

**"Comparaison des effets des différents fertilisants pour optimiser la productivité de semences de pomme de terre (G5) destinées à la production de consommation dans la région Analamanga, district d'Avaradrano, commune rural Talata Volonondry"**

Rojovola Cynthia RAKOTOARIMANANA, Herizo Christian RAMAHEFA, Jisy Ny Avo  
HERILANTO, Thomas Nomenjanahary RANDRIAMILANTONIRINA, Andrianjafy  
RASOLONIRAINY, Manoa RAMINOARISON

La pomme de terre est une culture à haute valeur économique et un atout pour la sécurité alimentaire des ménages agricoles des Hautes Terres centrales de Madagascar. Cependant, le coût élevé des semences certifiées pousse les petits producteurs à réutiliser des semences fermières sur plusieurs générations, ce qui entraîne leur dégénérescence et une baisse des rendements. Dans ce contexte, la fertilisation devient le principal levier pour maintenir la productivité. Les agriculteurs se tournent vers des intrants disponibles localement, comme la poudre d'os et la poudre de corne, mais les données sur leur usage agronomique à Madagascar restent rares. Cette étude vise donc à évaluer l'effet de quatre fertilisants sur la croissance et le rendement de la pomme de terre « Maneva mena » (G5) destinée à la consommation. Elle a été menée dans la commune rurale de Talata Volonondry, district d'Antananarivo Avaradrano, région Analamanga. Le dispositif expérimental est un bloc complet randomisé comprenant quatre traitements à trois répétitions : poudre d'os seule (T1), engrais minéral  $N_{11}P_{22}K_{16}$  (T2), combinaison fumier de zébu et poudre de corne (T3) et fumier seul (T4). Les fertilisants n'ont pas eu d'effet significatif sur le taux de levée, qui atteint 100 % pour tous les traitements au 16<sup>e</sup> jour après semis. En revanche, des différences significatives sont observées sur le nombre de feuilles ( $F = 47,08$  ;  $p < 2 \times 10^{-16}$ ), la hauteur des plants ( $F = 16,49$  ;  $p = 3,31 \times 10^{-10}$ ), le poids des tubercules ( $F = 12,70$  ;  $p = 3,21 \times 10^{-7}$ ) et le rendement global ( $p = 0,043$ ). Le traitement T3 est le plus performant sur l'ensemble des paramètres mesurés, tandis que T4 enregistre les résultats les plus faibles. La combinaison de fumier de zébu et de poudre de corne constitue ainsi une alternative fertilisante efficace pour améliorer la productivité de la pomme de terre dans les conditions de l'étude.

**Mots-clés :** pomme de terre, fertilisants organiques, poudre d'os, poudre de corne, Hautes Terres malgaches.

## **INTRODUCTION :**

La pomme de terre constitue une culture à haute valeur économique pour les ménages agricoles des Hautes Terres centrales de Madagascar. Sa forte demande sur les marchés domestiques que ce soit en produit frais ou transformé ainsi que sur les marchés régionaux de l'Océan Indien en fait un levier clé de génération de revenus en milieu rural (Bélières, 2020).

Au-delà de sa dimension marchande, la pomme de terre remplit une double fonction en contribuant à la sécurité alimentaire des populations rurales et à la diversification des régimes alimentaires en milieu urbain. Sa culture permet une optimisation des calendriers agricoles et la valorisation des rizières pour les producteurs (Andriandralambo et al., 2018).

Cependant, cette filière est confrontée à des défis importants, notamment le manque de semences de qualité et des difficultés d'approvisionnement en engrais (Vestals, 2008). Le coût élevé des semences certifiées, souvent inaccessibles aux petits producteurs, pousse ces derniers à recourir aux semences fermières sur plusieurs générations (jusqu'en G6-G7). Or, cette pratique entraîne une

dégénérescence progressive du matériel végétal, se traduisant par une baisse de vigueur, une accumulation de pathogènes et une chute des rendements.

En l'absence de renouvellement semencier, la fertilisation devient le principal levier d'action pour maintenir la productivité de la culture. Cette situation amène à s'interroger : quel type de fertilisant optimise le rendement en tubercules de consommation issus de semences G5 de pomme de terre « Maneva mena » ?

L'expérience paysanne révèle que le fumier de zébu, seul, s'avère insuffisant pour produire un effet fertilisant immédiat et doit être associé à des apports minéraux complémentaires (Razafindramanana *et al*, 2020).

Cependant, vu le coût élevé des intrants chimiques, les agriculteurs se tournent vers des alternatives localement disponibles, notamment la poudre d'os (*vovoka taolana*) et la poudre de corne (*vovoka tandroka*). Ces dernières sont reconnues pour leur richesse en calcium, en phosphore et en azote biodisponibles, en faisant des substituts efficaces aux engrais phosphatés de synthèse (Nogalska & Zalewska, 2013 ; Chen *et al.*, 2011). Ses applications présentent un intérêt particulier sur les sols ferrallitiques des Hautes Terres, caractérisés par une acidité élevée, une faible capacité d'échange cationique et une carence en phosphore assimilable (Raminoarison *et al.*, 2020), où elle est susceptible d'améliorer significativement les rendements agricoles.

