amendments for impoverished soils.

**Keywords –** Binder, Amendment, Fertilizer, Yield, Bean.

## I. INTRODUCTION

Comme la majorité des sols à Madagascar, soit 46,5%, est caractérisée par des sols ferrallitiques[1], ce sont des sols rouges riches en oxyde de fer et en alumine. Ces sols généralement acides et pauvres en éléments fertilisants sont à faible productivité et sujets à la dégradation [2] entraînant la diminution de la production agricole. En effet, L'utilisation de produits volcaniques d'Itasy dans la commune d'Analavory comme intrants agricoles naturels améliore certains paramètres physicochimiques de fertilité des sols ferrallitiques[3]. En effet, Les régions riches en roches volcaniques sont particulièrement fertiles [4]. C'est pourquoi nous avons utilisé ses poudres de roches volcaniques comme fertilisants pour la reminéralisation des sols appauvris [5]. Elle est combinée à du compost participant à l'entretien des propriétés physico chimique et biologique du sol. Toutefois, ces poudres pulvérulentes sont néfastes pour la santé des utilisateurs en agriculture, de plus elles sont facilement lessivées et volatiles[6]. Pour pallier à ces inconvénients, nous les avons à transformer en granulé. Ces derniers consistent à traiter ces poudres de roches volcaniques plus compost avec différents types de liants tels digestat, l'épluchure de manioc et la fécule de manioc. Ces granulés diffusent lentement et libèrent les éléments fertilisants dans le sol au fur et à mesure que la plante en a besoin [7]. Un des points fort de la granulation est la protection de la santé contre les poussières de poudres de roches volcaniques et de compost. L'objectif de cette étude est de déterminer le granulé le plus efficace pour l'agriculture. Dans le but d'évaluer les différents granulés testés, nous avons effectué une série d'expérience. Il s'agit de définir la teneur ou le type de liant efficace et de faire des essais de culture d'haricot en pot pour évaluer leur rendement respectif.

Le suivi et le résultat des expérimentations permettent de mettre en évidence l'impact éventuel des granulés par rapport à la poudre de roche volcanique plus compost.

## II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2.1. Matériels utilisés

Plusieurs matériels ont été utilisés pendant les expérimentations sur l'élaboration et le contrôle de la qualité des granulés ainsi que sur l'application à la culture.

#### 2.1.1. Matériels d'élaboration des granulés

Les matériels utilisés pour l'élaboration et le contrôle de la qualité des granulés sont : la balance électronique, le broyeur à marteau, le tamis et l'extrudeuse. Deux matériels de la fabrication des granulés ont été conçus et réalisés au laboratoire tel que le broyeur à marteau et l'extrudeuse manuelle.



Fig. 1 : Balance électronique: pour le pesage des matières premières



Fig. 2 : Broyeur à marteau : pour obtenir des fines particules



Fig. 3 : Tamis : pour le tamisage



Fig. 4 : extrudeuse conçue : pour la fabrication des granulés

### 2.1.2. Matériels utilisés pour les essais de culture

Quelques matériels ont été utilisés pour effectuer l'expérimentation tels que :

- Pot plastique de 10 litres
- Mètre ruban
- Bêche
- Balance électronique
- Matériel végétal : haricot blanc

### 2.2. Méthodologie

La méthodologie adoptée pour la fabrication des granulés est de varier le type et la teneur en liant dans le mélange de poudre de roche volcanique et de compost afin de déterminer la composition des granulés efficaces pour les cultures.

#### 2.2.1. Préparation et traitement des matières premières

Les matières premières utilisées pour effectuer cette étude sont :

- Les roches volcaniques
- Le compost
- Les liants :
  - ✓ Digestat
  - ✓ Epluchure de manioc
  - ✓ Fécule de manioc

Les différentes matières premières ont subi des traitements selon les besoins de leur utilisation.

Le tableau ci-dessous montre les provenances et les traitements des matières premières réalisés dans le cadre de ce travail.

Tableau 1 : provenance et préparation des matières premières

<b>Matières premières</b>	<b>Lieu de provenance</b>	<b>traitement</b>
Roches volcaniques	Gisement d'Ambatondramijay, région Itasy, commune d'Analavory.	Broyage, tamisage
Compost	Décharge d'Andralanitra, commune urbaine d'Antananarivo.	Broyage, tamisage
Digestat ou résidu de biogaz	Laboratoire du département énergétique du CNRIT	Fermentation méthanique de la bouse de vache.
Epluchure de manioc	Ecole Primaire Publique d'Ambohidrapeto	Fermentation anaérobie des épluchures de manioc pendant 10 jours
Fécule de manioc	Achat des déchets de manioc auprès des marchands de légumes à Soanierana	Fermentation aérobie du tubercule de manioc râpé

Les caractéristiques chimiques ont été déterminées au laboratoire de FOFIFA dont les méthodes d'analyse de détermination des teneurs en éléments chimiques sont les suivantes :

- Azote total (N) par la méthode Kjheldal ;
- Phosphore (P total ou P Olsen) par la méthode Olsen ou méthode au bleu ;
- Potassium (K) par la photométrie de flamme ;
- Calcium (Ca) et Magnésium (Mg) par un spectromètre d'absorption atomique ;
- Carbone (C) par l'oxydation d'une solution de bichromate de potassium.

La mesure de pH a été effectuée avec le pH eau.

### **2.2.2. processus de fabrication des granulés**

Les masses des poudres de roches volcaniques et le compost ont été retenues constantes pendant toute l'opération, soient 200g de chaque.

