

Evaluation de la viabilité de l'intensification
par l'utilisation d'engrais minéraux dans les
exploitations agricoles du lac Alaotra,
Madagascar

Myriam REYNAUD-CLEYET



Maître de stage : Eric PENOT
Tuteur ENSAT : Roman TEISSERENC
Période du stage : 30 mai au 5 août 2011

Table des matières

| | |
|--|----|
| Introduction | 3 |
| I. Matériels et méthodes..... | 5 |
| 1. Zone d'étude | 5 |
| a. La région du lac Alaotra | 5 |
| b. Contexte pédo-climatique de la région du lac Alaotra | 6 |
| 2. Démarche méthodologique | 8 |
| a. Les données disponibles | 8 |
| c. Méthode d'analyse des différents types de données..... | 10 |
| II. Résultats..... | 19 |
| 1. Résultats obtenus pour les données de Tafa | 19 |
| a. Culture de maïs sur tanety..... | 19 |
| b. Culture de maïs sur baibohos | 20 |
| c. Culture de riz sur tanety | 21 |
| b. Culture de riz sur baibohos..... | 22 |
| c. Culture de riz sur rizière irriguée | 23 |
| 2. Résultats obtenus pour les données standards | 24 |
| a. Culture de riz sur baibohos zone VSE..... | 24 |
| b. Culture de riz sur tanety zone ZNE..... | 28 |
| c. Culture de maïs sur baibohos zone VSE | 30 |
| d. Culture de maïs sur tanety zone ZNE | 30 |
| 3. Résultats obtenus pour les données réelles | 32 |
| a. Culture de maïs sur baibohos de la zone VSE..... | 32 |
| b. Culture de riz sur baibohos de la zone VSE | 39 |
| c. Culture de maïs sur tanety de la zone ZNE..... | 42 |
| d. Culture de riz sur tanety de la zone ZNE | 45 |
| 4. Résultats de l'application des modèles au données de Tafa et aux données standards .. | 48 |
| a. Culture de maïs sur tanety..... | 48 |
| b. Culture de maïs sur baibohos | 50 |
| c. Culture de riz sur tanety | 51 |
| d. Culture de riz sur baibohos..... | 54 |
| III. Conclusion | 58 |

Introduction

La région du lac Alaotra, grande cuvette cernée de collines, est l'une des principales zones rizicoles de Madagascar avec plus de 100 000 hectares de rizières. La région, surnommée « grenier à riz malgache », est excédentaire en riz et joue un rôle important dans les échanges inter-régionaux, en particulier pour l'approvisionnement des deux grandes villes d'Antananarivo et Tamatave.

Le potentiel rizicole de l'Alaotra fut mis en valeur grâce aux périmètres hydro-agricoles aménagés par la SOMALAC (Société Malgache d'Aménagement du Lac Alaotra) dans les années 60 et 70. Depuis 40 ans, l'attractivité de la Région entraîne une forte immigration à laquelle s'ajoute un taux de natalité élevé. La population a triplé depuis 1960 et cette forte croissance démographique conduit aujourd'hui à une saturation foncière et à une pression grandissante sur les ressources naturelles.

Le système agraire de la région, traditionnellement basé sur la riziculture de plaine et l'élevage bovin, a profondément évolué depuis les vingt-cinq dernières années : sous l'effet de la pression foncière, les agriculteurs ont progressivement colonisé les tanety (collines) jusqu'alors peu mis en valeur ou réservés à la pâture des troupeaux.

L'expansion des surfaces cultivées, l'abandon de la jachère et la défriche de zones encore boisées accentuent les phénomènes naturels d'érosion, accélérant ainsi la dégradation du milieu : perte de fertilité des sols, ensablement des canaux d'irrigation en aval, chute de la production halieutique et même comblement amorcé du lac. Aujourd'hui, sur les 30 000 hectares de rizières aménagés par la SOMALAC, seulement 10 000 hectares bénéficient effectivement d'une bonne maîtrise de l'eau. (DURAND et NAVE, 2006).

Dans ce contexte de dégradation croissante des ressources naturelles, des programmes de recherche et développement nationaux et français ont mis en place la diffusion de techniques agro-écologiques, basées sur l'agriculture de conservation. Les systèmes de culture sous couvert végétal (SCV) sont une des techniques diffusées depuis les années 1990 au lac Alaotra. L'objectif de l'introduction de ces nouveaux systèmes de culture est d'améliorer les rendements tout en préservant les ressources naturelles (FABRE, 2011).

Au lac Alaotra, après s'être heurtée à de nombreuses difficultés (contraintes d'accès aux intrants, complexité des techniques pour les petites exploitations), l'adoption des SCV a commencé à se généraliser avec le lancement du projet BV-Lac. Ce projet démarré en 2003, a été conduit en deux phases successives d'une durée de 5 ans chacune, passant d'une approche conseil technique à la parcelle à une approche globale de l'exploitation.

Du fait de la pression démographique et des besoins d'élévation du niveau de vie des ruraux, l'intensification reste un enjeu central pour le devenir de l'agriculture malgache (GARIN, 1998). L'accroissement peut se faire marginalement par une expansion des surfaces cultivées, mais l'intensification agricole par l'augmentation de la fertilité des sols reste un élément indispensable pour atteindre cet objectif. Pour cela, l'utilisation d'engrais minéraux

constitue une des solutions. Les systèmes SCV permettent de créer un cadre plus sécurisé pour l'utilisation d'intrants.

Néanmoins, les agriculteurs malgaches sont exposés à une multitude de risques, d'où leur réticence à utiliser des engrais chimiques.

Le risque agricole se porte sur trois points :

- Les risques de facteurs de production comprenant principalement l'accès à l'eau, l'insécurité foncière, le manque de trésorerie et la difficulté d'obtenir du crédit.
- Les risques de production qui comprennent les aléas climatiques (inondation, sécheresse) et le risque délictueux (vol d'animaux, de récolte, les incendies de brousse et de forêt).
- Les risques de commercialisation qui renvoient notamment à toute la problématique de fluctuation de prix, d'accès au marché (taxes, transports, proximité de marchés...).

L'environnement de la production donne peu de solutions pour gérer ces risques de façon optimale. (MAEP)

Jusqu'en 2008, la diffusion des techniques de fertilisation minérale avait poussé les agriculteurs de la région du lac Alaotra à utiliser des engrais minéraux pour intensifier leurs cultures. Les techniciens conseillaient une fertilisation du type 150kg de NPK (de composition 11 ; 22 ; 16) et 80 kg d'urée ; les prix des engrais étant relativement bas (1500 Ar/kg de NPK)

En 2009, le prix des intrants a fortement augmenté jusqu'à doubler en 2010 (2600 Ar/kg de NPK). Cette augmentation a entraîné une baisse du retour sur investissement¹, rapport dissuasif dans un contexte de risques élevés pour les producteurs et ne justifiant plus l'emploi des engrais d'une manière rentable.

Aujourd'hui, les prix sont redescendus de façon significative (1600 Ar/kg de NPK), mais les agriculteurs restent très réticents à la fertilisation minérale.

Certes, d'un point de vue purement technique sur le rendement, l'apport d'engrais peut améliorer significativement la productivité ; mais l'analyse des comptes d'exploitation peut montrer que le gain de production généré par l'utilisation des intrants peut être faible voire avoir un impact négatif et donc apparaître comme risqué. (CAPFIDA, 2011)

Dans le contexte actuel de fluctuation du prix des intrants, quelles sont les préconisations à diffuser concernant la fertilisation minérale?

L'objectif de cette étude est de déterminer un seuil d'utilisation des engrais minéraux prenant en compte le gain (ou la perte) généré par l'utilisation des intrants ainsi que le risque encouru par son adoption.

Les résultats développés dans ce rapport ont donc pour but d'apporter des conseils économiques concernant l'utilisation des engrais minéraux.

¹ Rapport de la marge brute sur les charges opérationnelles

I. Matériels et méthodes

1. Zone d'étude

a. La région du lac Alaotra

Notre zone d'étude (Figure 1) se trouve dans la partie Nord-Est de l'île (région Alaotra-Mangoro, province de Tamatave), à 250 km d'Antananarivo, reliée en grande partie par une piste.

Malgré son enclavement, la région se trouve depuis plusieurs décennies au cœur d'enjeux majeurs concernant la production rizicole. En effet, dans années 1970, le gouvernement malgache décide de faire de l'Alaotra le « grenier à riz de Madagascar », avec pour objectif de parvenir à l'autosuffisance alimentaire et de faire passer l'île de la position d'importateur à celle d'exportateur. Grâce à l'augmentation des surfaces cultivées et à la maîtrise de l'eau (liée aux aménagements réalisés par la SOMALAC), la production de riz double dans les années 70. Cependant, les effets sont amoindris par une hausse rapide de la population au lac (forte natalité, migration) et la région enregistre une régression des surplus rizicoles destinés à la commercialisation. (DEVÈZE, 2006)

Actuellement, la région du lac Alaotra compte près de 30 000 ha de périmètres irrigués aménagés et environ 72 000 ha de périmètres traditionnels sans maîtrise de l'eau (MAEP,2004). Malgré une saturation des rendements, un manque d'entretien des réseaux d'irrigation, et une population toujours en hausse, la région du lac Alaotra demeure grande productrice de riz à l'échelle nationale : entre 250 000 tonnes et 300 000 tonnes de riz paddy produit tous les ans ce qui représente 9% de la production nationale. (CAPFIDA, 2006)



Figure 1 : Localisation du lac Alaotra, d'après Oustry, 2007

b. Contexte pédo-climatique de la région du lac Alaotra

Un climat irrégulier

La région du lac Alaotra est marquée par un climat tropical humide de moyenne altitude. La région étant située dans la zone de convergence intertropicale, le climat est caractérisé par deux saisons nettement contrastées : la saison des pluies (correspondant à l'été austral) et la saison sèche (l'hiver austral) : (DURAND et NAVE, 2006)

- L'été austral, de mars à novembre est sec et frais (température moyenne de 17°C), et caractérisé par un déficit hydrique qui rend impossible deux cultures de riz par an.
- L'hiver austral, chaud et humide enregistre 80% des précipitations annuelles, parfois réparties sur quelques jours seulement. On y enregistre de fortes variations pluviométriques inter annuelles, notamment quant à la date d'apparition des premières pluies. (TERRIER, 2008)

Ce climat aux saisons contrastées constitue pour les agriculteurs du lac, un facteur de risque important de part :

- Son irrégularité interannuelle : une forte variabilité du niveau de précipitation est à l'origine de campagne très sèche ou très arrosée. En cours de cycle, une inondation ou une sécheresse prolongée font chuter les rendements et peuvent même conduire à la perte de toute la parcelle.
- Son irrégularité intra-annuelle: Un décalage du début de la saison des pluies entraîne un retard de la mise en place des cultures.
- Son caractère fortement érosif : En début et en fin de saison des pluies les précipitations sont du type : orages violents et courts. Elles sont particulièrement érosives, d'autant plus qu'elles ont lieu au moment de l'implantation des cultures (début de saison des pluies) où le sol est généralement laissé à nu. (BASCOU, 2010)

Des reliefs et des sols diversifiés

La région du lac Alaotra, est une vaste plaine de 180 000 km² située à 750 m d'altitude sur un plateau granito-gneissique et entourée d'une auréole de collines (tanety) culminants jusqu'à 1500 m d'altitude. Le lac Alaotra couvre une superficie de 200 km² à l'étiage. Il est entouré d'une vaste zone de marais et marécages. On note une asymétrie Est-Ouest (figure 2). En effet, tandis qu'à l'ouest de grandes surfaces de plaines s'étendent entre le lac et les tanety, à l'est les collines plongent plus abruptement vers le lac et les terres cultivables en rizières irriguées y sont moins nombreuses.

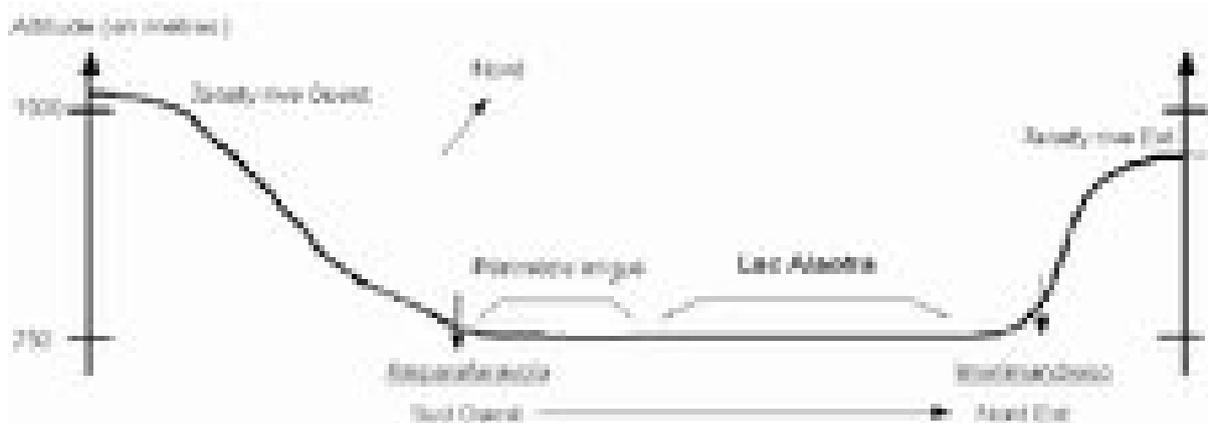


Figure 2 : Transect général Est-Ouest, d'après Nave&Durand, 2007

Trois grands types de sols se côtoient dans la région du lac Alaotra et sont à mettre en relation avec les différentes unités géomorphologiques que l'on y rencontre. On distingue :

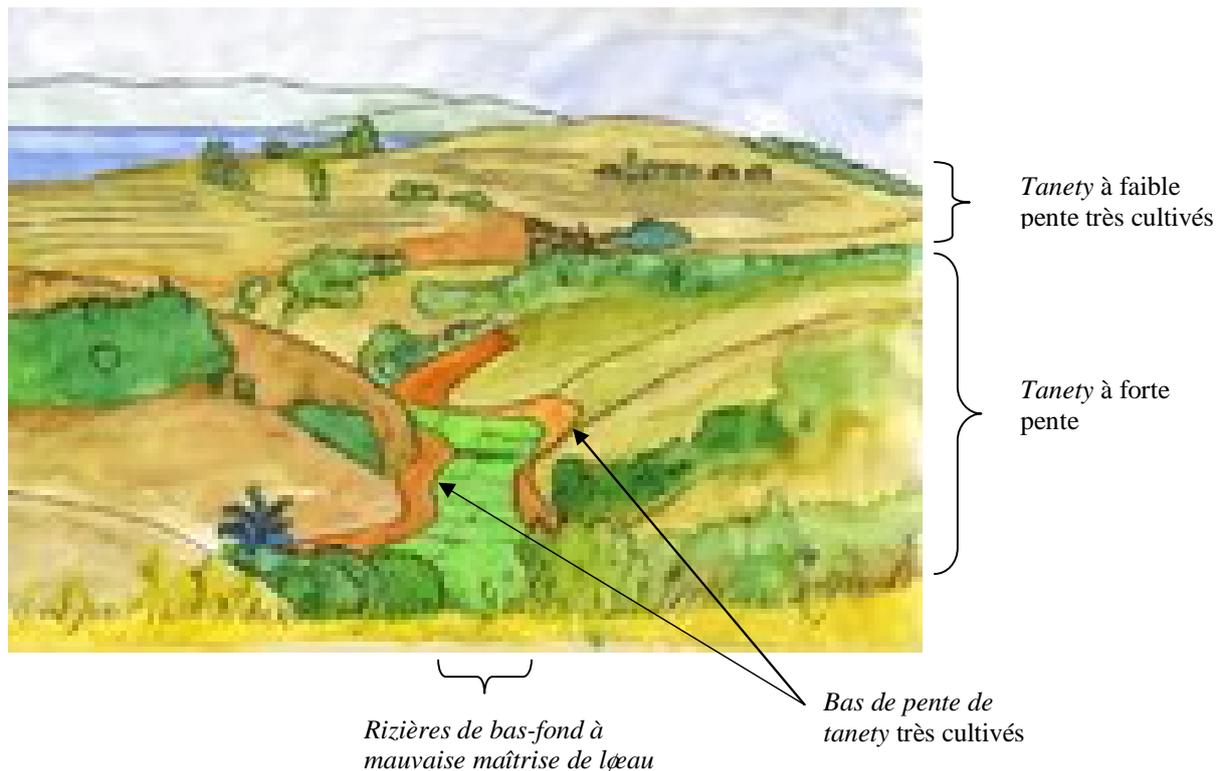
- les sols latéritiques de tanety dont la fertilité est fonction de la roche mère :
 - o au sud et au sud ouest, les sols sont sableux et mal structurés sur roche acide quartzreuse,
 - o à l'est et au nord, les sols de tanety sont mieux structurés et plus fertiles.
- Les sols alluvionnaires des baibohos dans les vallées sont des sols faciles à travailler, enrichis des dépôts colluviaux. Ce sont des sols fertiles bénéficiant de remontées capillaires durant toute l'année, ce qui rend possible les cultures de contre-saison. Ces sols à fort potentiel agricole sont présents essentiellement sur la rive est du lac.
- Les sols des plaines rizicoles, surtout étendus sur la rive ouest du lac. On distingue deux types de rizières :
 - o Les rizières irriguées qui sont des sols hydromorphes non organiques,
 - o Les rizières à mauvaise maîtrise de l'eau qui sont des sols plus ou moins sableux et hétérogène. (TERRIER, 2008)

Notre étude portera principalement sur les tanety de la zone Nord-est (ZNE) et les baibohos de la zone du versant Sud-est (VSE). La zone VSE est caractérisée par une prédominance des baibohos par rapport aux tanety, et inversement pour la zone ZNE (figure 3 & 4)

Figure 3: Le paysage du versant Sud-est, d'après Fabre, 2011



Figure 4 : Le paysage de la zone Nord-est, d'après Fabre, 2011



2. Démarche méthodologique

L'étude menée a pour but de déterminer les prix seuils d'utilisation des engrais minéraux pour les différentes cultures du lac Alaotra.