Pourtant, peu de données existent à Madagascar sur l'utilisation agronomique de la poudre d'os et de la poudre de corne en agriculture (Razafindramanana *et al*, 2020).

C'est pourquoi la présente étude a été menée pour évaluer les effets des poudres d'os et de cornes de zébu comparées avec le fumier de zébu et la NPK sur la croissance et le rendement de la pomme de terre. Elle visait à suivre le développement phénologique de la pomme de terre selon le type de fertilisant utilisé, comparer l'influence des différents fertilisants sur la hauteur des plants et le nombre des feuilles et analyser les paramètres de rendement.

## **MATERIELS ET METHODES :**

### **Site d'étude :**

L'étude a été réalisée dans le fokontany de Mahavariana (entre -18.757244° de latitude Sud et 47.642035° de longitude Est), commune rurale Talata Volonondry, district d'Antananarivo Avaradrano, région Analamanga.

Le site d'étude jouit d'un climat tropical d'altitude avec une alternance de deux saisons : une saison froide et sèche (avril-octobre) et une saison chaude et humide (novembre-mars). Le cumul de la précipitation moyenne annuelle et la température moyenne annuelle sont respectivement de 1295mm et 18,7°C (Planificateur A-contresens, 2025).

D'après l'analyse de sol réalisé dans le propre laboratoire du Minimal Irrigation Project (MIP), le sol présente une matière organique peu abondante. Il se caractérise par une texture limono-sableuse et de structure polyédrique sub-angleuse qui indiquent une organisation interne suffisamment cohérente

pour assurer une bonne circulation de l'eau et de l'air. Le sol a une réaction acide avec une valeur de 5,36. Concernant les éléments nutritifs, la teneur en azote est très faible, avec 0,01 %, le phosphore assimilable est moyen, avec 58,15 mg/kg et le potassium échangeable est très élevé, atteignant 1,20 méq/100g (Herilanto, 2026).

### **Traitements comparés :**

L'étude compare quatre traitements de fertilisation, choisis pour refléter la possibilité de valoriser les sous-produits Agricoles aux producteurs des Hautes Terres. Le premier (T1) est la poudre d'os seule, riche en phosphore et en calcium et à minéralisation lente, appliquée à 100 g/pied. Le deuxième (T2) est l'engrais minéral NPK<sub>11-22-16</sub>, utilisé sans apport organique afin de pouvoir réaliser sa comparaison avec les fertilisants organiques utilisés. Le troisième (T3) associe le fumier de zébu (2kg/ligne) et la poudre de corne (1kg/ligne) : la corne, riche en azote organique, nourrit progressivement la plante, tandis que le fumier améliore la structure du sol et sa rétention en eau. Le quatrième (T4) est le fumier de zébu seul, appliqué à 3 kg/ligne, soit 9kg/parcelle et 27kg au total, qui agit surtout comme conditionneur de sol. Les doses ont été ajustées à la teneur nutritive de chaque intrant. Tous les intrants proviennent de sources locales : éleveur du fokontany, artisans valorisant les sous-produits bovins et fournisseur d'intrants agricoles

### **Dispositif expérimental et traitements comparés :**

Le dispositif comprend 3 blocs formés par 12 parcelles élémentaires dont chaque bloc renferme 4 parcelles de dimension 8m\*2m soit 16m<sup>2</sup> chacune. L'étude se base sur 4 traitements à 3 répétitions dont T1 (100g/pied, 3kg/parcelle, soit 9kg au total): utilisation de poudre d'os uniquement, T2 : application de fertilisant chimique NPK<sub>11-22-16</sub> 330 g/m<sup>2</sup> sur 16 m<sup>2</sup> correspondent à 5,28 kg/parcelle élémentaire, afin de montrer aux paysans l'effet de son utilisation sans apport des fertilisants organiques, T3 (1Kg/ligne + 2Kg=9kg/parcelle, soit 27Kg au total) : parcelles fertilisées avec du fumier de zébu et poudre de corne combinés et enfin T4 (9Kg/parcelle, soit 27Kg) : utilisation du fumier uniquement.

### **Conduite de culture :**

Les techniques culturales appliquées sont celles couramment utilisées par les paysans des Hautes Terres malgaches, afin de refléter les conditions réelles de production. Le sol est travaillé à l'angady. Le labour a été effectué à 25 cm de profondeur, deux semaines avant la mise en terre des tubercules-semences. Ceux-ci sont plantés manuellement, à raison d'un tubercule par poquet, avec un espacement de 0,70 m entre ligne x 0,20m sur ligne, ce qui correspond à une densité de 47 619 plants/ha plants par hectare.

La poudre d'os est appliquée à 100g/pied correspondant à 3kg/parcelle élémentaire, 9kg au total pour les trois répétitions. Cette dose a été choisie en raison de la forte en phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 20–25 %) et en calcium (Ca : 24–30 %) de la poudre d'os (Gagnon & Simard, 1999). Sa minéralisation lente dans le sol (6 à 18 mois) limite les risques de surfertilisation tout en assurant un apport continu en phosphore, essentiel au développement racinaire et à la floraison (Scholz & Wellmer, 2013).