Après différentes séries d'expérimentations sur la détermination de la teneur adéquate en liant, les quatre valeurs suivantes de 18%, 20%, 21% et 23% ont été gardées, montrant la plus grande consistance des granulés. Pour la suite, ces quatre valeurs ont été appliquées sur les trois types de liant suivants :

- le digestat
- la fécule de manioc
- l'épluchure de manioc

Le mode d'agglomération à froid, sans traitement thermique, utilisant un liquide fluide appelé liant a été le mode adopté. Pour ce faire, les poudres de roches volcaniques et de compost avec la teneur en liant respectif ont été mélangées et malaxées. Ces mélanges ont été introduits dans la machine de compactage pour former les granulés. Ce processus est récapitulé par la figure suivante :

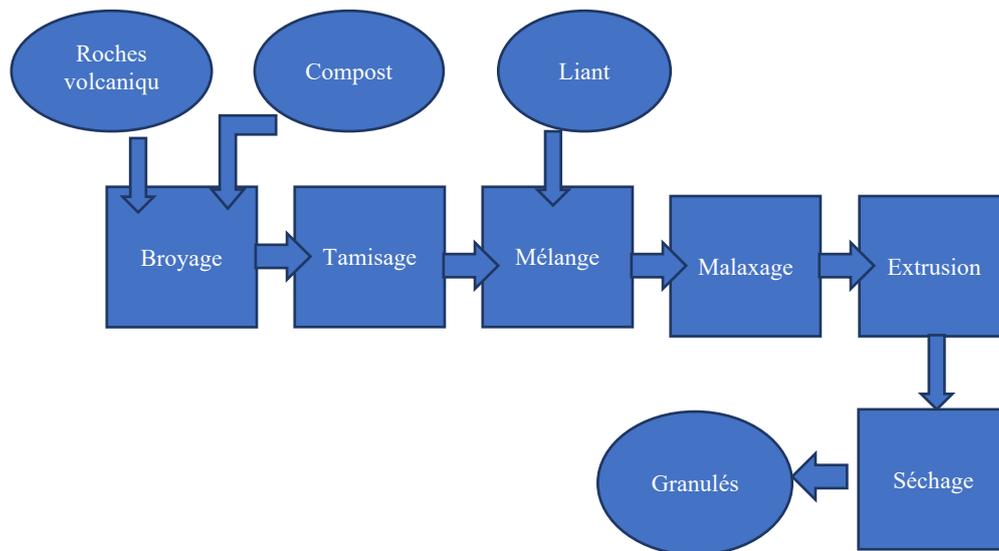


Fig. 5 : processus de fabrication des granulés

### 2.3. Contrôles de la qualité des granulés

Pour évaluer la qualité des granulés, nous avons effectué trois tests :

- Mode de séchage ;
- Masse volumique apparente ;
- Drop test ;
- Caractéristiques chimiques

#### 2.3.1. Mode de séchage :

A la sortie de l'appareil de granulation, une étude a été faite pour le séchage des granulés avant leurs manipulations. Deux modes de séchage ont été choisis : l'un au soleil et l'autre à l'air libre. Le temps nécessaire pour le séchage est un facteur essentiel pour leur production.

#### 2.3.2. Détermination de la masse volumique apparente

Cette étude a une influence sur l'épandage du fertilisant [8]. Selon le mode opératoire défini par la norme EN 1097-3, Il s'agit du poids d'un litre de l'échantillon sans tassement placé dans un récipient en verre [9]. C'est la masse des granulés occupant un récipient donné d'un litre volume.

La masse volumique apparente en vrac  $\rho_v$  se calcule par la relation suivante :

$$\rho_v = (M_n - M_o) / V \quad (1)$$

$M_n$  : la masse de l'échantillon à laquelle s'ajoute celle du récipient

$M_o$  : la masse du récipient.

$V$  : volume du récipient.

#### 2.3.3. Drop test

Cette expérimentation permet d'évaluer la résistance au choc des granulés lors du transport. Pour le réaliser, nous avons pris 10 échantillons de 3 cm de longueur, pour chaque type de granulés. Puis, on prend un échantillon et on le pèse. Ensuite, on le fait tomber à une hauteur de 0,50 m puis 1 m ensuite 1,50 m et enfin 2 m. Après, on identifie le plus grand morceau de chaque essai.

### 2.3.4. Méthodes d'analyse chimique des granulés

Les méthodes d'analyses chimiques des granulés sont les mêmes que les analyses chimiques des matières premières.

### 2.4. Application des granulés sur la culture d'haricot

La culture en pot est une étude préliminaire qui nous a permis de suivre de près le développement végétatif de la plante. L'objectif de cette expérimentation est d'identifier le meilleur type de granulé ayant un effet positif sur la culture d'haricot, qui donne le meilleur rendement. Nos expérimentations ont été réalisées sur les plants d'haricot, de la variété *Phaseolus vulgaris* Linné, croissant dans des pots remplis de sols ferrallitiques prélevés à Ambanidia dans la commune d'Antananarivo ville. Ces pots ont été perforés à la base pour permettre l'évacuation de l'excès d'eau.

Cinq types de traitements ont été réalisés avec trois répétitions chacune. Dans chaque pot, on a semé trois graines d'haricots. A la fin, on a recouvert légèrement de terre. La profondeur du semis est de 3 à 5 cm. Ces traitements sont récapitulés par le tableau suivant :

Tableau 2 : Récapitulatif des traitements effectués et les numéros des pots

Traitement	T0	T1	T2	T3	T4
N° pot	1, 2, 3	4, 5, 6	7, 8, 9	10, 11, 12	13, 14, 15
Ajout	Sans ajout	8 g de poudre de roche volcanique plus compost	8 g de granulés de roche volcanique plus compost avec digestat D18	8 g de granulés de roche volcanique plus compost avec épiluchure de manioc EM23	8 g de granulés de roche volcanique plus compost avec fécule de manioc liquide FL21

Le semis de l'haricot a été réalisé pendant la faible pluviométrie. Or, la culture d'haricot nécessite certaine humidité alors un arrosage presque tous les jours a été faite pour le bon développement de la plante.

L'observation a été faite presque tous les jours. Pour évaluer l'efficacité de la fertilisation, nous avons considéré quelques paramètres tels que :

❖ Paramètres qualitatifs :

- Hauteur de la plante, par la mesure de la hauteur des plants
- Nombre de feuilles, en comptant le nombre de tri folios
- Maladies de la plante est caractérisée par des taches sur les feuilles. C'est pourquoi nous avons compté le nombre de feuilles infestées

❖ Paramètres quantitatifs :

- Taux de germination est le rapport entre le nombre de graines semées et le nombre de graines levées
- Rendement en grains sec : C'est la quantité de grains secs par unité de surface soit en g/m<sup>2</sup> soit en kg/ha soit en T/ha. C'est à la fin de la récolte que nous avons déterminé le rendement de l'haricot après avoir pesé les graines d'haricots secs récoltées.