Pour cela, trois types de données sont disponibles. Elles sont présentées dans le paragraphe suivant. Plusieurs méthodes d'études seront mises en place pour étudier de façon la plus adaptée les différentes données disponibles.

Un travail préliminaire visant à synthétiser les résultats économiques des cultures de maïs et de riz du lac Alaotra a été réalisé à partir des *données standards du RFR* (cf définition 2.a.ii). Il est présenté en annexe 2. Les calculs économiques utilisés reposent sur les définitions présentées en annexe 1.

a. Les données disponibles

i. Les données expérimentales de Tafa

Tafa, *Tany sy Fampandrosoana* (Terre et Développement), est une ONG créée en 1994. Elle a pour objectif de développer des systèmes de cultures adaptables individuellement à la situation de chaque paysan et au niveau de terroirs villageois. Elle conduit ainsi des essais techniques dans les grandes zones agro-écologiques de Madagascar, et notamment au Lac Alaotra sur différents types de sols.

En 2009, Tafa a conduit des cultures expérimentales en semi direct sur différents types de sols (baibohos, tanety et rizières), pour deux types de cultures (maïs et riz) et pour plusieurs précédents culturels. Dans chacun des cas, des essais expérimentaux suivant un même

itinéraire technique ont été réalisé avec et sans engrais minéraux. Les observations obtenues permettent de déterminer l'effet sur le rendement de l'intensification des cultures par la fertilisation minérale. Les données utilisées sont extraites du document de Tafa intitulé *Fiches technico-économiques des parcelles sur sites de références*.

Les données réelles récoltées auprès des paysans du réseau de fermes de références (RFR)

En 2007, un réseau de fermes de référence a été mis en place au lac Alaotra. (CAUVY & PENOT, 2009)

Ce réseau de fermes de références est un ensemble d'exploitations agricoles réelles représentatives des différentes situations agricoles rencontrées dans la zone d'intervention du projet. Cette représentativité est basée sur la typologie des exploitations agricoles réalisées par Stéphanie Nave et Claire Durand en 2007. Le réseau se compose de fermes encadrées ou non par le projet BV Lac ; les exploitations non encadrées par le projet servants ainsi de témoins quant à l'évolution des exploitations encadrées par le projet.

Les exploitations sont suivies annuellement par les opérateurs du projet et modélisées sous le logiciel Olympe (logiciel de modélisation et d'analyse économique d'exploitations agricoles).

Une ferme de référence est donc une exploitation réelle représentative d'un type d'exploitation donnée dans une zone donnée et modélisée sous le logiciel Olympe sur la base d'une enquête détaillée concernant :

- l'installation et l'historique de l'exploitation
- les facteurs de productions disponibles (main d'œuvre familiale et salariée, équipement agricole, foncier et accès aux différentes unités géomorphologiques)
- les systèmes de cultures pérennes (fruitiers et bois)
- les systèmes de cultures annuelles (riziculture, culture pluviales et contre-saison) et leur niveau d'intensification
- les pratiques d'élevage
- les recettes et dépenses de la famille ainsi que les sources de revenu non agricole

(FABRE, 2011)

Initialement, le RFR était constitué de 48 fermes. Actuellement, il n'en comporte plus que 15. Nos études seront effectuées sur les données de 2008 car d'une part c'est l'année où les enquêtes ont été réalisées avec le plus de précision et de rigueur, d'autre part, il serait trop long d'analyser les données de toutes les années enquêtées dans le temps imparti et enfin, 2008 correspond à l'année où le plus grand nombre de paysans utilisait des engrais minéraux du fait de leurs prix suffisamment faibles.

De plus nous nous intéresserons uniquement aux cultures de maïs et de riz, des baibohos pour la zone VSE et des tanety pour la zone ZNE. En effet, d'une part, ce sont les cultures et les zones pour lesquelles nous disposons du plus grand nombre de données ; d'autre part, la zone VSE est caractérisée par une prédominance des baibohos par rapport aux tanety, et inversement pour la zone ZNE ; enfin, cela nous permettra de faire des comparaisons avec les résultats obtenus auprès des données de Tafa.

Les données utilisées seront extraites du logiciel Olympe.

Les données standards calculées à partir des données réelles.

Les données standards correspondent à des moyennes de données réelles récoltées sur le terrain ayant un itinéraire technique et un rendement similaire.

Les données standards utilisées ont été fournies par Raphaël Domas.

c. Méthode d'analyse des différents types de données.

i. Détermination du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour les données expérimentales de Tafa.

Les observations obtenues sur les parcelles expérimentales de Tafa permettent de mesurer l'effet de la fertilisation minérale sur le rendement de la culture.

L'étude a pour but de déterminer le prix seuil d'utilisation des engrais minéraux. Pour cela, deux analyses complémentaires seront réalisées :

- Une modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale, en fonction du prix des engrais minéraux.
- Une modélisation du retour sur investissement en fonction du prix des engrais minéraux.

➤ **Description des données disponibles**

Un jeu de données correspond à deux cultures expérimentales réalisées suivant un même itinéraire technique, l'une sans fertilisation minérale et la seconde avec fertilisation minérale.

Les jeux de données sont répartis comme suit :

| | Tanety | Baibohos | Rizièrre irriguée |
|---------------------------------|--------|----------|-------------------|
| Culture de riz en semis direct | 4 | 1 | 1 |
| Culture de riz sur labour | 1 | 1 | 1 |
| Culture de maïs en semis direct | 5 | 2 | 0 |

Tableau 1 : Nombre de jeux de données par culture et par sol

Les engrais utilisés par Tafa sont soit l'association *urée+NPK*, soit l'association *DAP+KCl+Urée*.

Pour les deux analyses qui seront réalisées, nous détaillerons uniquement les méthodes de calculs pour l'association *Urée+NPK*, les calculs étant similaires pour l'association *DAP+KCl+Urée*.

➤ **Modélisation du gain dégagée par l'utilisation d'engrais minéraux, en fonction du prix de ceux-ci.**

Notation :

MB = Matière brute, PB = Produit brut, CO = Charges opérationnelles

A = Charges opérationnelles autres que celles liées aux engrais minéraux

B = Charges opérationnelles liées aux engrais minéraux

x = prix NPK, y = prix urée, qté = quantité de

L'indice α , indique que l'itinéraire technique suivi utilise des engrais minéraux.
L'indice s , indique que l'itinéraire technique n'utilise pas des engrais minéraux.

Calcul du gain :

On a $MB = PB - CO$

Avec engrais minéraux : $MB_a = PB_a - CO_a = PB_a - (A+B)$

Sans engrais minéraux : $MB_s = PB_s - CO_s = PB_a - A$

Le prix seuil des engrais minéraux à partir duquel il est intéressant de fertiliser répond à l'équation :

$$\begin{aligned}
 MB_a = MB_s &\Leftrightarrow PB_a - (A+B) = PB_s - A \\
 &\Leftrightarrow PB_a - PB_s = B \\
 &\Leftrightarrow PB_a - PB_s = (\text{qté NPK}) * x + (\text{qté urée}) * y \quad \{1\}
 \end{aligned}$$

Il s'agit ensuite de déterminer une fonction exprimant le prix des engrais à partir d'une seule variable. Soit $y = k * x$, avec k le rapport moyen *prix Urée/prix NPK* sur les années 2008 à 2011.

| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|----------------|------|------|------|------|
| Prix NPK (Ar) | 1500 | 2000 | 2600 | 1650 |
| Prix Urée (Ar) | 1300 | 1400 | 1800 | 1350 |
| Rapport | 0,86 | 0,70 | 0,69 | 0,81 |

| |
|--|
| Moyenne du rapport <i>prix Urée/prix NPK</i> |
| $k = 0,765$ |

Tableau 2 : Prix des engrais NPK et Urée pour les années 2008 à 2011 et moyenne du rapport (prix urée/prix NPK)

Ainsi, l'équation précédente {1} devient $PB_a - PB_s = (\text{qté NPK} + (k * (\text{qté urée}))) * x$
 $PB_a - PB_s$ correspond au gain ou à la perte due à la fertilisation minérale.

Conclusion :

- si $PB_a - PB_s = (\text{qté NPK} + (k * (\text{qté urée}))) * x \Leftrightarrow x = (PB_a - PB_s) / (\text{qté NPK} + k * (\text{qté urée}))$

Le gain est nul donc le fait d'utiliser des intrants n'entraîne pas un gain d'argent supérieur à celui obtenu en suivant un itinéraire technique sans engrais minéraux. En revanche le risque pris par l'agriculteur est important, d'autant plus s'il a réalisé un crédit pour acheter des engrais.

- si $PB_a - PB_s > (\text{qté NPK} + (k * (\text{qté urée}))) * x \Leftrightarrow x < (PB_a - PB_s) / (\text{qté NPK} + k * (\text{qté urée}))$

Le gain est positif donc les paysans ont intérêt à utiliser des engrais minéraux.

- si $PB_a - PB_s < (\text{qté NPK} + (k * (\text{qté urée}))) * x \Leftrightarrow x > (PB_a - PB_s) / (\text{qté NPK} + k * (\text{qté urée}))$

Le gain est négatif donc la marge brute dégagée pour une parcelle cultivée avec des engrais minéraux est inférieure à celle obtenue pour une culture sans engrais minéraux. Les paysans n'ont donc pas intérêt à utiliser des engrais minéraux.

Ainsi, connaissant le prix des engrais, cette modélisation permettra de déterminer chaque année le gain susceptible d'être réalisé grâce à la une fertilisation minérale.

➤ **Modélisation du retour sur investissement en fonction du prix des engrais minéraux**

Pour compléter les résultats obtenus avec la modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale, il est intéressant de calculer le retour sur investissement engendré dans le cas de l'itinéraire technique avec fertilisation minérale.

Le calcul du retour sur investissement (RI) permet de mesurer le risque pris par l'agriculteur d'utiliser des engrais minéraux sur sa culture. Il correspond au rapport de la marge brute sur les charges opérationnelles.

Calcul du retour sur investissement :

$$RI = MB_a/CO_a \Leftrightarrow RI = (PB_a - CO_a)/CO_a$$

$$\Leftrightarrow RI = PB_a/CO_a - 1$$

$$\Leftrightarrow RI = (PB_a/(A + (qté NPK + k*(qté urée))*x)) - 1$$

Conclusion :

- Si $RI < 1,5$, le retour sur investissement est faible donc le risque est important et il n'est pas conseillé d'utiliser des engrais minéraux.

$$RI < 1,5 \Leftrightarrow (PB_a/(A + (qté NPK + k*(qté urée))*x)) - 1 < 1,5$$

$$\Leftrightarrow PB_a/(A + (qté NPK + k*(qté urée))*x) < 2,5$$

$$\Leftrightarrow PB_a < 2,5*(A + (qté NPK + k*(qté urée))*x), \text{ car } A + (qté NPK + k*(qté urée))*x > 0$$

$$\Leftrightarrow x > (PB_a - 2,5*A)/(2,5*(qté NPK + k*(qté urée)))$$

- Si $1,5 < RI < 2$, le retour sur investissement est correct donc le risque est modéré. Le choix de l'utilisation d'engrais minéraux dépend de la stratégie suivie par l'agriculteur.

$$1,5 < RI < 2 \Leftrightarrow (PB_a - 3*A)/(3*(qté NPK + k*(qté urée))) < x < (PB_a - 2,5*A)/(2,5*(qté NPK + k*(qté urée)))$$

- Si $RI > 2$, le retour sur investissement est élevé donc le risque est faible. Il est intéressant d'utiliser des engrais minéraux.

$$RI > 2 \Leftrightarrow x < (PB_a - 3*A)/(3*(qté NPK + k*(qté urée)))$$

➤ **Conclusion sur la détermination du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux**

Le calcul du seuil de rentabilité du prix des engrais minéraux, ainsi que le calcul du retour sur investissement en fonction du prix des engrais, permettront d'apporter chaque année un conseil rigoureux aux paysans quant à l'utilisation ou non de fertilisation minérale.