L'engrais NPK, appliqué à 330 g/m<sup>2</sup> pour un total de 5,28 kg/parcelle élémentaire, soit 15,84 kg pour les trois répétitions, représente la dose la plus faible. Sa haute concentration en N, P et K sous forme ionique directement assimilable explique cette économie de quantité. Un excès risquerait une toxicité

saline, un déséquilibre du pH ou une lixiviation vers les nappes. Cette dose réduite relève donc d'une précision agronomique essentielle (*Fageria et al., 2011*).

La combinaison de poudre de corne + fumier, appliqué à 9kg/parcelle élémentaire (1kg de poudre de corne et 2kg de fumier), soit 27kg pour les trois répétitions.

La poudre de corne, riche en azote organique, N : 12–14 % (Koenig et Johnson, M. (2011), libère ses nutriments lentement via l'activité microbienne, ce qui exige une quantité plus importante qu'un engrais minéral concentré (Owen *et al*, 1953). Le fumier, quant à lui, présente une teneur nutritive naturellement diluée dans sa matière organique (eau, cellulose, lignine), mais c'est précisément ce volume qui régénère la structure du sol, sa rétention hydrique et sa vie biologique. Ensemble, ces deux amendements se complètent de façon stratégique : la corne nourrit progressivement la plante, le fumier reconstruit durablement le sol (*Khaleel et al., 1981*).

Le fumier seul a été appliqué à raison de 9kg par parcelle soit 27 kg pour les trois répétitions. Cette quantité est inhérente à la faible teneur en nutriments du fumier : sa teneur en azote ne dépasse généralement pas 0,3 à 0,8 % de N selon son degré de compostage, contre 12–14 % pour la poudre de corne et 15–46 % pour le NPK (FAO, 1992). Le fumier agit davantage comme un conditionneur de sol que comme un fertilisant au sens strict, d'où la nécessité d'en appliquer de grandes quantités pour atteindre un effet agronomique significatif (Sullivan et Miller, R.O., 2001).

## Paramètres mesurés

### Paramètres suivis durant la phase végétative

Durant la phase végétative, les paramètres suivis ont été le taux de levée, la hauteur des plantes, le nombre de feuilles par pied, l'apparition de la première feuille trifoliée, la floraison, ainsi que l'état sanitaire des plantes (maladies et ravageurs). Les observations ont été réalisées sur dix pieds choisis aléatoirement dans chaque parcelle et marqués dès la levée, afin d'être suivis jusqu'à la fin de l'expérimentation. Les mesures de hauteur, du collet au bourgeon terminal, et le comptage du nombre de feuilles par pied ont été effectués chaque semaine, à partir de quinze jours après la levée et durant toute la période de croissance végétative. Les dates d'apparition de la première feuille trifoliée et de floraison ont été enregistrées lorsque ces stades étaient atteints par dix plants de la parcelle. Le taux de levée a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de levée (\%)} = \frac{\text{Nombre de plantes levées}}{\text{Nombre de tubercules semés}} \times 100$$

### Paramètres mesurés à la récolte

À la récolte, effectuée manuellement dès l'apparition des signes de maturité (jaunissement et dessèchement des feuilles, achèvement du cycle), les paramètres évalués ont été la biomasse aérienne, l'état général des plantes, la présence éventuelle de maladies et de ravageurs, ainsi que le rendement en tubercules. La biomasse aérienne a été déterminée par pesée de la partie aérienne récoltée, tandis que le rendement a été obtenu par pesée des tubercules récoltés dans chaque parcelle, puis exprimé en tonnes par hectare (t/ha) selon la formule suivante :

$$\text{Rendement (t/ha)} = \frac{\text{Poids des tubercules récoltés (kg)}}{\text{Surface récoltée (m}^2\text{)}} \times 10$$

### Traitement des données :

Les données ont été traitées statistiquement à l'aide du logiciel R (version 4.5.3, 2026). Afin de tester l'hypothèse : les types et les doses de fertilisants organiques influencent significativement les biomasses aériennes et le rendement, une analyse de la variance (ANOVA) à un facteur avec effet bloc a été réalisée.

**Tableau 1** : Caractéristiques morpho-pédologiques du site TLV-F10 (Talata Volonondry F10) (Herilanto, 2026).

| Sites   | Couleur      | MO (vue Générale) | Texture        | Structure                | Humidité   | Porosité         | Enracinement     | Niveau de compacité | Autres                       | Prise d'échantillons                     | Nombre d'échantillons |
|---------|--------------|-------------------|----------------|--------------------------|------------|------------------|------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|
| TLV-F10 | 10 R 5/8 Red | Peu riche         | Limonosableuse | polyédrique subanguleuse | Peu humide | Porosité moyenne | Bon enracinement | faible              | Présence de grains de roches | à 9h – 11h de matin (sans pluie récente) | 3                     |

**Tableau 2** : Caractéristique du sol du site TLV-F10 – Talata Volonondry référence F10 (Herilanto, 2026).

| Lieu                       | Sigles  | pH eau  | N       | P       | K       |
|----------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Talata Volonondry - Site 2 | TLV-F10 | 5,36 FA | 0,01 TP | 58,15 M | 1,20 TR |

(FA : Fortement Acide, TR : Très Riche, R : Riche, M : Moyen, P : Pauvre, TP : Très Pauvre) - (Nb : ces résultats sont issus du Kit d'analyse de sol NANBEI Q3). La classification des teneurs en phosphore (P (mg/kg)) est basée sur des référentiels agronomiques utilisés pour l'évaluation de la fertilité des sols (FAO, 2006 ; COMIFER, 2013). Ces seuils peuvent varier selon la méthode d'analyse et les conditions pédologiques.