## III. RÉSULTATS

### 3.1. Caractéristiques physico-chimiques des matières premières

#### 3.1.1. Caractéristiques physiques des matières premières

La détermination des caractéristiques physiques des matières premières ont été effectuées au laboratoire du CNRIT. Elle consiste à déterminer leur état, la couleur, la densité de chaque matière première. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 3: Caractéristiques physiques des matières premières utilisées

Matières premières	Etat	couleur	taille	densité
Roches volcaniques	Poudre	Grise noire	≤0,2mm	1,4
Compost	Poudre	noire	≤0,2mm	1
Digestat	Solution hétérogène visqueuse	sombre	6% de masses solides	1
Epluchure de manioc	Solution hétérogène visqueuse	sombre		1
Fécule de manioc	Solution homogène	claire		1

Les différentes matières premières ont de couleur sombre sauf la féculé de manioc ce qui paraît indiquer qu'elles contiennent de matières organiques.

Les roches volcaniques et le compost sont à l'état de poudre favorable à l'adjonction de deux liants visqueux.

Les densités des liants sont identiques à celles de l'eau.

### 3.1.2. Caractéristiques chimiques des matières premières

Le tableau ci-dessous montre les caractéristiques chimiques des matières premières

Tableau 4 : Caractéristiques chimiques des matières premières

Matières premières	pH	Eléments totaux (%)						
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	C	C/N
Roches volcaniques	7,56	0,04	0,34	1,55	3,73	4,09	0,16	4
Compost	9,27	1,59	0,98	0,65	8,82	1,86	15,98	10,05
Digestat	6,9	0,19	0,46	0,13	0,21	0,13	2,33	12,26
Epluchure de manioc	8,57	2,62	0,83	2,77	1,79	1,16	28,95	11,05
Fécule de manioc	3,68	63ppm	1,22	0,21	0,02	0,02	-	-

Toutes les matières premières sont alcalines sauf la féculé de manioc qui est acide.

Le compost est riche en CaO et C par rapport aux autres différentes matières premières.

La teneur en C de l'épluchure de manioc est la plus élevée. La teneur en N de la féculé de manioc est la plus faible.

### 3.2. Contrôle de la qualité des granulés

Après les essais de fabrication, les granulés ne se sont pas formés pour la féculé de manioc avec la teneur 18% et l'épluchure de manioc de 18%

#### 3.2.1. Mode de séchage

- Au soleil

Les granulés se séchent rapidement mais ils s'effritent facilement au moindre choc.

- A l'air ambiant

Tous les granulés ont été séchés à l'air ambiant avant d'être manipulés, les Figures suivantes montrent l'évolution de la masse des granulés par rapport au temps lors de la période de séchage. Les Fig. ures suivantes montrent l'évolution du séchage des différents types de granulés avec leur teneur en liant :

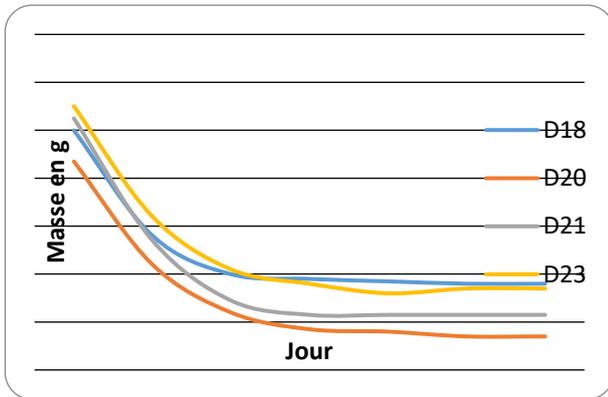


Fig. 6 : Evolution du séchage des granulés liés avec le digestat (D)

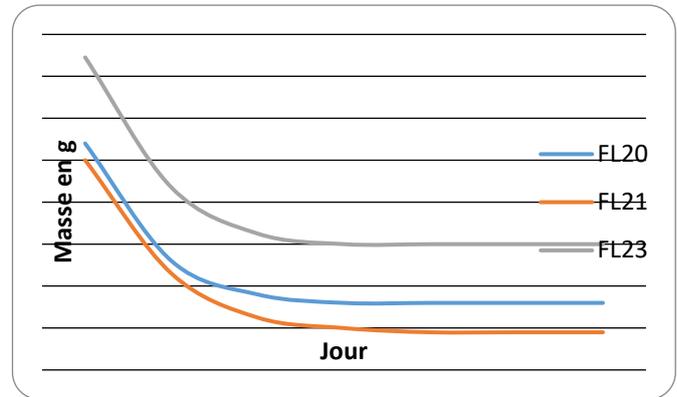


Fig. 7 : Evolution du séchage des granulés liés avec la fécula de manioc (FL)

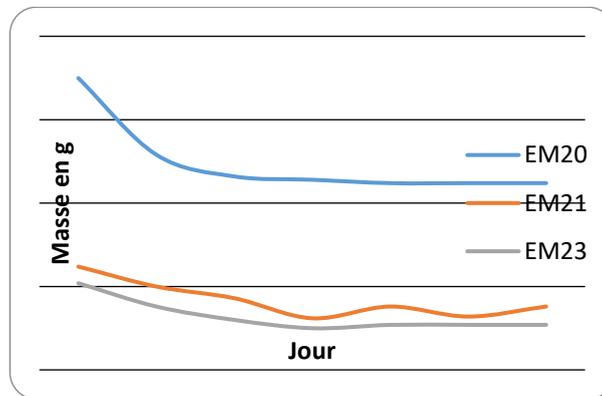


Fig. 8 : Evolution du séchage des granulés liés avec d'épluchure de manioc(EM)

D'après les Fig. 6, 7 et 5, toutes les courbes ont une allure presque identique. Les masses des granulés diminuent considérablement pendant les 3 premiers jours et elles sont presque constantes à partir du troisième jour. En d'autre terme, les granulés sont secs et prêts pour la manutention à partir du 3<sup>ème</sup> jour.