Les prix seuil d'utilisation des engrais NPK et urée qui seront conseillés aux paysans, correspondront :

- aux prix seuils de rentabilité x_1 et y_1 si ceux-ci se situent dans la zone de prix où le retour sur investissement devient intéressant ($RI > 1,5 \Leftrightarrow x < x_3 \ \& \ y < y_3$). (cf Figure 5)

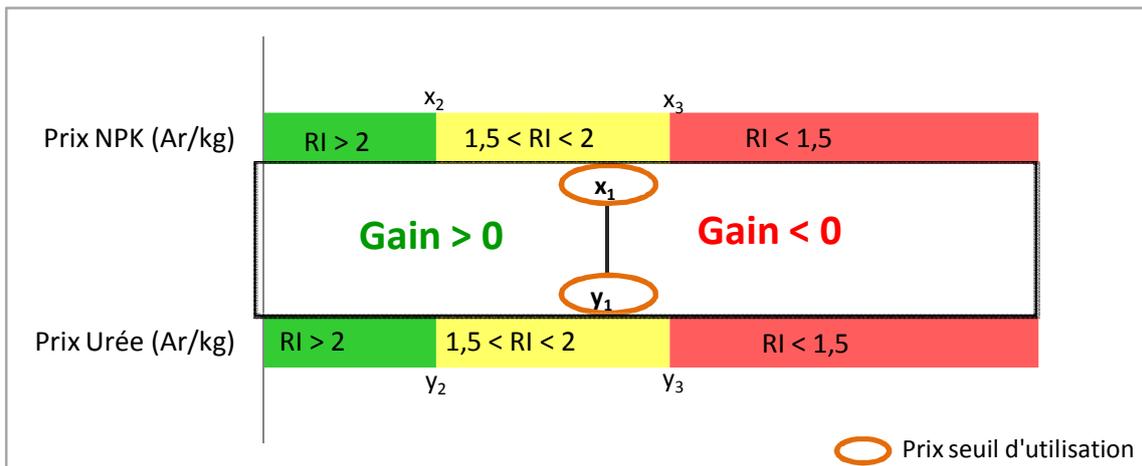


Figure 5 : Détermination visuelle du prix seuil d'utilisation des engrais NPK et urée. Cas où le prix seuil de rentabilité est supérieur au prix seuil calculé pour un $RI > 1,5$

- aux prix où le retour sur investissement devient intéressant ($RI > 1,5 \Leftrightarrow x < x_3$ & $y < y_3$), si les prix seuils de rentabilité du NPK et de l'urée se situent dans la zone de prix où le retour sur investissement est faible ($RI < 1,5 \Leftrightarrow x > x_3$ & $y > y_3$). (cf Figure 6)

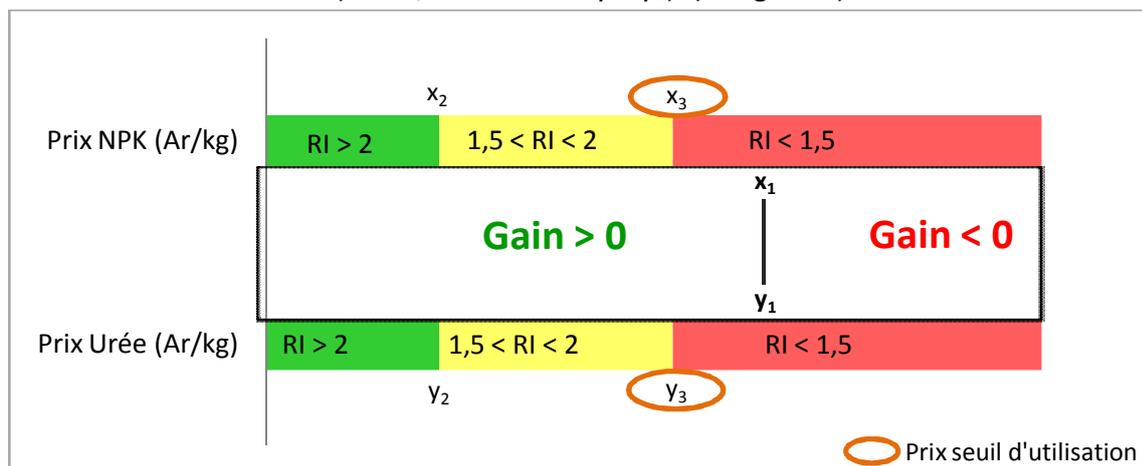


Figure 6 : Détermination visuelle du prix seuil d'utilisation des engrais NPK et urée. Cas où le prix seuil de rentabilité est inférieur au prix seuil calculé pour un $RI > 1,5$

Ainsi, pour la culture de l'année en cours :

- si le prix des engrais NPK et urée sont au-dessus de ces seuils d'utilisation, les préconisations qui devront être faites aux paysans seront de ne pas utiliser des engrais minéraux. En effet, soit utiliser des engrais entraînera une perte d'argent pour le paysan, soit le retour sur investissement sera trop faible et donc le risque pris trop élevé.
- si le prix des engrais NPK et urée sont au-dessous de ces seuils, il commence à être intéressant d'utiliser une fertilisation minérale pour les paysans, car le gain est positif et le retour sur investissement correct ($RI > 1,5$). Pour un retour sur investissement supérieur à 2, ($\Leftrightarrow x < x_2$ & $y < y_2$), le risque pris est encore plus faible d'où un intérêt encore plus élevé de fertiliser la culture.

Critique du modèle :

Il est important de noter que la modélisation du gain dégagé par l'utilisation d'engrais minéraux, ainsi que celle du retour sur investissement en fonction du prix des engrais minéraux ne sont parfaites. En effet, d'une part, ces modélisations ne prennent pas en compte la variabilité du prix de vente de la récolte d'une année sur l'autre (prix basés sur ceux de l'année 2008). D'autre part, le coefficient utilisé afin d'exprimer y en fonction de x est une moyenne du rapport *prix Urée/prix NPK* sur les années 2008 à 2011. Or les prix varient de façon non proportionnelle entre eux d'une année sur l'autre. L'expression du prix de l'urée en fonction du prix du NPK est donc approximative.

Détermination du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour les données standards de 2008 du RFR.

Pour ces données, l'objectif est de réaliser le même type d'étude que pour les données de Tafa, c'est-à-dire de déterminer le prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour les itinéraires techniques standards suivis.

Les données standards sont réparties comme suit :

| | Tanety de la zone ZNE | Baibohos de la zone VSE |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Culture de riz en semis direct | 9 | 4 |
| Culture de riz sur labour | 14 | 14 |
| Culture de maïs en semis direct | 7 | 4 |
| Culture de maïs sur labour | 9 | 10 |

Tableau 3 : nombre de données standards par culture et par type de sol

La difficulté réside dans le fait que, contrairement aux données expérimentales de Tafa, on ne dispose pas de plusieurs données suivant le même itinéraire technique mais ayant des fertilisations différentes. Il est donc difficile de déterminer quelle est la part d'effet de la fertilisation sur le rendement obtenu.

Dans un premier temps, on réalisera un travail préliminaire sur ces données qui consistera à essayer de sélectionner pour chaque culture certains couples de données où l'itinéraire technique suivi est similaire mais où la fertilisation est différente.

Dans un second temps, les mêmes calculs que ceux réalisés pour les données de Tafa seront appliqués à ces données, à savoir :

- Une modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale, en fonction du prix des engrais minéraux.
- Une modélisation du retour sur investissement en fonction du prix des engrais minéraux.

Détermination de modèles d'évolution du rendement en fonction de la fertilisation à partir des données réelles de 2008 du RFR.

➤ **Présentation des données**

L'étude a pour but de rechercher une corrélation linéaire entre le rendement et le niveau de fertilisation. En effet, les doses d'engrais minéraux administrées aux cultures n'étant pas très élevées, l'expression du rendement en fonction de la fertilisation peut être modélisée par une droite. (D'après les dires d'expert).

Les données réelles sont réparties comme suit :

| | Tanety de la zone ZNE | Baibohos de la zone VSE |
|---------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Culture de riz en semis direct | 63 | 320 |
| Culture de riz sur labour | 152 | 269 |
| Culture de maïs en semis direct | 90 | 14 |
| Culture de maïs sur labour | 149 | 38 |

Tableau 4 : Nombre de données réelles par culture et par type de sol

➤ **Recherche d'une relation linéaire entre le rendement et la fertilisation**

Après observation des itinéraires techniques des données réelles, on constate qu'il existe de nombreux types de fertilisation :

- Aucun apport d'engrais organique ou minéral
- Apport de fumure organique
- Apport de fumure organique et de NPK
- Apport de fumure organique et d'urée
- Apport de fumure organique, d'urée et de NPK
- Apport de NPK seul
- Apport d'urée seul
- Apport d'urée et de NPK

Les éléments fertilisants majeurs sont l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K) et le magnésium (Mg). La valeur fertilisante d'un engrais s'exprime par sa teneur :

- en élément pur N pour l'azote
- en anhydride phosphorique P₂O₅ pour le phosphore
- en oxyde anhydre de potassium K₂O pour le potassium
- en oxyde anhydre de magnésium MgO pour le magnésium

D'après les dires d'expert, les baibohos sont des sols plutôt riches en phosphore et potassium et il semblerait que l'azote soit l'élément ayant l'effet le plus important sur ce type de sol. Concernant les tanety, la fertilité des sols est très variable d'une parcelle à une autre. Pour des raisons de simplification, cette étude portera uniquement sur la valeur fertilisante azotée.

Calcul de la valeur fertilisante azotée :

L'azote total administré à la parcelle correspond à la somme de l'azote (N) contenu dans chaque type d'engrais apporté sur la parcelle.

- L'engrais minéral NPK apporté aux cultures est de type 11-22-16, c'est-à-dire qu'un kilogramme d'engrais contient 11% d'azote minéral.
- L'urée contient 46% d'azote minéral.
- La fumure organique (fo) apportée à la culture est généralement de la poudrette de parc contenant 3% d'azote minéral (dires d'expert).

Unités d'azote total = (%N (NPK))*(qté NPK) + (%N (Urée))*(qté Urée) + (%N(fo))*(qté fo)

Unités d'azote total = 0,11*(qté NPK) + 0,46*(qté urée) + 0,03*(qté fo)

Cette équation permet de calculer pour chaque itinéraire technique des données réelles la valeur de fertilisation azotée apportée sur la culture.

Il est important de noter que ce modèle linéaire sera applicable uniquement pour des quantités d'engrais qui correspondent à l'intervalle des valeurs de fertilisation azotée observée sur le terrain.

Graphique et statistiques :

Le nuage de point (*valeur fertilisante azotée, rendement*) sera construit sous excel. Les valeurs extrêmes pourront être retirées puis la modélisation d'une corrélation linéaire entre le rendement et la valeur fertilisante azotée sera testée.

Si la régression linéaire est satisfaisante, cela nous permettra de connaître la quantité supplémentaire produite pour une unité fertilisante azotée en plus.

On obtiendra une expression du type : Rendement = A*N + B {2} (avec N = unité fertilisante azotée).

A partir de cette équation {2}, on souhaite déterminer une relation liant le gain réalisé par la fertilisation azotée à la quantité d'engrais et au prix de l'engrais. Ainsi, à partir d'une telle relation on pourra définir :

- pour le prix de l'engrais de l'année en cours, quelle est la quantité seuil d'engrais minéral à apporter à la parcelle pour que la culture soit rentable et en prenant un risque mesuré.
- pour une quantité d'engrais fixé, quelle est le prix seuil d'utilisation des engrais minéraux.

➤ **Détermination de la quantité seuil d'engrais à apporter à la culture pour un prix de l'engrais connu**

Notation :

PB = Produit brut, MB = Marge brute

a = prix d'un kilo de NPK en Ar, a > 0

b = prix d'un kilo d'urée en Ar, b > 0

y = quantité de NPK apporté sur la parcelle, x > ou = 0

x = quantité d'urée apportée sur la parcelle, y > ou = 0

z = quantité de fumure organique apportée sur la parcelle, $z >$ ou $= 0$. Le prix de la fumure organique est estimé constant à 20 Ar/kg.

N = unité fertilisante azotée

Cl_a = Consommation intermédiaire en engrais minéraux et organiques

Cl_s = Consommation intermédiaire autres que celles liées aux engrais minéraux et organiques

Modélisation du gain dégagé par la fertilisation azotée, en fonction du prix et de la quantité des engrais utilisés.

On a $PB = (\text{prix d'un kilo de récolte}) * \text{Rendement}$

$$= (\text{prix d'un kilo de récolte}) * (A * N + B)$$

$= C * N + D$ (avec C la pente de la droite et D l'ordonnée à l'origine, c'est-à-dire le produit brut théorique obtenu sans apport de fertilisation azotée)

Or $N = 0,11 * y + 0,46 * x + 0,03 * z$ donc $PB = 0,11C * y + 0,46C * x + 0,03C * z + D$

On a $CO = Cl_s + Cl_e = Cl_s + a * y + b * x + 20 * z$

Et $MB = PB - CO$

Donc $MB = (0,11C * y + 0,46C * x + 0,03C * z + D) - (Cl_s + a * y + b * x + 20 * z)$

$$MB = (0,11C - a) * y + (0,46C - b) * x + (0,03C - 20) * z + (D - Cl_s)$$

Donc **Gain = $(0,11C - a) * y + (0,46C - b) * x + (0,03C - 20) * z$** et $D - Cl_s$ correspond à la marge brute réalisée pour une culture sans engrais.

Conclusion :

- Si $(0,11C - a) * y + (0,46C - b) * x + (0,03C - 20) * z = 0 \Leftrightarrow y = ((b - 0,46C) * x + (20 - 0,03C) * z) / (0,11C - a)$ avec $a \sim 0,11C$, alors la fertilisation apportée n'entraîne pas de gain ni de perte d'argent pour le paysan.
- Si $(0,11C - a) * y + (0,46C - b) * x + (0,03C - 20) * z < 0$ alors la fertilisation entraîne une perte d'argent pour le paysan.
 - o Si $a < 0,11C$, $\{2\} \Leftrightarrow y < ((b - 0,46C) * x + (20 - 0,03C) * z) / (0,11C - a)$
 - o Si $a > 0,11C$, $\{2\} \Leftrightarrow y > ((b - 0,46C) * x + (20 - 0,03C) * z) / (0,11C - a)$
- Si $(0,11C - a) * y + (0,46C - b) * x + (0,03C - 20) * z > 0$ alors la fertilisation entraîne un gain d'argent pour le paysan.
 - o Si $a < 0,11C$, $\{2\} \Leftrightarrow y > ((b - 0,46C) * x + (20 - 0,03C) * z) / (0,11C - a)$
 - o Si $a > 0,11C$, $\{2\} \Leftrightarrow y < ((b - 0,46C) * x + (20 - 0,03C) * z) / (0,11C - a)$

Pour une année donnée, le prix du NPK (a) et de l'urée (b) sont connus. La quantité de fumure organique apportée sur la parcelle (z) est fixée par le paysan/technicien. Ainsi, seules les quantités de NPK (y) et d'urée (x) sont variables, et on peut déterminer pour quelles quantités d'urée et de NPK le gain dégagé par la fertilisation azotée est positif, c'est-à-dire quels sont les couples (c, y) pour lesquels la fertilisation azotée est rentable.

L'interprétation du graphique représentant la droite d'équation $y = ((b - 0,46C) * x + (20 - 0,03C) * z) / (0,11C - a)$ est la suivante :

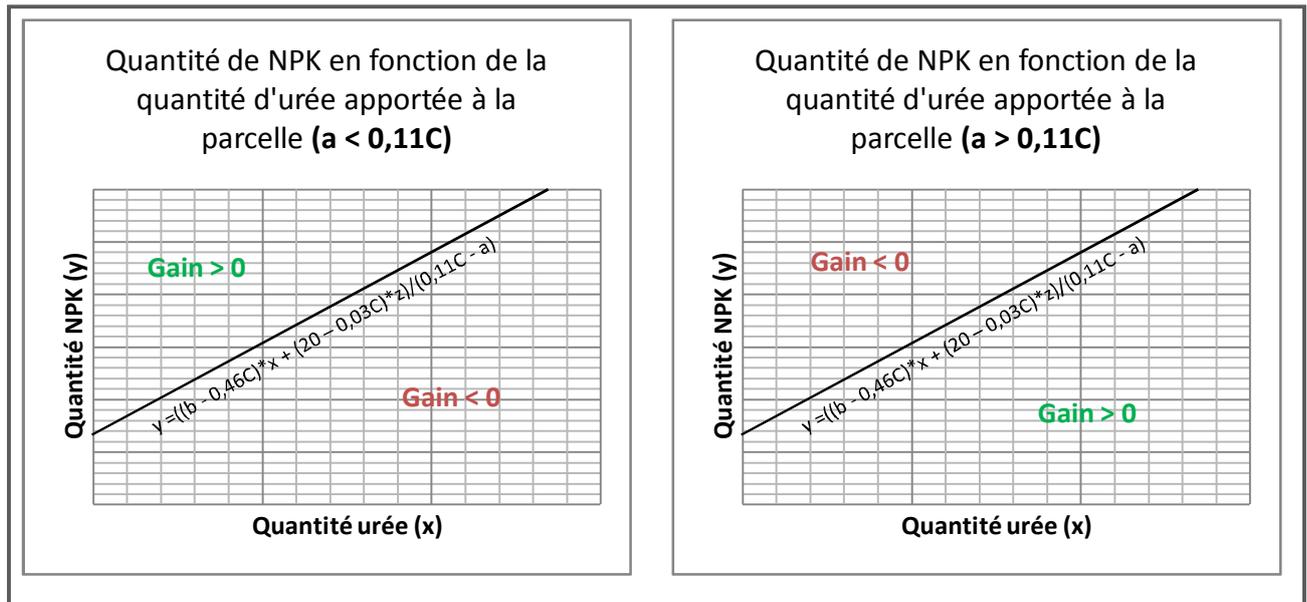


Figure 7 : Graphiques d'aide à l'interprétation des prix seuils de rentabilité des engrais NPK et urée

Modélisation du retour sur investissement en fonction du prix et de la quantité des engrais apportés à la culture

Afin de compléter les résultats, il est intéressant de calculer la quantité seuil d'engrais minéraux pour lequel le retour sur investissement devient intéressant.