## RESULTATS :

### 1- Phénologie des pommes de terre suivant les traitements comparés

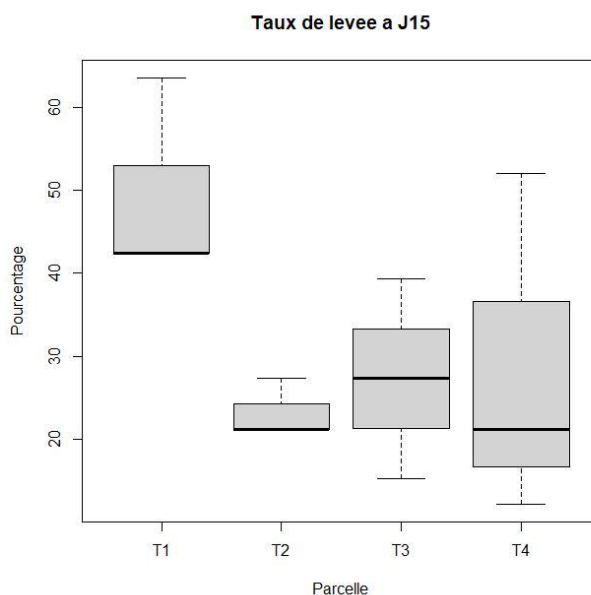
L'analyse qualitative du taux de levée montre une variabilité importante entre les traitements à 15<sup>e</sup> JAS (Jours Après Semis), traduisant des différences dans la rapidité d'émergence des plants. Le traitement T1 présente les valeurs les plus élevées, indiquant une levée plus précoce, tandis que les traitements T2, T3 et T4 affichent des taux plus faibles. Cependant, au 16<sup>e</sup> JAS, les taux de levée deviennent homogènes pour l'ensemble des traitements, atteignant des valeurs proches de 100%.

#### • 15<sup>e</sup> JAS

**Tableau 3** : Analyse de la variance (ANOVA) des effets des fertilisants sur la levée de la pomme de terre au 15<sup>e</sup> jour

|             | Df | Sum Sq  | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-------------|----|---------|---------|---------|--------|
| Traitements | 3  | 0.14416 | 0.04805 | 3.755   | 0.0789 |
| Bloc        | 2  | 0.10378 | 0.05189 | 4.055   | 0.0769 |
| Residuals   | 6  | 0.07678 | 0.01280 |         |        |

- Les résultats de l'analyse indiquent une absence de différence significative entre les traitements comparés avec une valeur de p-value = 0,0789, suggérant que les différents traitements n'affectent pas la germination.

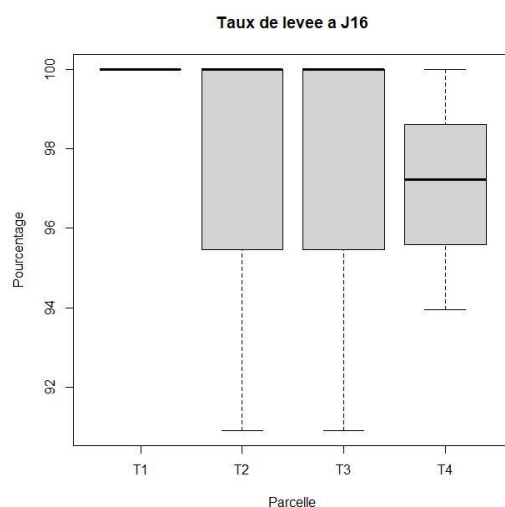


**Figure 1** : Figure montrant les différents taux de levée de la pomme de terre selon les 4 traitements appliqués

Le boxplot du taux de levée montre que le traitement T1 présente des valeurs légèrement plus élevées que les autres traitements. Cependant, les boîtes et les médianes se chevauchent largement entre tous les traitements, indiquant une forte variabilité intra-traitement et l'absence de séparation nette entre les groupes. Cette observation est cohérente avec les résultats de l'ANOVA, qui n'a révélé aucune différence significative entre les fertilisants testés (p-value=0,0789). Ainsi, bien que T1 puisse montrer une tendance supérieure visuellement, aucun effet statistiquement significatif des fertilisants sur le taux de levée n'a été mis en évidence.

#### • 16<sup>e</sup> JAS

Les résultats obtenus montrent qu'il n'existe pas de différence significative entre les traitements étudiés ( $p = 0,5786$  ;  $p > 0,05$ ). Ainsi, les différents fertilisants testés n'ont pas eu d'effet statistiquement significatif sur le taux de levée à J16.



**Figure 2 :** Taux de levée à J16 selon les traitements

L'absence de significativité selon test non paramétrique de Kruskal-Wallis est confirmée par la représentation graphique (boxplot), qui montre une forte similarité entre les traitements, avec des distributions largement chevauchantes et des médianes proches.