### 3.2.2. Masse volumique apparente

Le résultat de la masse volumique des granulés respective est montré par les figures suivantes. Chaque figure respective représente les différents types de granulés et la teneur en liant.

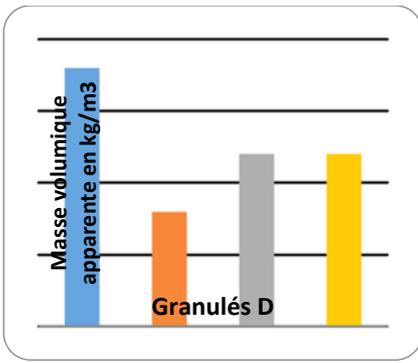


Fig. 9 : Masse volumique apparente des granulés D

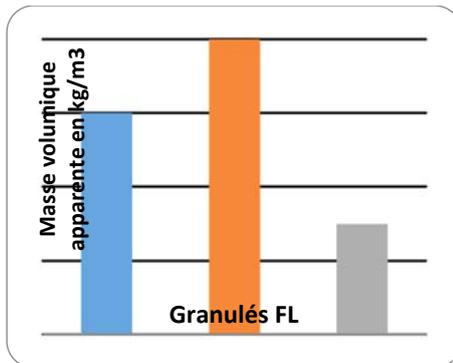


Fig. 10 : Masse volumique apparente des granulés FL

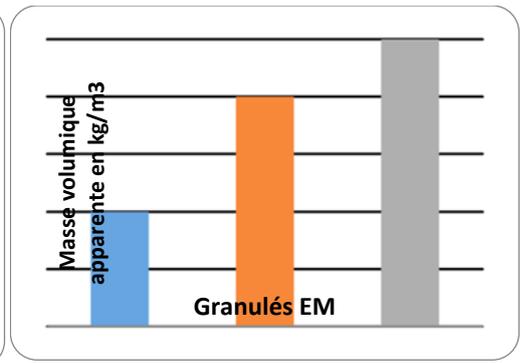


Fig. 5 : Masse volumique apparente des granulés EM

D'après les figures ci-dessus, les granulés D18, FL 21 et EM 23, c'est-à-dire liés avec 18% de digestat, 21% de fécule de manioc et 23% d'épluchure de manioc, ont les masses volumiques apparentes les plus élevées. Les granulés D20, FL 23 et EM20 ont les masses volumiques les plus faibles.

### 3.2.3. Drop test

Le résultat obtenu ci-après montre la moyenne des masses des cinq répétitions après la chute.

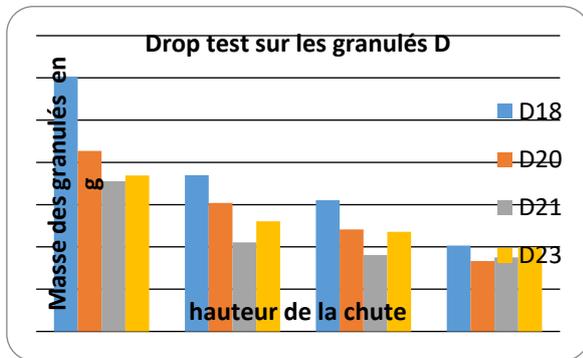


Fig. 6 : Drop test des granulés D

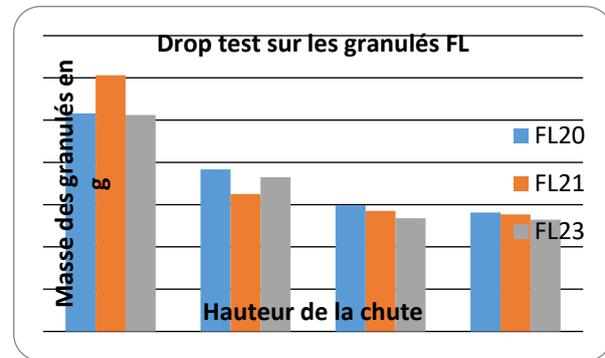


Fig. 13 : Drop test des granulés FL

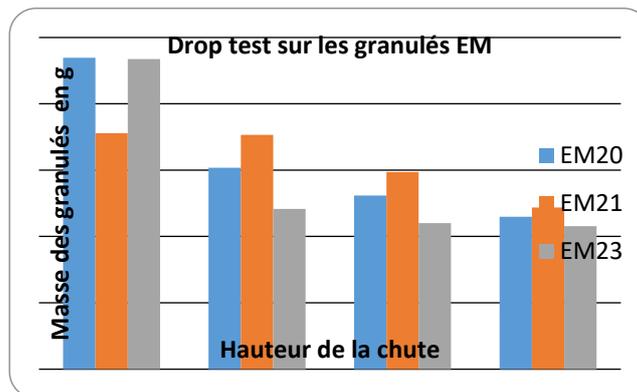


Fig. 7 : Drop test des granulés obtenus avec le liant épluchure de manioc

Les figures 12, 13 et 14 montrent que les granulés D18, FL21 ainsi que EM 23 ont les meilleurs résultats qui ont les plus grands morceaux lors de la chute de 0,50 m avec des taux respectifs de 81%, 76% et 65%.

- Pour les chutes de 1 m, 1,50 m et 2 m, nous constatons que les plus grands morceaux des granulés correspondent aux granulés de D20, FL23 et EM21.

En considérant les meilleurs résultats sur la masse volumique et sur le chute à 0,50m des granulés, les granulés D18, FL21 ainsi que EM 23 ont été choisis pour les analyses chimiques.



Fig. 8 Granulé D

### 3.2.4. Résultats sur les caractéristiques physico-chimiques des granulés obtenus

#### 3.2.4.1. Propriétés physiques des meilleurs granulés pour chaque type de liant

Suite aux résultats des tests physiques, nous avons sélectionné le meilleur échantillon pour chaque liant pour les analyses chimiques des granulés. Les caractéristiques physiques de ces granulés sont récapitulées ci-après :

Tableau 5 : Propriétés physiques des granulés choisis

Type de liant	Etat	couleur	Taille des granulés après séchage	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Granulés non cassés à 0,50 m de chute (%)
Digestat	granulé D18	Grise noire	Diamètre : 3 mm Longueur : 1-3 cm	730	81
Fécule de manioc	Granulé FL21	Grise noire	Diamètre : 3 mm Longueur : 1-2 cm	700	76
Epluchure de manioc	Granulé EM23	Grise noire	Diamètre : 3 mm Longueur : 1 cm	710	65

Les granulés ont de couleur grise noire et de diamètre 3 m. Leurs longueurs sont différenciées par le type de liant utilisé.