- Si $RI < 1,5$, le retour sur investissement est faible donc le risque est élevé. Il n'est pas conseillé de fertiliser.
- En revanche si $RI > 1,5$, le retour sur investissement est correct et il devient intéressant d'utiliser une fertilisation sur les cultures.

$$RI = MB/CO$$

$$= ((0,11C*y + 0,46C*x + 0,03C*z + D) - (CI_s + a*y + b*x + 20*z)) / (CI_s + a*y + b*x + 20*z) - 1$$

$$RI > 1,5 \Leftrightarrow (0,11C*y + 0,46C*x + 0,03C*z + D) / (CI_s + a*y + b*x + 20*z) - 1 > 1,5$$

$$\Leftrightarrow (0,11C*y + 0,46C*x + 0,03C*z + D) / (CI_s + a*y + b*x + 20*z) > 2,5$$

$$\Leftrightarrow (0,11C*y + 0,46C*x + 0,03C*z + D) > 2,5 * (CI_s + a*y + b*x + 20*z), \text{ car } (CI_s + a*y + b*x + 20*z) > 0$$

$$\Leftrightarrow (0,11C - 2,5a)*y + (0,46C - 2,5b)*x + (0,03C - 20)*z + (D - 2,5CI_s) > 0$$

$$\Leftrightarrow (0,11C - 2,5a)*y > (2,5b - 0,46C)*x + (20 - 0,03C)*z + (2,5CI_s - D)$$

- o Si $a < 0,11C/2,5$ alors $y > ((2,5b - 0,46C)*x + (20 - 0,03C)*z + (2,5CI_s - D)) / (0,11C - 2,5a)$

- o Si $a > 0,11C/2,5$ alors $y < ((2,5b - 0,46C)*x + (20 - 0,03C)*z + (2,5CI_s - D)) / (0,11C - 2,5a)$

Ainsi, sur les graphiques précédents, si on ajoute la droite d'équation $y = ((2,5b - 0,46C)*x + (20 - 0,03C)*z + (2,5CI_s - D)) / (0,11C - 2,5a)$, on obtiendra l'ensemble des couples solutions (x,y) qui correspondent à un gain positif et à un retour sur investissement supérieur à 1,5.

➤ **Détermination du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour une quantité fixée d'engrais apportés à la culture.**

Les calculs sont tout à fait similaires aux calculs précédents :

$$\text{Gain} > 0 \Leftrightarrow (0,11C - a)*y + (0,46C - b)*x + (0,03C - 20)*z > 0, \quad (\{3\} > 0)$$

$$\Leftrightarrow (0,11C - a) > ((b - 0,46C)*x + (20 - 0,03C)*z)/y, \text{ car } y > 0 \text{ par définition}$$

$$\Leftrightarrow a < ((0,46C - b)*x + (0,03C - 20)*z)/y + 0,11C$$

$$\text{RI} > 1,5 \Leftrightarrow (0,11C-2,5a)*y + (0,46C-2,5b)*x + (0,03C-20)*z + (D-2,5C_i) > 0$$

$$\Leftrightarrow (0,11C-2,5a) > ((2,5b-0,46C)*x+(20-0,03C)*z+(2,5C_i-D))/y, \text{ car } y > 0 \text{ par définition}$$

$$\Leftrightarrow a < ((0,46C-2,5b)*x+(0,03C-20)*z+(D-2,5C_i))/2,5*y + 0,11C/2,5$$

Ainsi, pour une quantité fixée des engrais NPK(y), urée(x) et fumure organique (z), les couples (a,b) solutions du système d'équations {4} suivant correspondent aux prix des engrais NPK et urée tels que le gain soit positif et le retour sur investissement supérieur à 1,5.

$$\{4\} \begin{cases} a < ((0,46C - b)*x + (0,03C - 20)*z)/y + 0,11C \\ a < ((0,46C-2,5b)*x+(0,03C-20)*z+(D-2,5C_i))/2,5*y + 0,11C/2,5 \end{cases}$$

Application des modèles obtenus aux données de Tafa et aux données standards

Afin de confirmer nos modèles, nous testerons les données Tafa et les données standards étudiées sur ceux-ci.

Pour chaque donnée, nous calculerons la valeur fertilisante azotée apportée à la culture et nous comparerons le produit brut théorique (obtenu à partir de l'équation de modélisation) au produit brut réel observé.

Cela nous permettra de connaître les itinéraires techniques pour lesquels nous pouvons appliquer les modèles.

II. Résultats

1. Résultats obtenus pour les données de Tafa

Dans ce paragraphe, nous donnerons uniquement une synthèse des résultats obtenus. Le détail des calculs étant fourni en **annexe 3**.

a. Culture de maïs sur tanety

Le tableau suivant résume les itinéraires techniques suivis pour les 5 essais culturels réalisés par Tafa de maïs en semis direct sur des tanety (sols riches). A chaque ligne correspond deux cultures suivant le même itinéraire technique mais l'une sans fertilisation minérale et la seconde avec engrais minéraux (case **surlignées**).

| | | Itinéraire technique | | | | | | | | | | Précédent cultural |
|--------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|---------------|---------------|--------------------|
| | | Semences | | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | | | |
| | | culture (kg/ha) | plante de couverture (kg/ha) | fumier (t/ha) | NPK (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Cyperméthrine (L/ha) | Gaucho (g/ha) | Thiram (g/ha) | |
| Semis direct | Maïs + dolique | 25 | 25 | 5 | 150 | 100 | 1,5 | 1,5 | 0,25 | 62,5 | 125 | Riz |
| | Maïs + vigna | 25 | 25 | 5 | 150 | 100 | 1,5 | 1,5 | 0,25 | 62,5 | 125 | Riz |
| | Maïs + Cajanus cajan | 25 | 7 | 5 | 150 | 100 | 1,5 | 1,5 | 0,25 | 62,5 | 125 | Maïs + dolique |
| | Maïs + Crotalaria juncea | 25 | 15 | 5 | 150 | 100 | 1,5 | 1,5 | 0,25 | 62,5 | 125 | Maïs + dolique |
| | Maïs + Desmodium | 25 | 0 | 5 | 150 | 100 | 1,5 | 1,5 | 0 | 62,5 | 0 | Desmodium |

Tableau 5 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 5 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur tanety

Pour ces itinéraires techniques, la fertilisation minérale (150 kg/ha de NPK & 100 kg/ha d'urée) est intéressante pour des prix du NPK et de l'urée inférieurs aux prix seuils d'utilisation donnés dans le tableau suivant.

| | | Prix seuils d'utilisation | |
|--------------|---|---------------------------|-------------------|
| | | prix NPK (Ar/kg) | prix urée (Ar/kg) |
| Semis direct | A : maïs+dolique précédent riz | 1147 | 878 |
| | B : maïs+Vigna umbellata précédent riz | 1931 | 1477 |
| | C : maïs+Cajanus cajan précédent maïs+dolique | 1081 | 827 |
| | D : maïs+Crotalaria juncea précédent maïs+dolique | 1583 | 1211 |
| | E : maïs+Desmodium précédent Desmodium | 618 | 473 |

Tableau 6 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 5 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur tanety, réalisés par Tafa

Pour les itinéraires techniques réalisés, l'association maïs+*Vigna umbellata* est le système permettant le meilleur rendement. C'est également le système qui possède la meilleure réponse aux engrais minéraux. Il est alors intéressant d'utiliser des intrants pour ce système. Si le prix des engrais est assez bas, il peut également être intéressant d'utiliser la fertilisation minérale sur le système maïs+*crotalaria juncea* précédent maïs+dolique.

En revanche pour les trois autres systèmes étudiés, la réponse aux engrais minéraux n'est pas très bonne. Cela engendre des seuils de rentabilité du prix du NPK et de l'urée assez faibles et les paysans n'ont pas intérêt à utiliser des engrais minéraux sur ces systèmes.

b. Culture de maïs sur baibohos

Le tableau suivant résume les itinéraires techniques suivis pour les 2 essais culturels réalisés par Tafa de maïs en semis direct sur des baibohos.

| | | Itinéraire technique | | | | | | | | Précédent cultural |
|--------------|--------------|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|---------------|--------------------|
| | | Semences | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | | |
| | | culture (kg/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaucho (g/ha) | Thiram (g/ha) | |
| Semis direct | Maïs + Vigna | 25 | 130 | 80 | 100 | 1,5 | 1,5 | 62,5 | 125 | Niébé |
| | Maïs + Vigna | 25 | 130 | 80 | 100 | 1,5 | 1,5 | 150 | 0 | avoine |

Tableau 7 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 2 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur baibohos

Pour ces itinéraires techniques, la fertilisation minérale (130 kg/ha de DAP, 80 kg/ha de KCl & 100 kg/ha d'urée) est intéressante pour des prix du DAP, du KCl et de l'urée inférieurs aux prix seuils d'utilisation donnés dans le tableau suivant.

| | | Prix seuils d'utilisation | |
|--------------|---|---------------------------|-------------------|
| | | prix DAP & KCl (Ar/kg) | prix urée (Ar/kg) |
| Semis direct | A : maïs+Vigna umbellata précédent niébé | 1081 | 805 |
| | B : maïs+Vigna umbellata précédent avoine | 1513 | 1127 |

Tableau 8 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 2 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur baibohos, réalisés par Tafa

Le système B a eu une meilleure réponse aux engrais que le système A. Cependant, pour ces deux systèmes, les prix seuils d'utilisation des engrais DAP, KCl et urée restent faibles. Il apparaît donc peu intéressant d'utiliser des engrais minéraux sur ces systèmes (pour les itinéraires techniques étudiés).

c. Culture de riz sur tanety

Sur tanety, Tafa a réalisé les 5 essais culturaux de riz suivants :

| Essai cultural | | Précédent cultural |
|----------------|--------------|--|
| Riz A | Semis direct | Stylosanthès |
| Riz B | Semis direct | Soja + Bracharia |
| Riz C | Semis direct | Sorgho + Eleusine + C.juncea + Cajanus |
| Riz D | Semis direct | Sorgho |
| Riz E | Labour | Sorgho + Eleusine + C.juncea + Cajanus |

Tableau 9 : Les 5 essais culturaux de riz sur tanety réalisés par Tafa

Le même itinéraire technique a été suivi pour ces essais. Il est donné dans le tableau ci-dessous.

| Itinéraire technique | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|--------------------|--|
| Semences | Engrais | | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | | |
| culture (kg/ha) | fumier (t/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaucho (g/ha) | Carbofuran (kg/ha) | |
| 60 | 5 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 | 2,5 | |

Tableau 10 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 5 essais expérimentaux de culture de riz sur tanety

D'après ces essais culturaux, la fertilisation minérale (130 kg/ha de DAP, 80 kg/ha de KCl & 100 kg/ha d'urée) est intéressante pour des prix du DAP, du KCl et de l'urée inférieurs aux prix seuils d'utilisation donnés dans le tableau suivant.

| | | Prix seuils d'utilisation | |
|--------------|---|---------------------------|--------------|
| | | DAP & KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
| Semis direct | A : riz précédent stylosanthès | 1687 | 1257 |
| | B : riz précédent soja+bracharia | 337 | 251 |
| | C : riz précédent sorgho + éleusine + C. juncea + Cajanus | 1274 | 949 |
| | D : riz précédent sorgho | 1207 | 899 |
| Labour | E : riz précédent sorgho + éleusine + C. juncea + Cajanus | 987 | 698 |

Tableau 11 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 5 essais expérimentaux de culture de riz sur tanety, réalisés par Tafa

D'une part, pour les itinéraires techniques étudiés, le système A est celui qui permet le meilleur rendement. Si le prix des engrais est assez bas, il peut être intéressant d'utiliser la fertilisation minérale sur ce système.

Pour les autres systèmes, les prix seuil d'utilisation des engrais DAP, KCl et urée sont dans l'ensemble faibles et il apparaît donc peu intéressant d'utiliser des engrais minéraux.

D'autre part, cette analyse permet de comparer l'effet du semis direct par rapport au labour. Les systèmes C (semis direct) et E (labour) suivent le même itinéraire technique mais on constate que le rendement est meilleur dans le cas C que dans le cas E (augmentation du rendement de 28% pour l'essai cultural sans engrais minéraux et de 16% pour l'essai cultural avec engrais minéraux). Cette observation confirme bien l'intérêt du semis direct.

b. Culture de riz sur baibohos

Sur baibohos, Tafa a réalisé les 2 essais culturaux de riz suivants :

| Essai cultural | | Précédent cultural |
|----------------|--------------|--------------------|
| Riz A | Labour | dolique |
| Riz B | Semis direct | dolique |

Tableau 12 : Les 2 essais culturaux de riz sur baibohos réalisés par Tafa

Le même itinéraire technique a été suivi pour ces essais. Il est donné dans le tableau ci-dessous.

| Itinéraire technique | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| Semences | Engrais | | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides |
| culture (kg/ha) | fumier (t/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaucho (g/ha) |
| 60 | 5 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 |

Tableau 13 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur baibohos

D'après ces essais culturaux, la fertilisation minérale (130 kg/ha de DAP, 80 kg/ha de KCl & 100 kg/ha d'urée) est intéressante pour des prix du DAP, du KCl et de l'urée inférieurs aux prix seuils d'utilisation donnés dans le tableau suivant.

| | | Prix seuils d'utilisation | |
|--------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| | | DAP & KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
| Labour | A : riz précédent dolique | 2139 | 1594 |
| Semis direct | B : riz précédent dolique | 1856 | 1383 |

Tableau 14 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur baibohos, réalisés par Tafa

D'une part, pour les itinéraires techniques étudiés, les deux systèmes ont plutôt une bonne réponse à la fertilisation minérale. Les prix seuils d'utilisation des engrais DAP, KCl et urée sont assez élevés (surtout pour le système A), donc il apparaît intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour ces systèmes tant que les prix des intrants sont inférieurs aux seuils déterminés.

D'autre part, ces résultats permettent également de montrer l'intérêt du semis direct : les rendements sont bien meilleurs pour le système avec semis direct par rapport à ceux obtenus pour le système avec labour. Pour l'essai cultural sans engrais minéraux, le rendement du système avec semis direct est augmenté de 60% par rapport au système avec labour, et pour l'essai cultural avec engrais minéraux, il est augmenté de 31%.

c. Culture de riz sur rizière irriguée

Sur rizières irriguée, Tafa a réalisé les 2 essais culturaux de riz suivants :

| Essais cultural | | Précédent cultural |
|-----------------|--------------|--------------------|
| Riz A | Semis direct | dolique |
| Riz B | Labour | dolique |

Tableau 15 : Les 2 essais culturaux de riz sur rizière irriguée réalisés par Tafa

Le même itinéraire technique a été suivi pour ces essais. Il est donné dans le tableau ci-dessous.

| Itinéraire technique | | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| Semences | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides |
| culture (kg/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaoucho (g/ha) |
| 60 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 |

Tableau 16 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur rizière irriguée

D'après ces essais culturaux, la fertilisation minérale (130 kg/ha de DAP, 80 kg/ha de KCl & 100 kg/ha d'urée) est intéressante pour des prix du DAP, du KCl et de l'urée inférieurs aux prix seuils d'utilisation donnés dans le tableau suivant.

| | | Prix seuils d'utilisation | |
|--------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|
| | | DAP & KCl (Ar) | prix urée (Ar)) |
| Semis direct | A : riz précédent dolique | 1687 | 1257 |
| Labour | B : riz précédent dolique | 506 | 377 |

Tableau 17 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur rizière irriguée, réalisés par Tafa

D'une part, pour les itinéraires techniques étudiés, les prix seuils d'utilisation des engrais DAP, KCl et urée sont moyens pour le système A et très faibles pour le système B. Donc si le prix des engrais est suffisamment faible il peut être intéressant d'utiliser une fertilisation minérale pour le système A, en revanche pour le système B, les paysans n'ont pas intérêt à utiliser des engrais minéraux.

D'autre part, ces résultats permettent également de montrer l'intérêt du semis direct : les rendements sont bien meilleurs pour le système avec semis direct par rapport à ceux obtenus pour le système avec labour. Pour l'essai cultural sans engrais minéraux, le rendement du système avec semis direct est augmenté de 36% par rapport au système avec labour, et pour l'essai cultural avec engrais minéraux, il est augmenté de 63%.

2. Résultats obtenus pour les données standards

a. Culture de riz sur baibohos zone VSE

Sur les baibohos de la zone VSE, on dispose 269 données réelles pour le riz sur labour, rassemblées en 14 données standards (A à N) ; et de 320 données réelles pour le riz en semis direct, regroupées en 4 données standards (A à D). Les données standards ne regroupent pas toujours des données réelles dont la variété du riz est la même. Ainsi, des sous classes des données standards, regroupant des données réelles dont le riz est de même variété, ont été réalisées. Ces nouvelles données standards sont notée A2, B2, etc.