## 2- Influences des fertilisants sur la croissance en hauteur et le nombre de feuilles

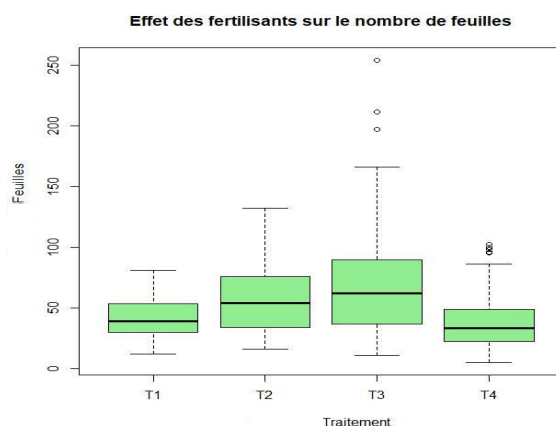
### a) Nombre de feuilles :

**Tableau 4 :** Analyse de la variance des effets des fertilisants sur la quantité des feuilles de la pomme de terre

|             | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-------------|-----|--------|---------|---------|--------|
| Traitements | 3   | 78502  | 26167   | 47.08   | <2e-16 |
| Bloc        | 3   | 113349 | 37783   | 67.98   | <2e-16 |
| Residuals   | 473 | 262890 | 556     |         |        |

L'analyse de variance a révélé que les fertilisants ont un effet significatif sur le nombre de feuilles de la pomme de terre ( $F = 47,08$  ;  $p < 2e-16$ ). Ainsi, le choix du fertilisant influence de manière déterminante la croissance végétative des plants de pomme de terre au cours de l'expérimentation.

Par ailleurs, l'effet du bloc est également significatif ( $F = 67,98$  ;  $p < 2e-16$ ), ce qui traduit une hétérogénéité des conditions expérimentales entre les différentes parcelles (variabilité du sol, microclimat ou autres facteurs environnementaux). Cette variabilité justifie l'utilisation d'un dispositif en blocs pour mieux contrôler les sources d'erreur.



**Figure 3 :** effets des fertilisants sur la quantité de biomasse aérienne (feuilles) de la pomme de terre

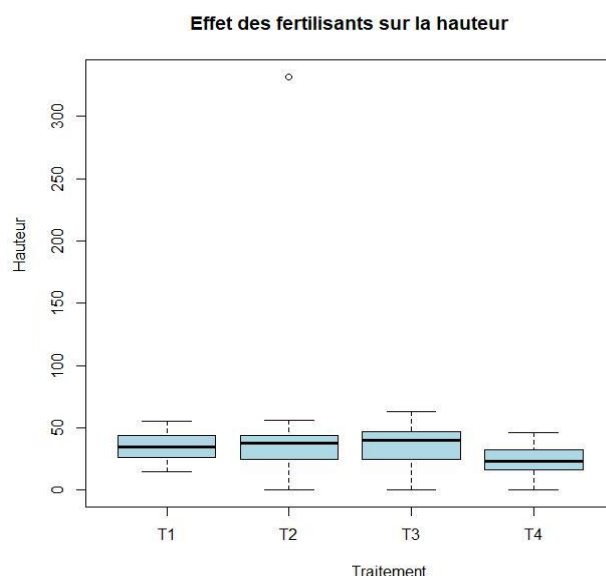
Le traitement T3 présente la médiane la plus élevée, indiquant un meilleur développement foliaire par rapport aux autres traitements atteignant jusqu'à 69 feuilles/pieds, mais avec une forte variabilité des résultats. T2 occupe une position intermédiaire de 58 feuilles avec une efficacité modérée. T1 avec 41 feuilles montre une réponse plus stable mais limitée, tandis que T4 enregistre les valeurs les plus faibles de 36 feuilles, ce qui en fait le traitement le moins performant pour le nombre de feuilles.

#### b) Hauteur :

**Tableau 5 :** Analyse de la variance (ANOVA) des effets des fertilisants sur la hauteur de la pomme de terre

|             | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)   |
|-------------|-----|--------|---------|---------|----------|
| Traitements | 3   | 13373  | 4458    | 16.49   | 3.31e-10 |
| Bloc        | 2   | 31693  | 10564   | 39.08   | <2e-16   |
| Residuals   | 473 | 127868 | 270     |         |          |

Les analyses de variance montrent que les fertilisants ont eu un effet significatif sur la croissance en hauteur de la pomme de terre ( $F = 16,49$  ;  $p = 3,31 \times 10^{-10}$ ). Cette différence entre traitements indique que les apports fertilisants ont influencé de manière non homogène le développement des plants, entraînant des réponses de croissance variables selon les fertilisants appliqués.



**Figure 4 :** Effets des fertilisants sur l'hauteurs de la pomme de terre

La hauteur des plants de pomme de terre varie selon les traitements fertilisants (Figure 4). T3 présente les valeurs les plus élevées (médiane de 40 cm), suivi de T1 et T2 (médiane de 35 cm), tandis que T4 enregistre la croissance la plus faible (médiane  $\approx 25$  cm). L'analyse de variance confirme que ces différences sont significatives ( $F = 16,49$  ;  $p = 3,31 \times 10^{-10}$ ), attestant que la nature du fertilisant influence la croissance en hauteur des plants de pomme de terre.