La masse volumique la plus élevée et le pourcentage des granulés non cassés à 0,50m de hauteur correspondent aux granulés liés avec du digestat à 18% (D18).

#### 3.2.4.2. Caractéristiques chimiques des meilleurs granulés pour chaque type de liant

Pour comparer les teneurs en éléments fertilisants des granulés et de la poudre de roche volcanique plus compost, nous avons effectué des analyses chimiques des granulés et de la composition de poudre de roche volcanique combiné avec du compost. L'analyse a été faite au laboratoire pédologie de FOFIFA, le résultat est récapitulé dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Analyse chimique des meilleurs granulés et de la combinaison de la poudre de roche volcanique et du compost

Granulés	Humidité	pH	Eléments totaux (%)							C/N
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na	C	
D18	1,71	7,62	0,68	0,50	2,05	1,82	3,65	2,08	5,15	7,67
FL21	1,80	7,70	0,74	0,60	2,35	1,75	3,57	2,04	4,87	6,59
EM23	1,68	7,32	0,70	0,58	2,36	1,40	3,98	1,23	5,32	7,57
Poudre de roche volcanique plus compost (ZEVO)		7,0	0,30	1,20	0,92	7,10	4,61	-	1,52	5,06

Le résultat de l'analyse chimique montre que l'humidité de tous les granulés est moins de 2% qui est favorable à leur conservation. Les granulés sont tous, légèrement, alcalins et les teneurs en éléments fertilisants ne présentent pas de différences significatives. De plus, leurs teneurs en N et en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> se sont améliorées par rapport à la combinaison poudreuse. Tandis que la teneur en CaO du mélange de poudre de roche volcanique plus compost appelé ZEVO est très élevée par rapport aux granulés.

### 3.3. Application des granulés sur la culture

#### 3.3.1. Taux de germination

Après 8 jours de semis, nous avons compté le nombre de graines levées par pot. Le résultat par traitement est récapitulé par le tableau suivant :

Tableau 7: Tableau récapitulant les graines semées et les germes sur la culture d'haricot en pot

Traitement	Nombre de graines semées par traitement	Nombre de graines levées par traitement après 08 jours de semis	Taux de germination
T0	9	7	77
T1	9	8	88
T2	9	9	100
T3	9	9	100
T4	9	9	100

La figure suivante montre le taux de germination des plantes :

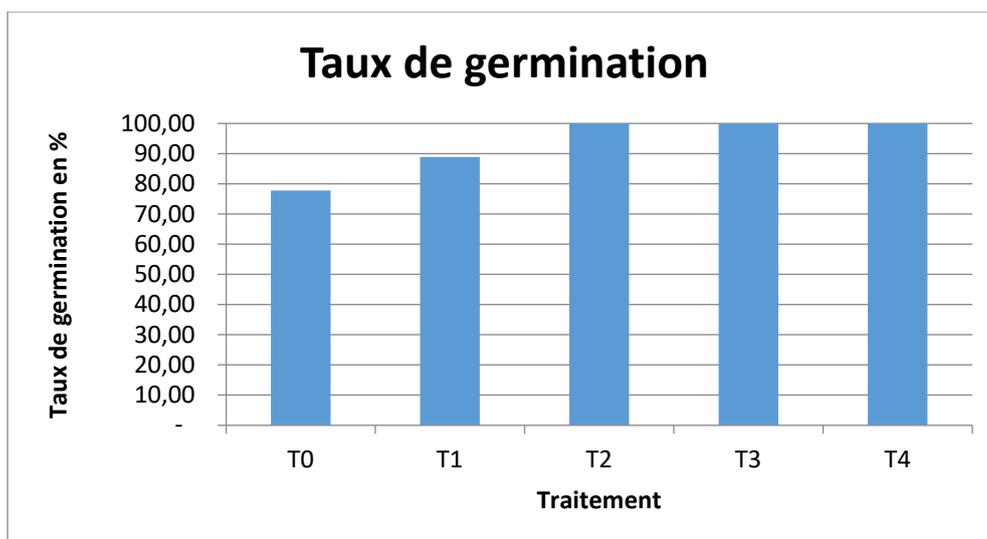


Fig. 96 : Taux de germination de la culture en pot

Cette figure montre que :

Le traitement T0 (temoin) a un taux de germination le plus faible de 77% car nous n'y avons apporté d'amendement fertilisant.

Les traitements T2 (D), T3 (EM) et T4 (FL) sous forme de granulés ont un taux de germination presque 100%. Ces traitements disposent des éléments nécessaires pour faire germer l'haricot.

Le traitement T1 correspondant au poudre de roche volcanique plus compost a un taux de germination de 88%. On peut avancer que son temps de germination paraît lent.

Pour la suite de notre travail, nous avons gardé les deux meilleures graines levées pour chaque pot afin de faciliter l'étude et la comparaison.

### 3.3.2. Hauteur de la plante

La mesure de la hauteur de la plante d'haricot a été effectuée pour évaluer son développement végétatif et l'assimilation des éléments nutritifs de la fertilisation.

Tableau 8 : Hauteur de la plante

Traitement	J6	J7	J9	J10	J14	J16	J19	J21	J25	J32
T0 (cm)	5,00	6,17	10,17	12,00	13,00	13,17	20,50	22,50	25,00	30,00
T1 (cm)	5,33	7,00	8,17	10,17	12,83	14,33	14,50	21,00	26,67	35,00
T2 (cm)	3,33	6,50	7,17	9,50	12,00	13,83	15,50	19,17	24,33	34,00
T3 (cm)	3,00	6,67	7,83	9,83	12,50	14,17	17,00	18,83	25,33	40,00
T4 (cm)	5,00	6,83	8,33	10,17	12,67	15,83	18,83	20,33	26,17	40,00

Nous allons illustrer par la figure suivante, l'évolution de la hauteur de la plante en prenant S2 pour J14, S3 pour J25 et S4 le dernier jour de mesure pour J32.