Après confrontation des données standards entre elles, on peut proposer plusieurs comparaisons de données où les itinéraires techniques sont semblables mais où la fertilisation est différente.

Comparaison de :

- Riz E et riz H2 en labour. La variété utilisée est le riz B22.
- Riz K2 et riz M2 en labour. La variété utilisée est le riz B22
- Riz A2 et riz B2 en semis direct. La variété utilisée est principalement le riz Sebota 68 (quelques riz Sebota 69 et 70).

Les itinéraires techniques suivis sont les suivants :

| | Cas | 1 : labour | | 2 : labour | | 3 : semis direct | |
|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------|
| | Comparaison | Riz E2 (B22) | Riz H2 (B22) | Riz K2 (B22) | Riz M2 (B22) | Riz A2 (Sebota 60+) | Riz B2 (Sebota 60+) |
| | Date semis | 23-déc | 27-déc | 30-déc | 27-déc | 22-déc | 20-déc |
| semence | Culture (kg/ha) | 69 | 60 | 66 | 65 | 64 | 60 |
| engrais | Fumier (kg/ha) | 3913 | 3900 | 3201 | 2764 | 2718 | 3061 |
| | Urée (kg/ha) | 68 | 67 | 0 | 0 | 54 | 19 |
| | NPK (kg/ha) | 121 | 0 | 138 | 0 | 61 | 59 |
| | Gaicho (g/ha) | 172 | 143 | 170 | 163 | 152 | 148 |
| Herbicide | 2,4-D (L/ha) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9 | 1 |
| | glyphosate (L/ha) | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,3 | 4 |
| Main d'œuvre | Sarclage (h) | 45 | 42 | 36 | 39 | 47 | 29 |

Tableau 18 : Itinéraires techniques suivis pour les riz étudiés sur baibohos de la zone VSE

Dans le 1er cas, l'étude a pour but de montrer l'effet sur le produit brut de l'ajout de **121 kg/ha de NPK**, et ainsi de calculer le prix seuil d'utilisation du NPK dans le cas de cet itinéraire technique.

Dans le 2^{ème} cas, c'est également l'ajout de **138 kg/ha de NPK** qui sera observé mais pour un itinéraire technique ne comportant pas d'urée.

Dans le 3^{ème} cas, ce sera au contraire l'ajout de **35 kg/ha l'urée** qui sera testé.

Les résultats de la culture obtenus pour chaque cas sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Le prix de vente du riz est celui de l'année 2008, 550Ar/kg.

| Cas | 1 : labour | | 2 : labour | | 3 : semis direct | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------|
| Comparaison | Riz E2 (B22) | Riz H2 (B22) | Riz K2 (B22) | Riz M2 (B22) | Riz A2 (Sebota 60+) | Riz B2 (Sebota 60+) |
| Rendement (kg/ha) | 4767 | 3623 | 3097 | 2527 | 4373 | 3703 |
| Produit brut (Ar/ha) | 2 621 850 | 1 992 650 | 1 703 350 | 1 389 850 | 2 405 150 | 2 036 650 |
| Charges opérationnelles (Ar/ha) | 516 402 | 311 605 | 432 867 | 209 389 | 371 750 | 314 680 |

Tableau 19 : Résultats économiques des cultures de riz étudiées sur baibohos de la zone VSE

Les charges opérationnelles prennent en compte le prix des semences, des traitements phytosanitaires, des engrais et de 50% de la main d'œuvre totale. En effet, on considèrera que 50 % de la main d'œuvre totale est salariale, ce qui correspond assez bien à la réalité paysanne.

➤ Modélisation du gain dégagé par l'utilisation d'urée

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est

$PBa - PBs = \Delta(\text{qté NPK}) * x + \Delta(\text{qté urée}) * y$, avec x le prix du NPK et y le prix de l'urée.

| | Cas 1 | Cas 2 | Cas 3 |
|--|----------------------|----------------------|---------------------|
| Equation modélisation | $629\ 200 = 121 * x$ | $313\ 500 = 138 * x$ | $368\ 500 = 35 * y$ |
| Seuil rentabilité prix engrais (Ar/kg) | $x = 5\ 198$ | $x = 2\ 271$ | $y = 10\ 528$ |

Tableau 20 : Equation de la modélisation du gain dégagé en fonction du prix des engrais et seuil de rentabilité associé pour les cultures de riz étudiées sur baibohos de la zone VSE.

➤ Calcul du retour sur investissement en fonction du prix des engrais minéraux

Le calcul du retour sur investissement (RI) permet de mesurer le risque pris par l'agriculteur d'utiliser des engrais minéraux sur sa culture. Il correspond au rapport de la marge brute sur les charges opérationnelles.

D'après les calculs réalisés dans la partie traitant les données de Tafa, on a :

- $RI < 1,5 \Leftrightarrow x > (PB - 2,5 * A) / (2,5 * (\Delta \text{qté NPK} + k * (\Delta \text{qté urée})))$. Le risque est important
- Si $1,5 < RI < 2 \Leftrightarrow (PB - 3 * A) / (3 * (\Delta \text{qté NPK} + k * (\Delta \text{qté urée}))) < x < (PB - 2,5 * A) / (2,5 * (\Delta \text{qté NPK} + k * (\Delta \text{qté urée})))$. Le risque est modéré.
- Si $RI > 2 \Leftrightarrow x < (PB - 3 * A) / (3 * (\Delta \text{qté NPK} + k * (\Delta \text{qté urée})))$. Le risque est faible.

Pour les trois cas étudiés on obtient les résultats suivants :

| | cas 1 | Cas 2 | Cas 3 |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| $RI < 1,5$ | $x > 6\ 092$ | $x > 3\ 420$ | $y > 24\ 178$ |
| $1,5 < RI < 2$ | $4\ 647 < x < 6\ 092$ | $2\ 597 < x < 3\ 420$ | $18\ 190 < y < 24\ 178$ |
| $RI > 2$ | $x < 4\ 647$ | $x < 2\ 597$ | $y < 18\ 190$ |

Tableau 21 : Prix seuil des engrais, correspondant à différents niveaux de retour sur investissement, pour les cultures de riz étudiées sur baibohos de la zone VSE

➤ Conclusion

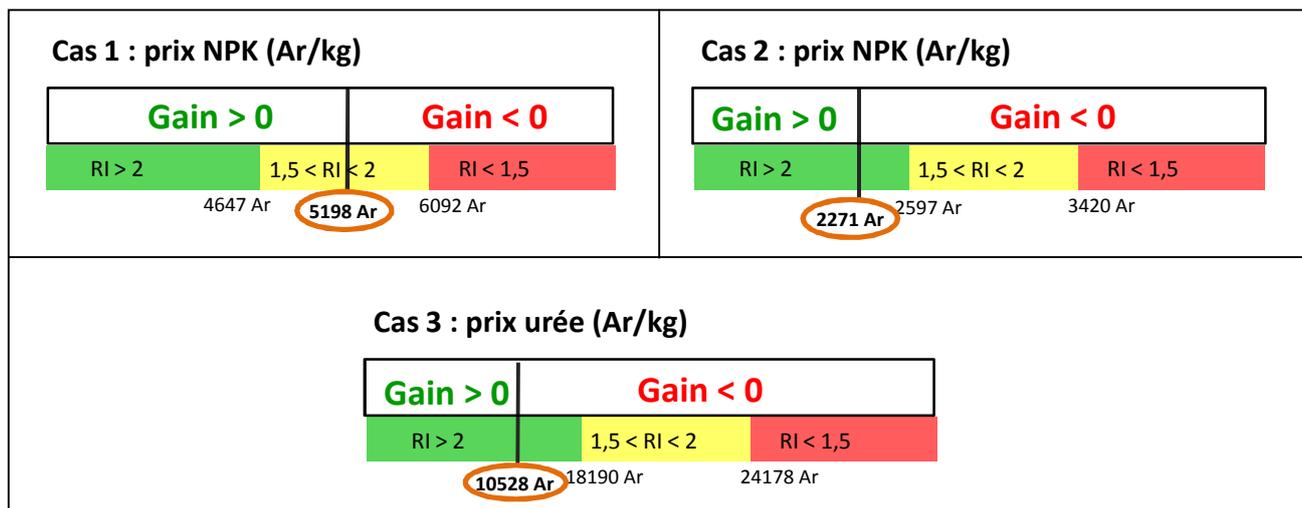


Figure 8 : Détermination visuelle du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour chacune des cultures de riz étudiées sur baibohos de la zone VSE

Dans le cas de l'itinéraire technique 1, le gain est positif pour des prix du NPK inférieurs à 5198 Ar/kg. Pour ces prix, le retour sur investissement commence à être intéressant ($RI > 1,5$). Il est donc intéressant d'utiliser du NPK dans le cas de cet itinéraire technique quand le prix est inférieur à 5198 Ar/kg.

Dans le cas de l'itinéraire technique 2, le gain est positif pour des prix du NPK inférieurs à 2271 Ar/kg. Pour ces prix le retour sur investissement commence à être important (RI > 2) et il est donc intéressant d'utiliser du NPK.

De même dans le cas de l'itinéraire technique 3, le gain est positif pour des prix de l'urée inférieurs à 10 528 Ar/kg et pour ces prix le retour sur investissement est important (RI > 2). Il est donc intéressant d'utiliser de l'urée si son prix est inférieur à 10 528 Ar/kg.

Ces résultats montrent que pour les cas 1 et 3, les paysans ont intérêt à utiliser des engrais minéraux sur leurs cultures car le prix des engrais n'a jamais excédé les seuils déterminés ci-dessus. Pour le cas 2, l'utilisation d'engrais NPK est intéressante pour le paysan si le prix du NPK est inférieur à 2271 Ar/kg. Par exemple, en 2010, le prix du NPK était de 2600 Ar/kg, ainsi, utiliser du NPK sur les parcelles suivant l'itinéraire technique du cas 2 entraînait une perte d'argent.

➤ Remarque

Il est important de noter que les cas étudiés ci-dessus ne représentent qu'une petite partie des données récoltées sur le terrain pour l'année 2008. En effet, il existe une très grande variabilité des itinéraires techniques et surtout des rendements. De plus, on constate que les rendements n'augmentent pas toujours avec la fertilisation.

Exemple 1 : Sur labour, les riz G et I suivent des itinéraires techniques semblables mise à part pour la fertilisation.

| | date semis | semis (kg/ha) | gaucho (g/ha) | Engrais (kg/ha) | | | Main d'œuvre (heures) | | | | | Rendement (kg/ha) |
|--------------|------------|---------------|---------------|-----------------|------|-----|-----------------------|--------|---------|----------|---------|-------------------|
| | | | | Fumier | Urée | NPK | Semis | Labour | Hersage | Sarclage | Recolte | |
| Riz G | 24-déc | 65 | 162 | 2 737 | 49 | 75 | 33 | 13 | 5 | 37 | 31 | 1 868 |
| Riz I | 29-déc | 58 | 142 | 2 427 | 49 | 0 | 32 | 9 | 4 | 42 | 36 | 2 521 |

Tableau 22 : Comparaisons des itinéraires techniques suivis et du rendement des riz G et I sur baibohos de la zone VSE

Le riz G reçoit 75 kg/ha de NPK tandis que le riz I n'en reçoit pas. Contrairement à ce qu'on pourrait attendre, on observe que le rendement du riz G est nettement moins bon que celui du riz I.

Il n'est pas possible d'expliquer ces résultats avec les seules informations que nous possédons.

Exemple 2 : En semis direct, les riz C et D suivent des itinéraires techniques similaires y compris pour la fertilisation.

| | date semis | semis (kg/ha) | gaucho (g/ha) | Engrais (kg/ha) | | | Herbicides (L/ha) | | Main d'œuvre (heures) | | | | Rendement (kg/ha) |
|--------------|------------|---------------|---------------|-----------------|------|-----|-------------------|------------|-----------------------|----------|---------|------------------|-------------------|
| | | | | Fumier | Urée | NPK | 2,4-D | Glyphosate | Semis | Sarclage | Recolte | traitement phyto | |
| Riz C | 21/12/07 | 60 | 154 | 1 768 | 31 | 22 | 1 | 5 | 36 | 39 | 37 | 4 | 2 523 |
| Riz D | 27/12/07 | 62 | 153 | 1 120 | 33 | 28 | 1,0 | 4,7 | 35 | 34 | 28 | 5 | 1 206 |

Tableau 23 : Comparaisons des itinéraires techniques suivis et du rendement des riz C et D sur baibohos de la zone VSE

On constate que le riz C a un rendement deux fois supérieur à celui du riz D bien que les itinéraires techniques soient semblables, y compris pour la fertilisation minérale.

Certes, le semis du riz C est plus précoce que celui du riz D et 600kg/ha de fumure organique supplémentaire est apportée sur le riz C. Mais ces remarques ne peuvent pas expliquer à elles seules la grande différence de rendement observée.

Conclusion :

Ces deux exemples révèlent la principale faiblesse de nos données : la fertilité de la parcelle n'a pas été prise en compte lors de la collecte des informations. De ce fait certains résultats sont difficilement interprétables. Concernant les données standards que nous comparons, nous ne pouvons pas être certains que la différence de rendement observé est uniquement explicable par la différence de fertilisation minérale et il faut donc rester critique face aux résultats que nous obtenons.

b. Culture de riz sur tanety zone ZNE

Sur les tanety de la zone ZNE, on dispose de 153 données réelles pour le riz sur labour, rassemblées en 14 données standards (A à N) ; et de 63 données réelles pour le riz en semis direct, regroupées en 9 données standards (A à D).

Pour les données relatives au semis direct, les itinéraires techniques sont trop différents les uns des autres pour pouvoir effectuer des comparaisons pertinentes. En revanche, pour les données standards sur labour, on peut proposer deux comparaisons de données où les itinéraires techniques sont semblables mais où la fertilisation est différente.

Comparaison de :

- Riz B et riz H en labour. La variété utilisée est le riz B22.
- Riz G et riz L en labour. La variété utilisée est le riz B22

Les itinéraires techniques suivis sont les suivants :

| | Cas | 1 : labour | | 2 : labour | | |
|--------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Comparaison | Riz B (B22) | Riz H (B22) | Riz G (B22) | Riz L (B22) |
| | Date semis | | 25-déc | 19-déc | 26-déc | 27-déc |
| semence | Culture (kg/ha) | | 55 | 53 | 54 | 53 |
| engrais | Fumier (kg/ha) | | 3068 | 2659 | 3505 | 2387 |
| | Urée (kg/ha) | | 53 | 0 | 0 | 0 |
| | NPK (kg/ha) | | 63 | 64 | 87 | 0 |
| | Gaicho (g/ha) | | 138 | 132 | 134 | 140 |
| Main d'œuvre | Sarclage (h) | | 40 | 35 | 36 | 37 |

Tableau 24 : Itinéraires techniques suivis pour les cultures de riz étudiées sur tanety de la zone ZNE

Dans le premier cas, l'étude a pour but de montrer l'effet sur le rendement (produit brut) de l'ajout de **53 kg/ha d'urée**, sachant qu'il y a déjà 63 kg/ha de NPK.

Dans le deuxième exemple, c'est l'effet sur le rendement de l'ajout de **87 kg/ha de NPK** qui sera étudié.

Dans les deux cas, il s'agit de calculer le prix seuil d'utilisation de l'engrais pour l'itinéraire technique considéré.

Les résultats de la culture obtenus pour chaque cas sont résumés dans le tableau ci-dessous :

| Cas | 1 : labour | | 2 : labour | |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Riz B (B22) | Riz H (B22) | Riz G (B22) | Riz L (B22) |
| Rendement (kg/ha) | 2789 | 1573 | 2540 | 1817 |
| Produit brut (Ar/ha) | 1 533 950 | 865 150 | 1 397 000 | 999 350 |
| Charges opérationnelles (Ar/ha) | 285 674 | 208 280 | 262 801 | 107 287 |

Tableau 25 : Résultats économiques des cultures de riz étudiées sur tanety de la zone ZNE

➤ Modélisation du gain dégagé par l'utilisation d'urée

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est

$PBa - PBs = \Delta(\text{qté NPK}) * x + \Delta(\text{qté urée}) * y$, avec x le prix du NPK et y le prix de l'urée.

| | Cas 1 | Cas 2 |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Equation modélisation | $668\ 800 = 53 * y$ | $397\ 650 = 87 * x$ |
| Seuil rentabilité prix urée (Ar/kg) | $y = 12\ 619$ | $x = 4\ 571$ |

Tableau 26 : Equation de la modélisation du gain dégagé en fonction du prix des engrais et seuil de rentabilité associé pour les cultures de riz étudiées sur tanety de la zone ZNE.