### 3- Effets de différents types de fertilisants sur les composantes du rendement

#### a) Circonférence des tubercules :

**Tableau 6 :** Analyse de la variance (ANOVA) des effets des fertilisants sur le diamètre des tubercules de la pomme de terre

|             | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-------------|-----|--------|---------|---------|--------|
| Traitements | 3   | 153    | 51.29   | 1.955   | 0.125  |
| Bloc        | 2   | 63.4   | 31.70   | 1.208   | 0.302  |
| Residuals   | 114 | 2991.0 | 26.24   |         |        |

- L'analyse de variance a montré que les traitements n'ont pas d'effet significatif sur le diamètre des tubercules ( $p > 0.05$ ).

#### b) Masse des tubercules :

**Tableau 7 :** Analyse de la variance (ANOVA) des effets des fertilisants sur les masses des tubercules de pomme de terre.

|             | Df  | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)   |
|-------------|-----|--------|---------|---------|----------|
| Traitements | 3   | 16038  | 5346    | 12.70   | 3.21e-07 |
| Repetition  | 2   | 2088   | 1044    | 2.48    | 0.0883   |
| Residuals   | 114 | 47996  | 421     |         |          |

L'analyse de variance révèle un effet significatif des traitements fertilisants sur la masse des tubercules de pomme de terre ( $F = 12,70$  ;  $p = 3,21 \times 10^{-7}$ ), indiquant que la nature du fertilisant appliqué influence de manière déterminante le rendement pondéral des tubercules. En revanche, l'effet des répétitions (blocs) n'est pas significatif ( $F = 2,48$  ;  $p = 0,088$ ), suggérant une bonne homogénéité des conditions expérimentales entre les blocs et validant ainsi la fiabilité du dispositif expérimental mis en place.

#### c) Rendement global :

**Tableau 8 :** Effet des fertilisants sur le rendement en tubercules de pomme de terre (t/ha).

|             | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F) |
|-------------|----|--------|---------|---------|--------|
| Traitements | 3  | 36.21  | 12.071  | 5.100   | 0.0434 |
| Repetition  | 2  | 23.55  | 11.776  | 4.975   | 0.0532 |
| Residuals   | 6  | 14.20  | 2.367   |         |        |

#### Traitement: fertilisants

- Les types de fertilisants ont un effet significatif sur le rendement de la pomme de terre.

### DISCUSSION :

#### 1. Phénologie et taux de levée

Les résultats obtenus montrent une absence de différence significative entre les traitements sur le taux de levée, aussi bien au 15e JAS ( $p = 0,079$ ) qu'au 16e JAS ( $p = 0,579$ ). Ce résultat suggère que la

nature du fertilisant n'influence pas l'émergence des plants à ce stade précoce du développement. En effet, la levée dépend davantage des caractéristiques intrinsèques du tubercule-semence, notamment sa vigueur, son état sanitaire et sa teneur en réserves nutritives, que des apports fertilisants externes. Ces observations rejoignent les travaux de Struik & Wiersema (1999), qui soulignent que la qualité physiologique de la semence constitue le principal déterminant de la rapidité et de l'uniformité de la levée. Par ailleurs, le fait que l'ensemble des traitements atteigne un taux de levée proche de 100% au 16<sup>e</sup> JAS témoigne d'une bonne qualité des tubercules-semences utilisés et de conditions pédoclimatiques globalement favorables à l'émergence, indépendamment du type de fertilisant appliqué.

## 2. Effets des fertilisants sur le nombre de feuilles

L'analyse de variance révèle un effet hautement significatif des traitements fertilisants sur le nombre de feuilles ( $F = 47,08$  ;  $p < 2 \times 10^{-16}$ ). Le traitement T3, combinant fumier de zébu et poudre de corne, présente la médiane la plus élevée avec 60 feuilles par plant, ce qui s'explique par la complémentarité entre ces deux amendements organiques. En effet, la poudre de corne, riche en azote organique (12–14 %), assure une libération progressive et continue d'azote minéralisable, élément directement impliqué dans la synthèse des protéines foliaires et l'expansion du limbe (Raminoarison *et al*, 2022). Le fumier, quant à lui, améliore la structure du sol et sa capacité de rétention en eau, créant des conditions favorables à l'absorption racinaire des nutriments. Cette synergie entre les deux composantes organiques rejoint les conclusions de Raminoarison *et al* (2024), qui démontrent que l'association de matières organiques d'origines différentes améliore significativement la disponibilité des nutriments et l'activité biologique du sol.

Le traitement T2, basé sur la fertilisation minérale NPK, affiche une performance intermédiaire avec une médiane d'environ 52 feuilles. Bien que les éléments minéraux soient directement assimilables par la plante, leur effet sur le développement foliaire reste inférieur à celui de la combinaison organique T3. Ceci pourrait s'expliquer par la faible dose appliquée (330 g/m<sup>2</sup>), choisie délibérément pour éviter les risques de toxicité saline et de déséquilibre du pH, comme le soulignent Fageria *et al*. (2011). Cette contrainte de dosage limite l'expression complète du potentiel fertilisant du NPK sur la biomasse foliaire.