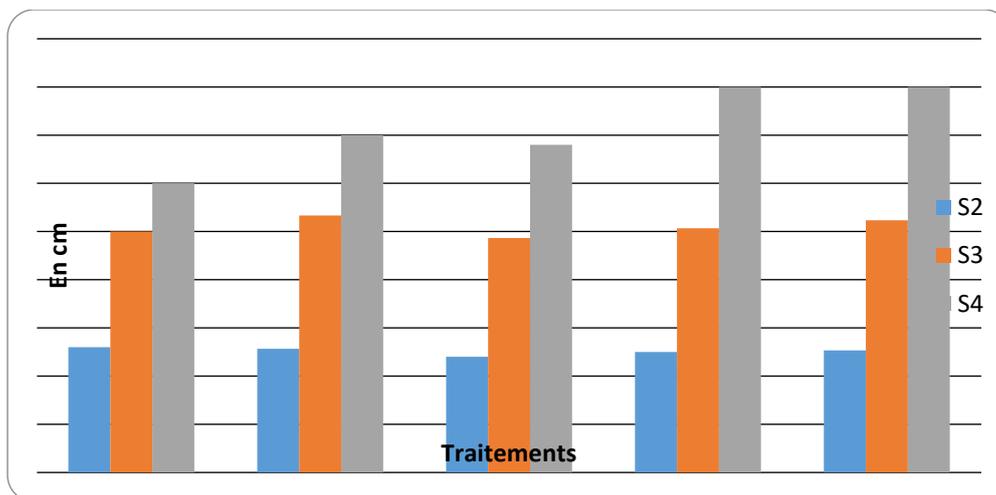


Fig. 10: Evolution de la hauteur de plante d'haricot

Cette figure montre que :

Après la première semaine de semis, la hauteur de plante d'haricot est presque la même pour tous les traitements.

Parmi les amendements fertilisants sous forme de granulé T2 (D), T3 (EM) et T4 (FL), le développement en hauteur de la plante est presque identique jusqu'au 25<sup>ème</sup> jour de semis. Au 32<sup>ème</sup> jour, les hauteurs correspondantes à T3 et à T4 sont plus élevées par rapport à celle de T2. Ceci montre que les liants utilisés pour T3 et T4 ont un effet significatif sur le développement en hauteur.

Les hauteurs des traitements T2, T3 et T4 sont meilleurs par rapport à T0 dus à l'apport des éléments nutritifs apportés par leur compositions (roche volcanique, compost et le liant respectif).

Aussi, il n'y a pas de différences significatives entre T1 et T2, ce qui semble que l'effet du liant digestat n'a pas encore très mise en évidence au cours du développement végétatif.

### 3.3.3. Nombre de feuilles

Le résultat est donné par l'histogramme ci-après :

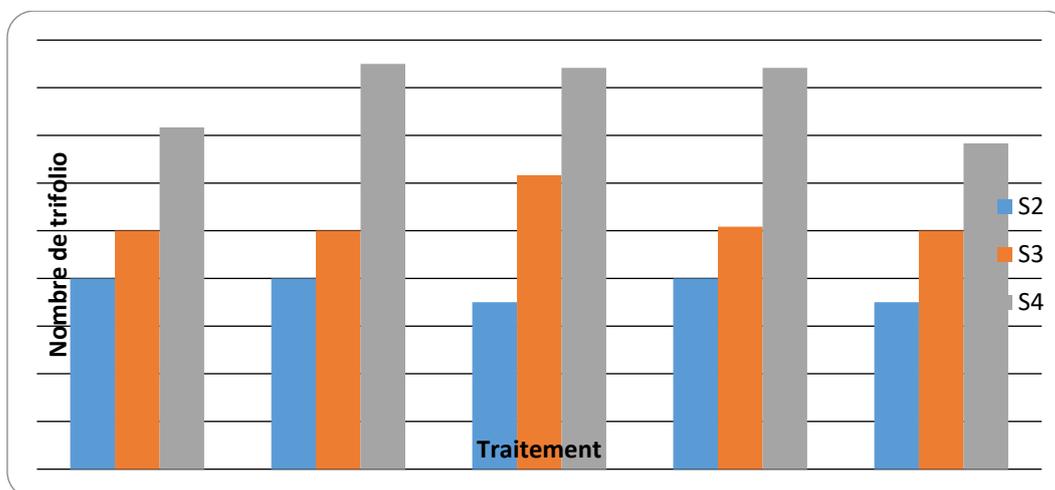


Fig. 11 : Evolution du nombre moyen de feuilles par traitement

Le nombre de feuilles est presque le même pour chaque traitement jusqu' au 10<sup>ème</sup> jour de semis. Au 32<sup>ème</sup> jour, les nombres de feuilles pour T1, T2 et T3 sont semblables. Le nombre de feuilles le plus faible est celui de l'amendement fertilisant avec le liant FL (T4) sous forme de granulés.

En comparant tous les types de traitements, le nombre de feuilles de T0 est la plus faible.

Pendant les essais, on a remarqué que les feuilles des haricots sont attaquées par des moucheron. C'est pour cette raison qu'on a noté le nombre total de feuilles et le nombre de feuilles infestées.