➤ Calcul du retour sur investissement en fonction du prix des engrais minéraux

| | Cas 1 | Cas 2 |
|-----------------------|-------------------|-------------------|
| RI < 1,5 | $y > 7647$ | $x > 6784$ |
| $1,5 < \text{RI} < 2$ | $6861 < y < 7647$ | $5385 < x < 6784$ |
| RI > 2 | $y < 6861$ | $x < 6784$ |

Tableau 27 : Prix seuil des engrais, correspondant à différents niveaux de retour sur investissement, pour les cultures de riz étudiées sur tanety de la zone ZNE

➤ Conclusion

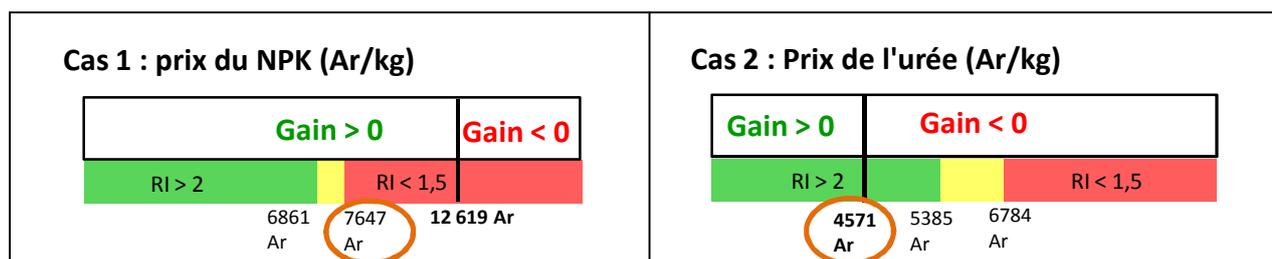


Figure 9 : Détermination visuelle du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour chacune des cultures de riz étudiées sur tanety de la zone ZNE

Dans le cas de l'itinéraire technique 1, le gain est positif pour un prix de l'urée inférieur à 12 619 Ar/kg. Néanmoins, le retour sur investissement commence à être intéressant pour un prix de l'urée inférieur à 7647 Ar/kg. Ainsi, il devient intéressant d'utiliser de l'urée quand son prix est inférieur à 7647 Ar/kg.

Dans le cas de l'itinéraire technique 2, le gain est positif pour un prix de l'urée inférieur à 4571 Ar/kg. Pour ces prix le retour sur investissement commence à être important (RI > 2) et il est donc intéressant d'utiliser de l'urée.

Pour ces deux cas, les prix seuils sont élevés, et le prix des engrais n'a pour l'instant jamais dépassé ces prix. Il y a donc un fort intérêt à utiliser des engrais dans le cas de ces itinéraires techniques.

Remarque :

De la même façon que l'étude du riz sur baibohos de la zone VSE, les cas présentés ici ne représentent qu'une petite partie des données récoltées sur le terrain. En effet, la fertilité des sols n'étant pas connue, de nombreuses données sont difficilement interprétables.

c. Culture de maïs sur baibohos zone VSE

Sur les baibohos de la zone VSE, on dispose de 14 données réelles pour la culture de maïs en semis direct, rassemblées en 4 données standards ; et de 38 données réelles pour la culture de maïs sur labour, regroupées en 10 données standards.

Les itinéraires techniques des données standards étant trop différents, aucune comparaison n'est possible.

d. Culture de maïs sur tanety zone ZNE

Sur les tanety de la zone ZNE, on dispose de 9 données standards pour la culture de maïs sur labour (A à I) réalisées à partir de 130 données réelles ; et de 7 données standards (A à G) réalisées à partir de 90 données réelles pour la culture de maïs en semis direct.

Après confrontation des données standards entre elles, on peut proposer certaines comparaisons de données où les itinéraires techniques sont semblables mais où la fertilisation est différente.

Comparaison de :

- maïs+niébé C et I2 en labour. Le maïs I2 correspond au maïs+associé I reclassé en deux nouvelles données standards : maïs+associé (sans niébé) I1 et maïs+niébé I2.
- maïs+niébé D et F en semis direct

Les itinéraires techniques sont les suivants :

| | Cas | 1 : labour | | 2 : semis direct | |
|---------|------------------------------|--------------|---------------|------------------|--------------|
| | | maïs+niébé C | maïs+niébé I2 | maïs+niébé D | maïs+niébé F |
| | Date semis | 24-déc | 30-déc | 02-janv | 02-janv |
| Semence | Culture (kg/ha) | 26 | 25 | 25 | 24 |
| | Plante de couverture (kg/ha) | 14 | 14 | 12 | 15 |
| Engrais | Fumier (kg/ha) | 3054 | 3735 | 3880 | 2705 |
| | Urée (kg/ha) | 53 | 0 | 54 | 0 |
| | NPK (kg/ha) | 62 | 68 | 0 | 0 |

| | | | | | |
|----------------------------|----------------------|-----|----|-----|-----|
| Insecticides et fongicides | Gaucho (g/ha) | 106 | 78 | 124 | 120 |
| | Lentialm (g/ha) | 32 | 39 | 0 | 0 |
| | Cyperméthrine (L/ha) | 0 | 0 | 0,2 | 0 |
| Main d'œuvre | Sarclage | 32 | 30 | 35 | 33 |

Tableau 28 : Itinéraires techniques suivis pour les cultures de maïs étudiées sur tanety de la zone ZNE

Dans les deux cas, l'étude a pour but de montrer l'effet sur le produit brut de l'ajout d'une cinquantaine de kg/ha d'urée, et ainsi de calculer le seuil de rentabilité du prix de l'urée dans le cas de ces itinéraires techniques.

Les résultats obtenus pour chaque cas sont résumés dans le tableau ci-dessous :

| Cas | 1 : labour | | 2 : semis direct | |
|---------------------------------|--------------|---------------|------------------|--------------|
| | maïs+niébé A | maïs+niébé I2 | maïs+niébé D | maïs+niébé F |
| Rendement (kg/ha) | 2 046 | 1 393 | 2 309 | 2 001 |
| Produit brut (Ar/ha) | 818 400 | 557 200 | 923 600 | 800 400 |
| Charges opérationnelles (Ar/ha) | 390 270 | 278 640 | 252 580 | 164 700 |

Tableau 29 : Résultats économiques des cultures de maïs étudiées sur tanety de la zone ZNE

➤ Modélisation du gain dégagé par l'utilisation d'urée

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est $PBa - PBs = \Delta(\text{qté NPK}) * x + \Delta(\text{qté urée}) * y$, avec x le prix du NPK et y le prix de l'urée.

Ici, seule la quantité d'urée varie, donc l'équation devient : $PBa - PBs = \Delta(\text{qté urée}) * y$

| | Cas 1 | Cas 2 |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
| Equation modélisation | $261\ 200 = 53 * y$ | $132\ 200 = 54 * y$ |
| Seuil rentabilité prix urée (Ar/kg) | $y = 4928$ | $y = 2448$ |

Tableau 30 : Equation de la modélisation du gain dégagé en fonction du prix des engrais et seuil de rentabilité associé pour les cultures de maïs étudiées sur tanety de la zone ZNE.

➤ Calcul du retour sur investissement en fonction du prix des engrais minéraux

| | cas 1 | cas 2 |
|----------------|----------------|-------------------|
| RI < 1,5 | $y > 1225$ | $y > 4956$ |
| $1,5 < RI < 2$ | $0 < y < 1225$ | $3466 < y < 4956$ |
| RI > 2 | impossible | 3466 |

Tableau 31 : Prix seuil des engrais, correspondant à différents niveaux de retour sur investissement, pour les cultures de maïs étudiées sur tanety de la zone ZNE

➤ Conclusion

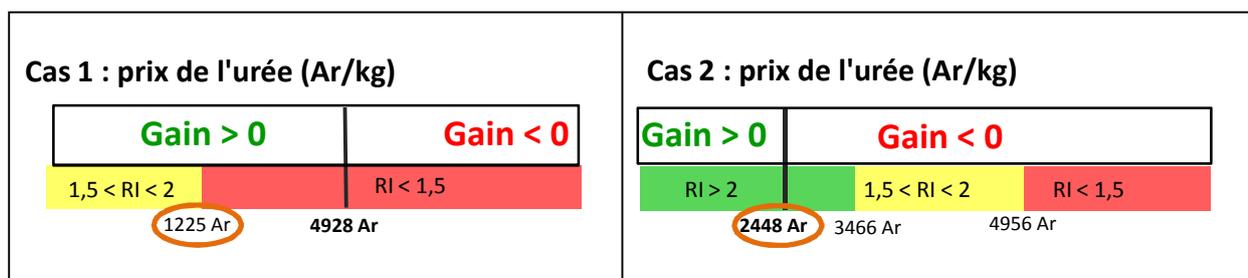


Figure 10 : Détermination visuelle du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour chacune des cultures de maïs étudiées sur tanety de la zone ZNE

Dans le cas de l'itinéraire technique 1, le gain est positif à partir d'un prix de l'urée inférieur à 4928 Ar/kg, mais jusqu'à 1225 Ar/kg, le retour sur investissement est faible ($RI < 1,5$), donc le risque d'utiliser des engrais est important. Pour un prix de l'urée inférieur à 1225 Ar/kg, le retour sur investissement devient correct et il devient alors intéressant d'utiliser de l'urée. Ce prix seuil étant assez faible, il n'est pas intéressant d'utiliser de l'urée selon cet itinéraire technique.

Dans le cas de l'itinéraire technique 2, le gain est positif pour un prix de l'urée inférieur à 2448 Ar/kg. Pour ces prix le retour sur investissement commence à être important ($RI > 2$) et il est donc intéressant d'utiliser de l'urée.

On peut noter que les résultats obtenus montrent également l'intérêt du semis direct. En effet, mise à part la fertilisation, les itinéraires techniques de ces deux cas sont similaires. On constate que les rendements sont meilleurs pour les systèmes en semis direct que pour ceux sur labour, bien que la fertilisation soit plus importante pour les cas sur labour.

Remarque :

Ici encore, les cas étudiés ici ne représentent qu'une partie des données récoltées sur le terrain, et il faut garder à l'esprit la très grande variabilité des résultats des cultures.

3. Résultats obtenus pour les données réelles

a. Culture de maïs sur baibohos de la zone VSE

i. *Culture de maïs sur labour, sur baibohos de la zone VSE*

Dans la zone VSE, sur les baibohos, on dispose de 38 données réelles pour le maïs en labour. Le graphique suivant représente le rendement en fonction de la fertilisation azotée pour l'ensemble des données réelles. On constate qu'il n'y a pas de corrélation linéaire et qu'il y a une très grande variabilité des rendements. On peut également remarquer que de très bons rendements sont obtenus sans aucune fertilisation.

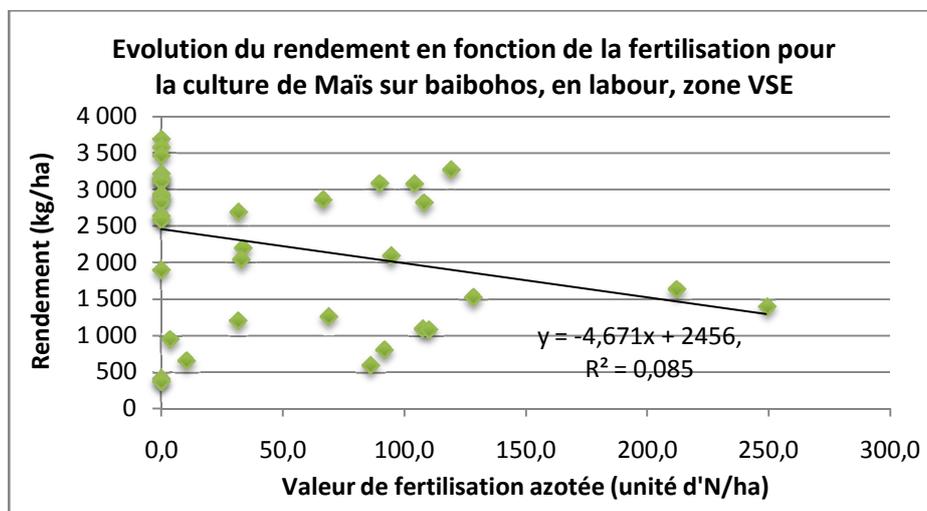


Figure 11 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs en labour, sur baibohos de la zone VSE

L'analyse peut être précisée en dissociant les 38 données réelles par catégorie d'association de cultures :

| Association | Nombre de données |
|---------------------|-------------------|
| Maïs + niébé | 9 |
| Maïs + vigna | 10 |
| Maïs + dolique | 13 |
| Maïs + stylosanthes | 3 |
| Maïs + haricot | 1 |
| Maïs + mucuna | 1 |
| Maïs + soja | 1 |

Tableau 32 : Nombre de données réelles par type d'association de culture pour le maïs en labour sur baibohos de la zone VSE

Pour les associations maïs+stylosanthes, maïs+mucuna, maïs+haricot et maïs+soja, le nombre de données est insuffisant pour pouvoir rechercher une relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée.

Pour l'association maïs+vigna, seulement deux données correspondent à des cultures ayant reçues une fertilisation, ce qui est également insuffisant pour rechercher une relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée.

Concernant l'association maïs+dolique, le nuage de points suivant (*valeur fertilisation azotée, rendement*) est obtenu :

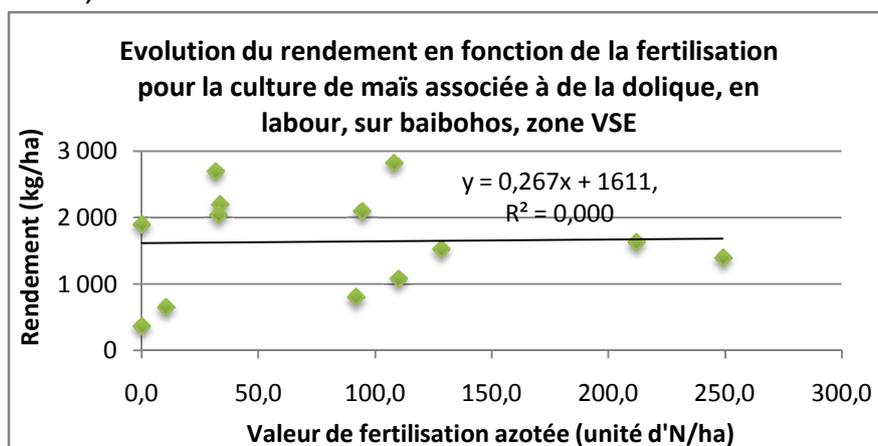


Figure 12 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associées à de la dolique, en labour, sur baibohos de la zone VSE

Il n'y a pas de corrélation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée. La variabilité peut s'expliquer par les différents niveaux de fertilité du sol, donnée non prise en compte dans cette étude, mais également par le fait que l'on ne considère que l'azote pour la fertilisation.