Le traitement T1, à base de poudre d'os uniquement, montre une réponse stable mais modeste, avec une médiane de 40 feuilles. La poudre d'os est reconnue pour sa richesse en phosphore et en calcium, mais sa minéralisation lente dans le sol (6 à 18 mois) selon Scholz & Wellmer (2013) limite sa contribution immédiate à la nutrition azotée, pourtant essentielle au développement foliaire. Sur un sol présentant déjà un phosphore assimilable élevé (58,15 mg/kg d'après le résultat d'analyse de sol), comme c'est le cas du site d'étude, l'apport supplémentaire de phosphore par la poudre d'os n'engendre pas nécessairement un effet additif marqué sur la croissance végétative.

Le traitement T4, basé sur le fumier seul, enregistre les valeurs foliaires les plus faibles avec une médiane d'environ 35 feuilles. Ce résultat corrobore les observations de Razafindramanana *et al*. (2020), qui soulignent que le fumier de zébu seul s'avère insuffisant pour produire un effet fertilisant immédiat et significatif, en raison de sa faible densité en nutriments directement disponibles. Sa fonction principale reste celle d'un amendement structural, améliorant la porosité et la rétention hydrique du sol, plutôt que d'un fertilisant à effet rapide sur la croissance végétative.

L'effet bloc hautement significatif ( $F = 67,98$  ;  $p < 2 \times 10^{-16}$ ) révèle une hétérogénéité spatiale notable entre les parcelles expérimentales, justifiant pleinement le recours au dispositif en blocs complets randomisés pour contrôler ces sources de variabilité environnementale.

### 3. Effets des fertilisants sur la hauteur des plants

Les fertilisants ont exercé un effet significatif sur la croissance en hauteur des plants de pomme de terre ( $F = 16,49$  ;  $p = 3,31 \times 10^{-10}$ ). Le traitement T3 présente la médiane la plus élevée (40 cm), suivi de T1 et T2 (35 cm), tandis que T4 affiche la croissance la plus faible (25 cm). La supériorité de T3 en hauteur s'explique par la libération progressive et complémentaire de l'azote et du phosphore issus de la combinaison fumier-poudre de corne, favorisant à la fois l'élongation cellulaire et le développement du système vasculaire de la tige. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Khaleel et al. (1981), qui montrent que les associations d'amendements organiques améliorent durablement la disponibilité des nutriments et stimulent la croissance végétative.

La faible hauteur enregistrée sous T4 confirme les limites du fumier utilisé seul, dont la faible teneur en azote directement disponible (0,3 à 0,8 % selon son degré de compostage) ne suffit pas à soutenir une croissance en hauteur comparable aux autres traitements. L'effet bloc significatif ( $F = 39,08$  ;  $p < 2 \times 10^{-16}$ ) reflète là encore une variabilité spatiale des conditions pédoclimatiques entre blocs, confirmant la pertinence du dispositif expérimental adopté.

### 4. Effets des fertilisants sur le diamètre des tubercules

Contrairement aux paramètres de croissance végétative, le diamètre des tubercules n'est pas significativement influencé par les traitements fertilisants ( $F = 1,955$  ;  $p = 0,125$ ). Ce résultat suggère que le grossissement latéral des tubercules dépend davantage de facteurs génétiques propres à la variété utilisée et des conditions environnementales globales que des apports fertilisants (Sai et Paswan, 2024). En effet, le diamètre est étroitement lié à la densité de plantation et à la compétition intraspécifique pour les ressources en eau et en lumière, paramètres identiques pour tous les traitements dans cette expérimentation. L'absence de différence significative de l'effet bloc ( $p = 0,302$ ) indique par ailleurs une relative homogénéité des parcelles pour ce paramètre spécifique.

### 5. Effets des fertilisants sur la masse des tubercules

L'analyse de variance révèle un effet hautement significatif des traitements sur le poids des tubercules ( $F = 12,70$  ;  $p = 3,21 \times 10^{-7}$ ). Ce résultat indique que si le diamètre des tubercules reste relativement uniforme entre traitements, leur masse varie significativement, ce qui traduit des différences dans la densité et la teneur en matière sèche des tubercules selon le fertilisant appliqué. La nutrition azotée et phosphatée, différente selon les traitements, influence directement la synthèse et l'accumulation des glucides de réserve dans les tubercules, déterminant ainsi leur poids final. Ces observations sont en accord avec les travaux de Fageria et al. (2011), qui soulignent le rôle central de l'équilibre NPK dans la détermination du rendement pondéral des cultures tuberculeuses.

### 6. Effets des fertilisants sur le rendement global

Les résultats montrent un effet significatif des fertilisants sur le rendement global de la pomme de terre ( $F = 5,100$  ;  $p = 0,043$ ). L'effet des répétitions se situe à la limite de la significativité statistique ( $p = 0,053$ ), ce qui pourrait indiquer une légère influence des conditions locales de chaque bloc sur le rendement final, sans pour autant remettre en cause la validité des comparaisons entre traitements. Ce résultat global confirme que le choix du fertilisant constitue un levier agronomique déterminant pour optimiser la productivité de la pomme de terre dans les conditions des Hautes Terres malgaches. La combinaison fumier et poudre de corne (T3), en assurant un apport progressif et équilibré en éléments

nutritifs majeurs tout en améliorant les propriétés physiques du sol, apparaît comme la stratégie fertilisante la plus prometteuse pour les producteurs de la région Analamanga. Cette approche présente en outre l'avantage d'être accessible localement et économiquement plus viable pour les petits producteurs que les engrais minéraux de synthèse, dont le coût reste un obstacle majeur à leur adoption à grande échelle (Razafindramanana et al., 2020).