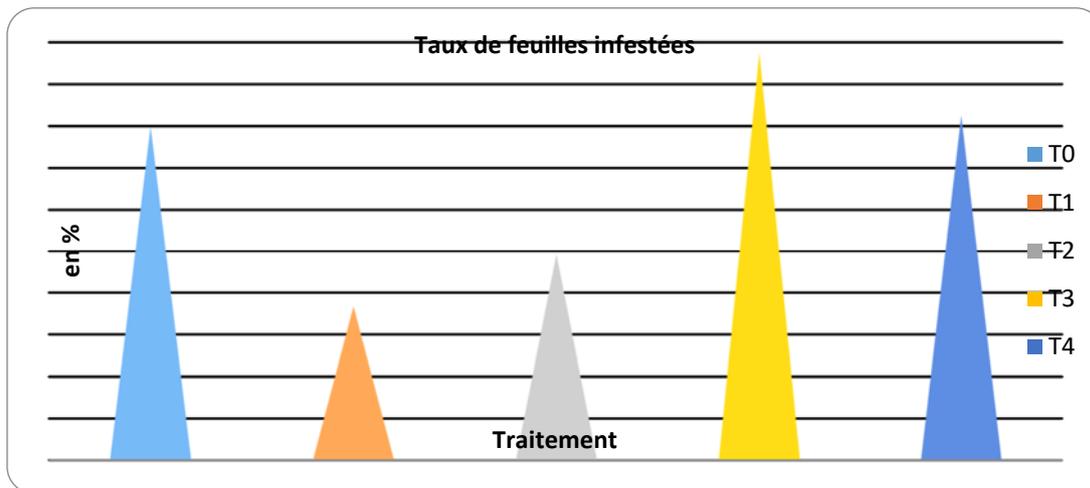


Fig. 19 : Taux de feuilles infestées par le moucheron

Notons que les plants d'haricot sont infestés par des moucheron. C'est le traitement T1 (poudre) qui est le moins infesté et les traitements avec les granulés et le témoin T0 sont les plus infestés. Ce qui laisse paraître que les liants attirent les moucheron. En comparant l'infestation des feuilles, elle est la plus faible avec T2 ce qui signifie que le liant digestat a un effet répulsif pour les moucheron.

### 3.3.4. Rendement

La récolte a été faite après maturation de l'haricot. Le rendement est l'un des paramètres quantitatifs pour évaluer l'efficacité de la fertilisation. Le tableau suivant donne le rendement de l'haricot :

Le résultat est résumé par cette figure :

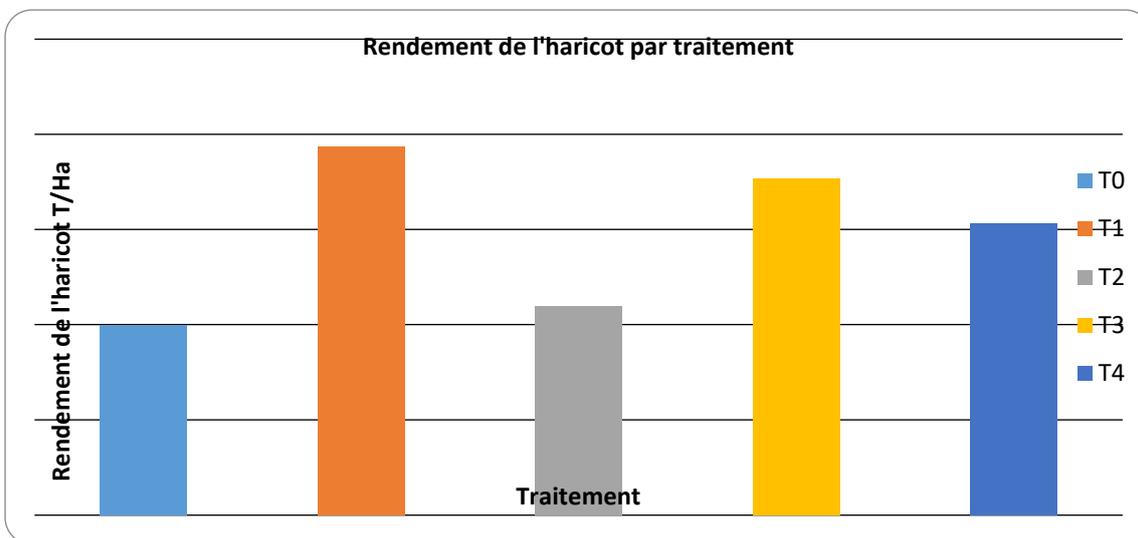


Fig. 20 : Rendement de l'haricot par traitement

Cette courbe montre que :

Parmi les traitements utilisant les granulés T2 (1,1 T/ha), T3 (1,76 T/ha) et T4 (1,53 T/ha), le meilleur rendement correspond à celui du traitement T3 (EM) avec 1,76T/ha malgré l'infestation de ses feuilles. Et le rendement le plus faible est celui du traitement T2 (D).

Par rapport aux différents traitements, nous avons constaté que T1 (poudre) a donné le meilleur rendement avec 1,93 T/ha.

Par rapport au témoin T0, les rendements des traitements T2, T3 et T4 sont meilleurs, ce qui signifie l'effet de l'apport des amendements fertilisants ;

#### **IV. DISCUSSIONS**

Les discussions se focalisent sur : la qualité des granulés, les éléments minéraux des granulés et enfin l'effet des granulés sur la culture.

En considérant sa masse volumique des granulés, les roches volcaniques en poudre sont plus denses que les granulés étudiées. Ces granulés sont propices aux utilisateurs pour l'amélioration de la condition de transport, la manutention, le stockage ainsi que son épandage sur les sols de cultures.

D'après nos expérimentations, l'effet des granulés dépend de la nature du liant utilisé. Ainsi d'après nos études, les granulés liés avec l'épluchure de manioc sont les plus intéressants, tant sur le développement végétatif que sur le rendement.

Sur les éléments minéraux des granulés, nous avons constaté que le pH des granulés est légèrement élevé par rapport au pH de la poudre de roche volcanique, ce résultat est peut être dû à l'ajout du liant. Toutefois, ils sont inférieurs au pH du compost.

Les teneurs de N et de K<sub>2</sub>O ainsi que C des granulés sont supérieures à celles de la poudre de roche. Elles sont apportées par les liants.

La teneur en CaO des granulés a diminué de moitié par rapport aux poudres de roches volcaniques, ceci peut être dû à l'apport des matières organiques (compost et liant).

Les analyses chimiques du compost ont montré que les valeurs de K<sub>2</sub>O et de Mg des granulés sont élevées par rapport au compost.

En effet, la granulation améliore la teneur en éléments minéraux, quelque soit le type de liant, elle favorise donc les propriétés fertilisantes.