➤ L'association de culture maïs+niébé

En revanche, pour l'association maïs+niébé, après avoir retiré les données correspondantes à des cultures n'ayant pas reçu de fertilisation, on obtient le nuage de points suivant :

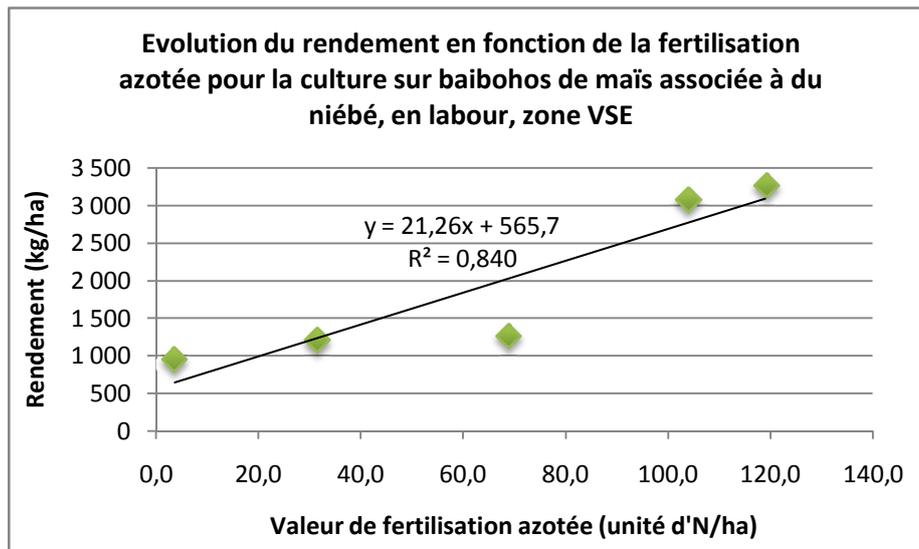


Figure 13 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associée à du niébé, en labour, sur baibohos de la zone VSE

Régression linéaire

Le coefficient de régression linéaire étant de 0,84, on peut accepter la relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée : Rendement = 21,262*N + 565,78

On considèrera que ce modèle est uniquement applicable pour des valeurs de fertilisation azotée comprises entre 0 et 119 unités d'azote/ha.

Suivant ce modèle, on peut considérer que sans fertilisation azotée, le rendement obtenu pour une culture de maïs sur labour associée à du niébé est de 566 kg/ha. De plus, pour une unité d'azote ajoutée, on obtient 21 kg de produit supplémentaire.

Néanmoins, il est important de noter que le nombre de données est faible et donc les résultats suivant doivent être utilisés avec précaution.

Connaissant les prix de l'année en cours et la quantité de fumure organique apportée sur la culture, on pourra définir quelles sont les quantités d'urée (x) et de NPK(y) à apporter à la culture pour que le gain soit positif et le retour sur investissement intéressant (RI > 1,5).

Calcul du prix seuil de rentabilité

$$\text{Produit brut} = 400 * \text{Rendement} = 8505 * N + 226312$$

$$\text{Or } N = 0,11 * y + 0,46 * x + 0,03 * z \text{ donc } \text{PB} = 935 * y + 3912 * x + 255 * z + 226312$$

$$\text{On a } \text{CO} = \text{Cl}_s + \text{Cl}_e = 119607 + a * y + b * x + 20 * z \quad (\text{Remarque} = \text{Cl}_s \text{ est calculé en considérant } 50\% \text{ de main d'œuvre salariale})$$

$$\text{Et } \text{MB} = \text{PB} - \text{CO}$$

$$\text{donc } \text{MB} = (935 * y + 3912 * x + 255 * z + 226312) - (119607 + a * y + b * x + 20 * z)$$

$$\text{MB} = (935 - a) * y + (3912 - b) * x + 235 * z + 106705$$

106 705 Ar correspond à la marge brute réalisée pour une culture sans engrais.

Conclusion pour le prix seuil de rentabilité :

- Si $(935 - a)*y + (3912 - b)*x + 235*z = 0 \Leftrightarrow y = ((b - 3912)*x - 235*z)/(935 - a)$ avec $a \sim 935$, alors la fertilisation apporté n'entraîne pas de gain ni de perte d'argent pour le paysan.
- Si $(935 - a)*y + (3912 - b)*x + 235*z < 0$ {2} alors la fertilisation entraîne une perte d'argent pour le paysan.
 - o Si $a < 935$ Ar/kg, {2} $\Leftrightarrow y < ((b - 3912)*x - 235*z)/(935 - a)$
 - o Si $a > 935$ Ar/kg, {2} $\Leftrightarrow y > ((b - 3912)*x - 235*z)/(935 - a)$
- Si $(935 - a)*y + (3912 - b)*x + 235*z > 0$ {3} alors la fertilisation entraîne un gain d'argent pour le paysan.
 - o Si $a < 935$ Ar/kg, {2} $\Leftrightarrow y > ((b - 3912)*x - 235*z)/(935 - a)$
 - o Si $a > 935$ Ar/kg, {2} $\Leftrightarrow y < ((b - 3912)*x - 235*z)/(935 - a)$

Calcul du retour sur investissement

Si $RI < 1,5$, le retour sur investissement est faible donc le risque est élevé. Il n'est pas conseillé de fertiliser.

En revanche si $RI > 1,5$, le retour sur investissement est correct et il devient intéressant d'utiliser une fertilisation sur les cultures.

$$RI = MB/CO = ((935 - a)*y + (3912 - b)*x + 235*z + 106705)/(119607 + a*y + b*x + 20*z)$$

$$RI > 1,5 \Leftrightarrow \begin{cases} \text{si } a < 374 \text{ Ar/kg, } y > (72705 + (2,5b - 3912)*x - 205*z)/(935 - 2,5a) \\ \text{si } a > 374 \text{ Ar/kg, } y < (72705 + (2,5b - 3912)*x - 205*z)/(935 - 2,5a) \end{cases}$$

Conclusion pour la culture de maïs+niébé

- Si $a < 374$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :
$$\begin{cases} y > ((b - 3912)*x - 235*z)/(935 - a) \\ y > (72705 + (2,5b - 3912)*x - 205*z)/(935 - 2,5a) \end{cases}$$
- Si $374 \text{ Ar/kg} < a < 935 \text{ Ar/kg}$, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :
$$\begin{cases} y > ((b - 3912)*x - 235*z)/(935 - a) \\ y < (72705 + (2,5b - 3912)*x - 205*z)/(935 - 2,5a) \end{cases}$$
- Si $a > 935$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :
$$\begin{cases} y < ((b - 3912)*x - 235*z)/(935 - a) \\ y < (72705 + (2,5b - 3912)*x - 205*z)/(935 - 2,5a) \end{cases}$$

Rappel : a=prix d'un kg de NPK, b=prix d'un kg d'urée et z=quantité de fumure organique apportée à la culture.

Exemple

On fixe $z = 2000$ kg

Pour l'année 2008, $a = 1500$ Ar/kg $>$ 935 Ar/kg et $b = 1300$ Ar/kg

Le gain est positif si $y < ((1300 - 3912)*x - 235*2000)/(935 - 1500)$

$$\Leftrightarrow y < (-2612*x - 470000)/(-565)$$

$$\Leftrightarrow y < 4,6*x + 831,8.$$

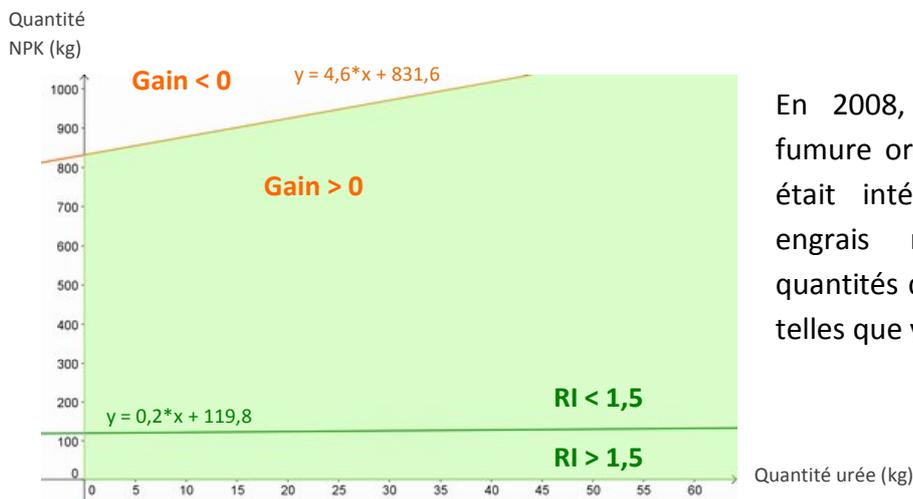
$RI > 1,5 \Leftrightarrow y < (72705 + (2,5*1300 - 3912)*x - 205*2000)/(935 - 2,5*1500)$

$$\Leftrightarrow y < (72705 - 662*x - 410000)/(-2815)$$

$$\Leftrightarrow y < (337295 + 662*x)/2815$$

$$\Leftrightarrow y < 119,8 + 0,2*x$$

Conclusion exemple :



En 2008, pour un apport de fumure organique de 2000 kg, il était intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour des quantités de NPK (y) et d'urée (x) telles que $y < 0,2*x + 119,8$.

Figure 14 : Détermination visuelle des couples (prix urée, prix NPK) pour lesquels le gain $>$ 0 et $RI >$ 1,5

ii. Culture de maïs en semis direct, sur baibohos de la zone VSE

Pour la culture de maïs en semis direct on dispose de 14 données réelles. Pour l'ensemble des données, il n'y a pas de corrélation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée. En revanche, en séparant les données par type d'associations de cultures, on peut déterminer des relations linéaires pour les associations de cultures maïs+dolique et maïs+vigna.

➤ **L'association de culture maïs + dolique**

A partir des données réelles et après avoir éliminé les valeurs aberrantes, le nuage de points suivant est obtenu :

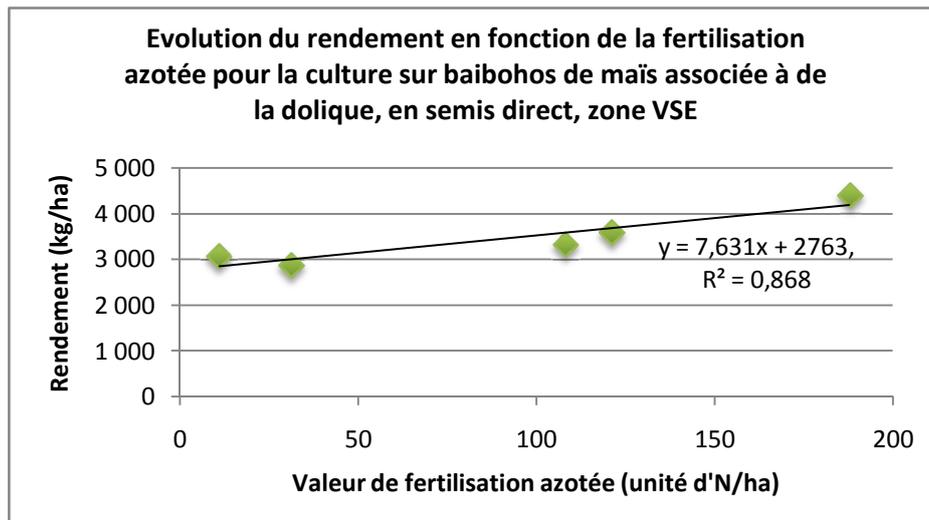


Figure 15 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associée à de la dolique, en semis direct, sur baibohos de la zone VSE

Régression linéaire

Le coefficient de régression linéaire étant de 0,86, on peut accepter la relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée : Rendement = 7,63*N + 2763,5

On considèrera que ce modèle est uniquement applicable pour des valeurs de fertilisation azotée comprises entre 0 et 188 unités d'azote/ha.

Ainsi, on peut considérer que sans fertilisation azotée, le rendement obtenu pour une culture de maïs en semis direct associée à de la dolique est de 2763 kg/ha. De plus, pour une unité d'azote ajoutée, on obtient 7,6 kg de produit supplémentaire.

Résultats des calculs du seuil de rentabilité

$$PB = 336*y + 1404*x + 92*z + 1105200$$

$$CO = 169127 + a*y + b*x + 20*z$$

$$MB = (336 - a)*y + (1404 - b)*x + 72*z + 936073$$

936 073 Ar correspond à la marge brute réalisée pour une culture sans engrais.

Conclusion :

- Si $a < 336$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y > ((b - 1404)*x - 72*z)/(336 - a)$
- Si $a > 336$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y < ((b - 1404)*x - 72*z)/(336 - a)$

Résultats des calculs du retour sur investissement

$$RI = MB/CO = ((336 - a)*y + (1404 - b)*x + 72*z + 936073)/(169127 + a*y + b*x + 20*z)$$

- Si $a < 134,4$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y > (-682\ 382 + (2,5b - 1404)*x - 42*z)/(336 - 2,5a)$
- Si $a > 134,4$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y < (-682\ 382 + (2,5b - 1404)*x - 42*z)/(336 - 2,5a)$

Conclusion pour la culture de maïs+dolique, en semis direct, sur baibohos de la zone VSE

- Si $a < 134,4$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 1404)*x - 72*z)/(336 - a) \\ y > (-682\ 382 + (2,5b - 1404)*x - 42*z)/(336 - 2,5a) \end{cases}$$

- Si $134,4$ Ar/kg $< a < 336$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 1404)*x - 72*z)/(336 - a) \\ y < (-682\ 382 + (2,5b - 1404)*x - 42*z)/(336 - 2,5a) \end{cases}$$

- Si $a > 336$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y < ((b - 1404)*x - 72*z)/(336 - a) \\ y < (-682\ 382 + (2,5b - 1404)*x - 42*z)/(336 - 2,5a) \end{cases}$$

Rappel : a=prix d'un kg de NPK, b=prix d'un kg d'urée et z=quantité de fumure organique apportée à la culture.

➤ L'association de culture maïs + vigna

A partir des données réelles et après avoir éliminé les valeurs aberrantes, le nuage de points suivant est obtenu :

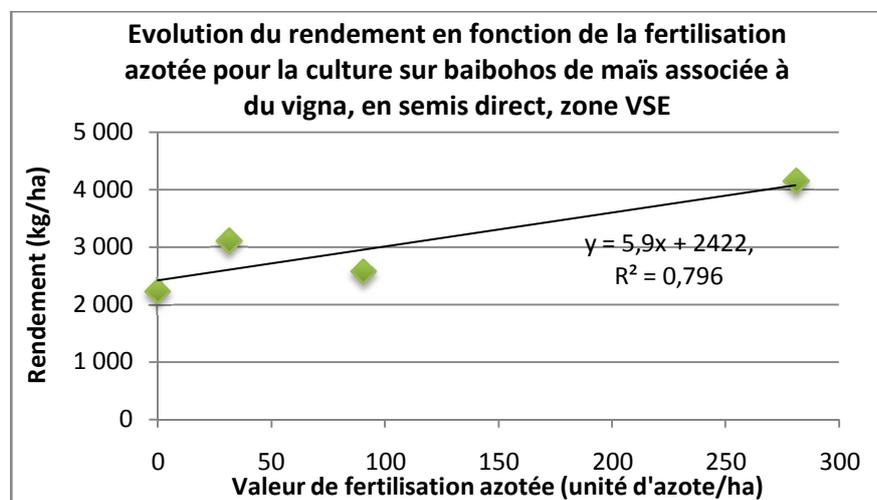


Figure 16 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associée à du vigna, en semis direct, sur baibohos de la zone VSE

Régression linéaire

Le coefficient de régression linéaire étant de 0,79, on peut accepter la relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée : Rendement = $5,9*N + 2422$.

On considèrera que ce modèle est uniquement applicable pour des valeurs de fertilisation azotée comprises entre 0 et 281 unités d'azote/ha.

Ainsi, on peut considérer que sans fertilisation azotée, le rendement obtenu pour une culture de maïs en semis direct associée à de la dolique est de 2422 kg/ha. De plus, pour une unité d'azote ajoutée, on obtient 5,9 kg de produit supplémentaire.

Cependant, le nombre de données étant faible, il faudra rester critique face aux résultats obtenus.