## CONCLUSION :

Cette étude a permis d'évaluer l'effet de quatre types de fertilisants sur la croissance et le rendement de la pomme de terre (G5) dans les conditions des Hautes Terres malgaches. Les résultats montrent que la nature du fertilisant n'influence pas le taux de levée, celui-ci étant davantage déterminé par la qualité physiologique des tubercules-semences. En revanche, les fertilisants exercent un effet significatif sur la croissance végétative, notamment la hauteur des plants et le nombre de feuilles, ainsi que sur le poids des tubercules et le rendement global. La combinaison fumier de zébu et poudre de corne (T3) s'est révélée la plus performante sur l'ensemble des paramètres étudiés, grâce à la complémentarité de ses composantes organiques assurant une nutrition progressive et équilibrée de la plante. Le fumier seul (T4) s'est montré le moins efficace, confirmant qu'il ne suffit pas à lui seul à couvrir les besoins nutritifs de la culture. Ces résultats ouvrent des perspectives prometteuses pour les petits producteurs de la région Analamanga, en proposant une alternative fertilisante localement accessible et économiquement viable aux engrais minéraux de synthèse, contribuant ainsi à l'amélioration durable de la productivité de la filière pomme de terre à Madagascar.

## BIBLIOGRAPHIE :

- Fageria, N.K., Baligar, V.C. & Jones, C.A. (2011). *Growth and Mineral Nutrition of Field Crops* (3rd ed.). CRC Press
- FAO, IFA & IFDC. (1992). *Fertilizer use by crop 1*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gagnon, B. & Simard, R.R. (1999). *Nitrogen and phosphorus release from on-farm and industrial composts*. Canadian Journal of Soil Science, 79(3), 481–489.
- Khaleel, R., Reddy, K.R. & Overcash, M.R. (1981). *Changes in soil physical properties due to organic waste applications*. Journal of Environmental Quality, 10(2), 133–141
- Koenig, R., & Johnson, M. (2011). *Selecting and Using Organic Fertilizers* (HG-510). Logan, UT : Utah State University Extension.
- Noroso Christine RAZAFINDRAMANANA, Patrice AUTFRAY, Raymond RABENSON, Jean Chrysostôme RANDRIAMBOAVONJY, Mihoby Arivony RAJAOMINOSON4 et Jean Marie RAZAFINDRAJONA, août 2020, Effets de la poudre d'os et de fumier de zébu sur la production de haricot (*Phaseolus vulgaris* L) sur les Hautes Terres malgaches., Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques, BP 175 - 101 Antananarivo, Madagascar.
- Owen, O., Winsor, G. W., & Long, M. I. E. (1953). The effects of fineness of grinding on the availability of nitrogen from horn and hoof meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 4(11), 524–529
- Planificateur A-contrasens. (2025). *Climat et météo de la région Analamanga, Madagascar*. [https://planificateur.a-contrasens.net/afrique/madagascar/analamanga-region/analamanga\\_region/7670856.html](https://planificateur.a-contrasens.net/afrique/madagascar/analamanga-region/analamanga_region/7670856.html)
- Raminoarison, M., Blanchart, E., Razafimbelo, T., Thuriès, L., Trap, J., 2022. Chemical and biochemical quality of organic and/ or mineral fertilization resources - A dataset from the Highlands of Madagascar. Data in Brief 43, 108458. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108458>
- Raminoarison, M., Jaillard, B., Razafimbelo, T., Rahajaharilaza, K., Blanchart, E., Trap, J., 2024. Optimizing soil and plant functions: combinatory design of fertilizing resources assemblage for rainfed rice in Madagascar. Ex. Agric. 60, e18. <https://doi.org/10.1017/S0014479724000103>
- Sai, R., & Paswan, S. (2024). Influence of higher levels of NPK fertilizers on growth, yield, and profitability of three potato varieties in Surma, Bajhang, Nepal. *Heliyon*, 10(14), e34601. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34601>
- Scholz, R.W. & Wellmer, F.W. (2013). *Approaching a dynamic view on the availability of mineral resources*. Ecological Economics, 90, 114–123.

Sullivan, D.M. & Miller, R.O. (2001). *Compost quality attributes, measurements and variability*. In: Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems, CRC Press.

Struik, P.C. & Wiersema, S.G. (1999). *Seed Potato Technology*. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands.

Thomas-Sharma, S., Abdurahman, A., Ali, S., Andrade-Piedra, J. L., Bao, S., Charkowski, A. O., Crook, D., Kadian, M., Kromann, P., Struik, P. C., Torrance, L., Garrett, K. A., & Forbes, G. A. (2016). Seed degeneration in potato: The need for an integrated seed health strategy to mitigate the problem in developing countries. *Plant Pathology*, 65(1), 3–16. <https://doi.org/10.1111/ppa.12439>