Pour évaluer l'effet des granulés sur la culture, la germination et le développement de la plante, l'attaque des moucheron et le rendement de l'haricot seront discutés ci-après :

Sur la germination de la plante, le taux de germination est de 100% pour tous les granulés tandis que ce taux est de 88% pour la poudre de roche volcanique plus compost. Ce qui explique que les liants semblent favoriser la germination.

Sur le développement de la plante, les granulés ont des avantages par rapport aux poudres de roches volcaniques plus compost, le développement en hauteur et en rendement des plants est meilleur pour les traitements T3 (granulés liés avec l'épluchure de manioc) et T4 (granulés liés avec la féculé de manioc) et sur le développement des feuilles, les meilleurs résultats correspondent aux traitements T2 (granulés liés avec du digestat) et T3 (granulés liés avec l'épluchure de manioc), ce qui confirme que les liants contiennent des éléments fertilisants et leur libération est plus rapide par rapport à ceux de la poudre.

Sur l'attaque des moucheron, la faible infestation des moucheron de T1 (roche volcanique mélangé au compost) s'explique par la présence en quantité élevée de la silice qui est un élément qui augmente la résistance des plantes aux parasites et aux insectes, dans les poudres de roches volcanique. La silice est exploitée pour ses propriétés prophylactiques contre les maladies des plantes. Son rôle en tant que produit de prévention des maladies [10]. Les traitements T3 (granulés liés avec l'épluchure de manioc) et T4 (granulés liés avec la féculé de manioc) sont les plus infestés ce qui semble que les cultures amendés avec un produit à base de manioc favorisent l'attraction des moucheron.

Avec T0, le sol est pauvre sans amendement d'où les plants sont facilement attaqués par les insectes.

Sur le rendement, nous avons constaté que T1 a donné le meilleur rendement avec 1,93 t/ha, par rapport aux autres traitements tels que les granulés T2 (1,1 T/ha), T3 (1,76 T/ha) et T4 (1,53 T/ha). La libération des éléments fertilisants de poudre de roche

volcanique est lente et continue tandis que les liants des granulés sont plus solubles. Ils peuvent, bien être, facilement emporter par l'eau. Pour avoir un rendement des granulés similaire au T1, il faudrait faire une étude audacieuse sur la quantité employée.

## V. CONCLUSION

Les granulés sont composés des roches volcaniques, de compost et des liants tels que le digestat, la fécule et l'épluchure de manioc. La méthodologie de l'essai de fabrication des granulés consiste à la variation du liant et de son teneur de 18% ; 20% 21% et 23%. Après les différents contrôles, les granulés D18, FL21 et EM 23 sont classés meilleurs pour chaque type de liant. Les analyses chimiques de ces granulés ont montré l'existence des éléments nutritifs nécessaires pour le développement de la plante. Leur pH est alcalin pour tous les granulés. Les granulés de roches volcaniques améliorent les valeurs des éléments fertilisants tels que la teneur en N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, C. Les valeurs de K<sub>2</sub>O, CaO et Mg sont diminuées à cause des ajouts des matières organiques. La transformation de roche volcanique plus compost en granulés n'a pas anéanti le développement végétatif de la culture d'haricot. Lors des études préliminaires sur l'application des granulés sur la culture d'haricot, le développement en hauteur et en nombre de feuilles de la plante d'haricot est meilleur pour les granulés liés avec l'épluchure de manioc, malgré l'attaque des moucheron. Cette méthode de granulation contribue à réduire les besoins en fertilisant chimique.

Aussi, ils peuvent être recommandé aux paysans que leur déchet de culture (ex : épluchure de manioc ou d'élevage, le digestat) peuvent servir à la reminéralisation de leur sol combiné à d'autres produits tels que les roches volcaniques.

## REFERENCE

- [1]C. et al Grinand, « Estimation des stocks de carbone dans les sols de Madagascar », *Etudes de sol et gestion*, vol. 16, no 1, p. 23-33, 2009.
- [2]A. Rajaoarisoa, B. Razanamparany, L. Rasoloniaina, S. Randriamampionona, et E. Rakotonanahary, « Caractérisation physico-chimique des produits volcaniques de Madagascar pour son utilisation agricole », *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, vol. 7, no 1, Art. no 1, 2011, doi: 10.4314/afsci.v7i1.
- [3]L. Rasoloniaina, S. Randriamampionona, et H. Rakotondrafara, « Des projections volcaniques d'Itasy pour une amélioration de la productivité des sols », *REVUT Scientific Journal*, vol. 3, p. 238, juin 2021, doi: <https://doi.org/10.46857/rsj.2021.3>.
- [4]J.-M. Bardintzeff, « *Volcanologie* », vol. 3<sup>e</sup> Ed, p. 312, 2006.
- [5]D. Nkouathio, P. Wandji, J.-M. Bardintzeff, P. Tematio, A. K. Dongmo, et F. Tchoua, « Utilisation des roches volcaniques pour la reminéralisation des sols ferrallitiques des régions tropicales. Cas des pyroclastites basaltiques du graben de Tombel (Ligne volcanique du Cameroun) », *Société Vaudoise des Sciences Naturelles SVSN*, vol. 91, p. 1-14, 2008.
- [6]R. DUMON, *Agglomération*, 8<sup>e</sup> éd., vol. 1. in *Techniques de l'ingénieur*, no. A 5750, vol. 1. Techniques de l'ingénieur, 1980.
- [7]H. ALIBERT, « Les engrais complexes pour cultures tropicales », *Fruits*, vol. 13, no 9-10, p. 473-474, 1958.
- [8]Y. SCHENKEL, « Les caractéristiques physiques des particules d'engrais: mesure et influence », *Politique scientifique fédérale*, 2005.
- [9]Y. A. Randriamamonjy, « Contribution à l'étude d'un procédé de production de matériaux contenant de la metakaolinite », thèse, Université d'Antananarivo, Antananarivo, 2014.
- [10] A. Fawe, J. G. Menzies, M. Chérif, et R. R. Bélanger, « Chapter 9 Silicon and disease resistance in dicotyledons », in *Studies in Plant Science*, L. E. Datnoff, G. H. Snyder, et G. H. Korndörfer, Éd., in *Silicon in Agriculture*, vol. 8. Elsevier, 2001, p. 159-169. doi: 10.1016/S0928-3420(01)80013-6.