Résultats des calculs du seuil de rentabilité

$$PB = 254*y + 1061*x + 69*z + 968800$$

$$CO = 135280 + a*y + b*x + 20*z$$

$$MB = (254 - a)*y + (1061 - b)*x + 69*z + 833520$$

- Si $a < 254$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y > ((b - 1061)*x - 49*z)/(254 - a)$
- Si $a > 254$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y < ((b - 1061)*x - 49*z)/(254 - a)$

Résultats des calculs du retour sur investissement

$$RI = MB/CO = ((254 - a)*y + (1061 - b)*x + 49*z + 833520)/(135280 + a*y + b*x + 20*z)$$

- Si $a < 101,6$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y > (-630\ 600 + (2,5b - 1061)*x - 19*z)/(254 - 2,5a)$
- Si $a > 101,6$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y < (-630\ 600 + (2,5b - 1061)*x - 19*z)/(254 - 2,5a)$

Conclusion pour la culture de maïs+vigna, en semis direct, sur baibohos de la zone VSE

- Si $a < 101,6$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 1061)*x - 49*z)/(254 - a) \\ y > (-630\ 6000 + (2,5b - 1061)*x - 19*z)/(254 - 2,5a) \end{cases}$$

- Si $101,6$ Ar/kg $< a < 254$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 1061)*x - 49*z)/(254 - a) \\ y < (-630\ 600 + (2,5b - 1061)*x - 19*z)/(254 - 2,5a) \end{cases}$$

- Si $a > 254$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y < ((b - 1061)*x - 49*z)/(254 - a) \\ y < (-630\ 600 + (2,5b - 1061)*x - 19*z)/(254 - 2,5a) \end{cases}$$

Rappel : a=prix d'un kg de NPK, b=prix d'un kg d'urée et z=quantité de fumure organique apportée à la culture.

b. Culture de riz sur baibohos de la zone VSE

i. Culture de riz en labour, sur baibohos de la zone VSE

Dans la zone VSE, sur les baibohos, on dispose de 269 données réelles pour le riz en labour. Sur l'ensemble des données, on n'obtient pas de relation linéaire entre le rendement et la valeur de fertilisation azotée.

En séparant les données par type de variété du riz, on peut déterminer une corrélation linéaire entre le rendement et la valeur de fertilisation azotée pour le riz de variété B22.

➤ **Culture de riz variété B22**

Après avoir éliminé les valeurs aberrantes, le nuage de points suivant est obtenu :

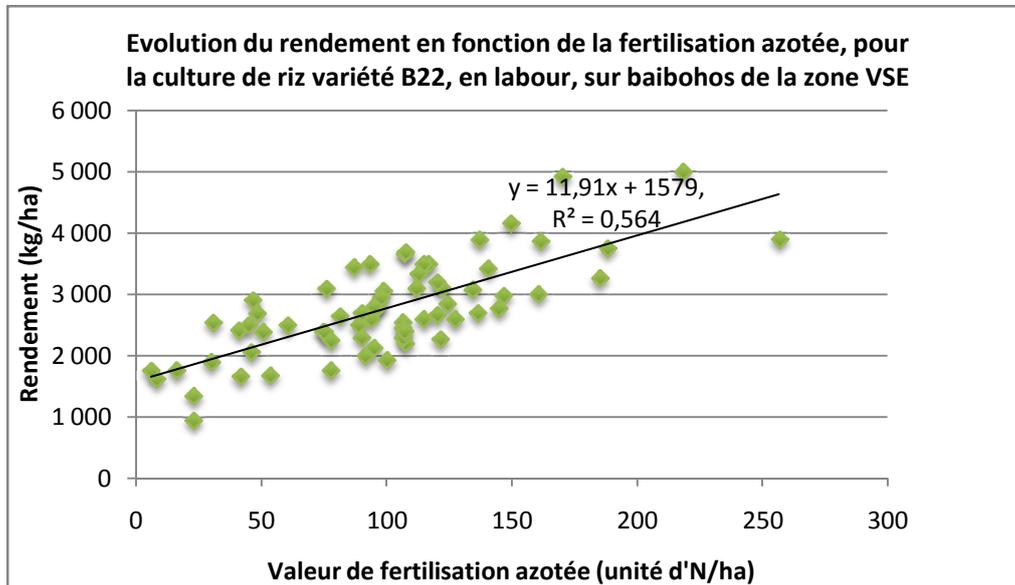


Figure 17 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de riz variété B22, en labour, sur baibohos de la zone VSE

Régression linéaire

Le coefficient de régression linéaire étant de 0,56, on décide d'accepter la relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée : Rendement = 11,9*N + 1579

On considèrera que ce modèle est uniquement applicable pour des valeurs de fertilisation azotée comprises entre 0 et 257 unités d'azote/ha.

Le coefficient de régression linéaire étant assez éloigné de 1, il faudra utiliser les résultats avec parcimonie.

Résultats des calculs du seuil de rentabilité

$$PB = 6545*N + 868\ 450 = 720*y + 3010*x + 196*z + 868\ 450$$

$$CO = 92\ 426 + a*y + b*x + 20*z$$

$$MB = (720 - a)*y + (3010 - b)*x + 176*z + 776\ 024$$

- Si $a < 720$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y > ((b - 3010)*x - 176*z)/(720 - a)$
- Si $a > 720$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y < ((b - 3010)*x - 176*z)/(720 - a)$

Résultats des calculs du retour sur investissement

$$RI = MB/CO = ((720 - a)*y + (3010 - b)*x + 176*z + 776\ 024)/(92\ 426 + a*y + b*x + 20*z)$$

- Si $a < 288$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y > (-637\ 385 + (2,5b - 3010)*x - 146*z)/(720 - 2,5a)$
- Si $a > 288$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y < (-637\ 385 + (2,5b - 3010)*x - 146*z)/(720 - 2,5a)$

Conclusion pour la culture de riz variété B22 en labour, sur baibohos de la zone VSE

- Si $a < 288$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 3010)*x - 176*z)/(720 - a) \\ y > (-637\,385 + (2,5b - 3010)*x - 146*z)/(720 - 2,5a) \end{cases}$$

- Si 288 Ar/kg $< a < 720$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 3010)*x - 176*z)/(720 - a) \\ y < (-637\,385 + (2,5b - 3010)*x - 146*z)/(720 - 2,5a) \end{cases}$$

- Si $a > 720$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y < ((b - 3010)*x - 176*z)/(720 - a) \\ y < (-637\,385 + (2,5b - 3010)*x - 146*z)/(720 - 2,5a) \end{cases}$$

Rappel : a=prix d'un kg de NPK, b=prix d'un kg d'urée et z=quantité de fumure organique apportée à la culture.

ii. Culture de riz en semis direct, sur baibohos de la zone VSE

Dans la zone VSE, sur les baibohos, on dispose de 320 données réelles pour le riz en en semis direct.

Sur l'ensemble des données, on n'obtient pas de relation linéaire entre le rendement et la valeur de fertilisation azotée.

En séparant les données par type de variété du riz, on peut déterminer une corrélation linéaire entre le rendement et la valeur de fertilisation azotée pour le riz de variété Primavera.

➤ Culture de riz variété Primavera

A partir des données réelles et après avoir éliminé les valeurs aberrantes, le nuage de points suivant est obtenu :

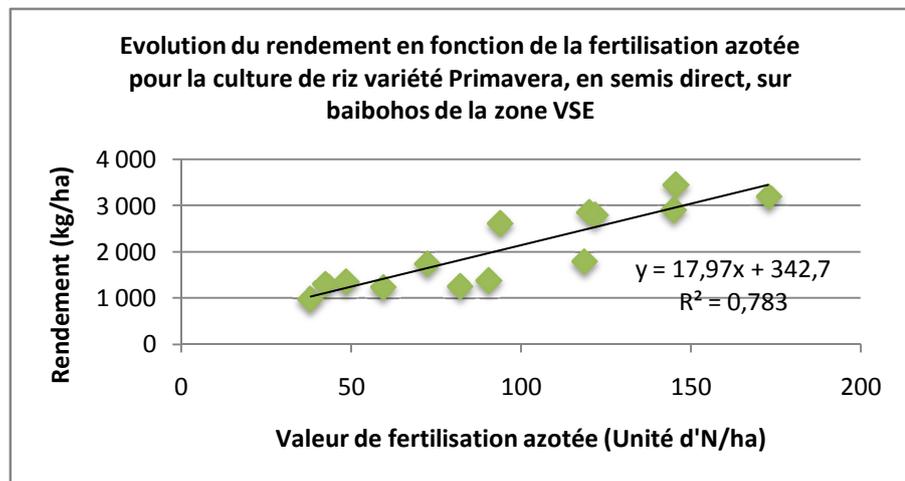


Figure 18 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de riz variété Primavera, en semis direct, sur baibohos de la zone VSE

Régression linéaire

Le coefficient de régression linéaire étant de 0,78, on peut accepter la relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée : Rendement = $18 \cdot N + 343$

Sans fertilisation azotée, le rendement théorique obtenu d'après ce modèle est de 343 kg/ha. Or dans la réalité, les rendements obtenus sont bien supérieurs.

Ainsi nous n'accepterons pas ce modèle.

c. Culture de maïs sur tanety de la zone ZNE

i. Culture de maïs en labour sur tanety de la zone ZNE

Pour la culture de maïs en labour on dispose de 149 données réelles. Pour l'ensemble des données, il n'y a pas de corrélation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée. En revanche, en séparant les données par type d'associations de cultures, on peut déterminer une relation linéaire pour l'association de cultures maïs+niébé.

➤ Association de culture maïs+niébé

A partir des données réelles et après avoir éliminé les valeurs aberrantes, le nuage de points suivant est obtenu :

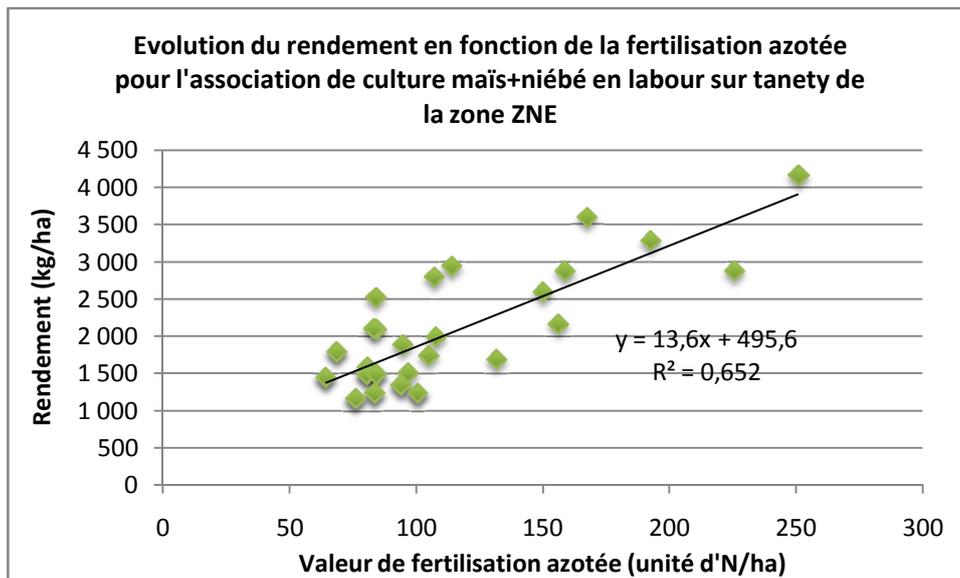


Figure 19 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associée à du niébé, en labour, sur tanety de la zone ZNE

Régression linéaire

Le coefficient de régression linéaire étant de 0,65, on peut accepter la relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée : Rendement = $13,6 \cdot N + 495$

On considèrera que ce modèle est uniquement applicable pour des valeurs de fertilisation azotée comprises entre 0 et 251 unités d'azote/ha.

Résultats des calculs du seuil de rentabilité

$$PB = 5440 * N + 198\,400 = 598 * y + 2502 * x + 163 * z + 198\,400$$

$$CO = 114\,706 + a * y + b * x + 20 * z$$

$$MB = (598 - a) * y + (2502 - b) * x + 143 * z + 83\,694$$

- Si $a < 598$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y > ((b - 2502) * x - 143 * z) / (598 - a)$
- Si $a > 598$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y < ((b - 2502) * x - 143 * z) / (598 - a)$

Résultats des calculs du retour sur investissement

$$RI = MB/CO = ((598 - a) * y + (2502 - b) * x + 143 * z + 83\,694) / (114\,706 + a * y + b * x + 20 * z)$$

- Si $a < 239$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y > (88\,365 + (2,5b - 2502) * x - 113 * z) / (598 - 2,5a)$
- Si $a > 239$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y < (88\,365 + (2,5b - 2502) * x - 113 * z) / (598 - 2,5a)$

Conclusion pour l'association de culture maïs+niébé en labour, sur tanety de la zone ZNE

- Si $a < 239$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 2502) * x - 143 * z) / (598 - a) \\ y > (88\,365 + (2,5b - 2502) * x - 113 * z) / (598 - 2,5a) \end{cases}$$

- Si $239 \text{ Ar/kg} < a < 598 \text{ Ar/kg}$, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 2502) * x - 143 * z) / (598 - a) \\ y < (88\,365 + (2,5b - 2502) * x - 113 * z) / (598 - 2,5a) \end{cases}$$

- Si $a > 598$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y < ((b - 2502) * x - 143 * z) / (598 - a) \\ y < (88\,365 + (2,5b - 2502) * x - 113 * z) / (598 - 2,5a) \end{cases}$$

Rappel : y=quantité de NPK, x=quantité d'urée, z=quantité de fumure organique, a=prix d'un kg de NPK et b=prix d'un kg d'urée.

*ii. Culture de maïs en **semis direct**, sur tanety de la zone ZNE*

Pour la culture de maïs en semis direct on dispose de 90 données réelles. Pour l'ensemble des données, il n'y pas de corrélation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée. En revanche, en séparant les données par type d'associations de cultures, on peut déterminer une relation linéaire pour l'association de cultures maïs+vigna.

➤ **Association de culture maïs+Vigna**

A partir des données réelles et après avoir éliminé les valeurs aberrantes, le nuage de points suivant est obtenu :

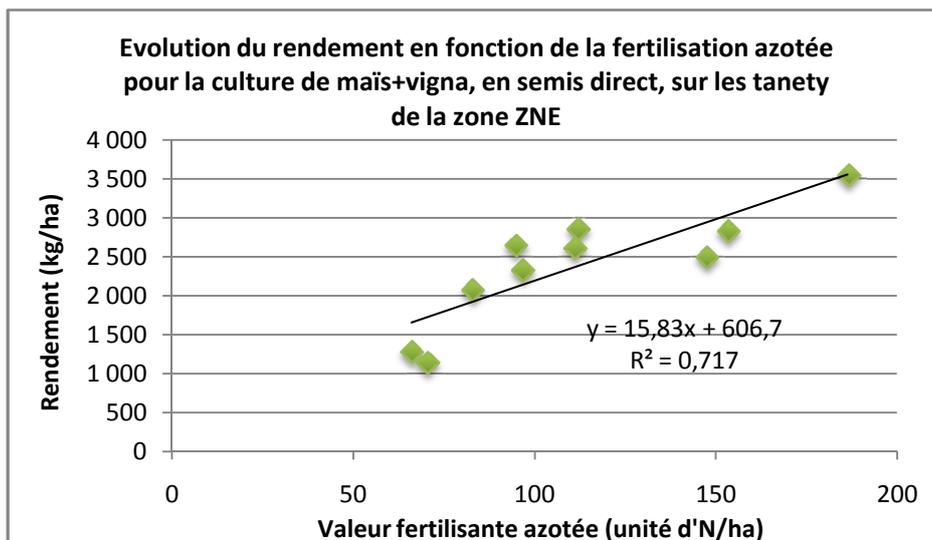


Figure 20 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associée à du vigna, en semis direct, sur tanety de la zone ZNE

Régression linéaire

Le coefficient de régression linéaire étant de 0,71, on peut accepter la relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée : Rendement = 15,8*N + 607

On considèrera que ce modèle est uniquement applicable pour des valeurs de fertilisation azotée comprises entre 0 et 186 unités d'azote/ha.

Résultats des calculs du seuil de rentabilité

$$PB = 6320*N + 242\ 800 = 695*y + 2907*x + 190*z + 242\ 800$$

$$CO = 99\ 215 + a*y + b*x + 20*z$$

$$MB = (695 - a)*y + (2907 - b)*x + 170*z + 143\ 585$$

- Si $a < 695$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y > ((b - 2907)*x - 170*z)/(695 - a)$
- Si $a > 695$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y < ((b - 2907)*x - 170*z)/(695 - a)$

Résultats des calculs du retour sur investissement

$$RI = MB/CO = ((695 - a)*y + (2907 - b)*x + 170*z + 143\ 585)/(99\ 215 + a*y + b*x + 20*z)$$

- Si $a < 278$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y > (5\ 238 + (2,5b - 2907)*x - 140*z)/(695 - 2,5a)$
- Si $a > 278$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y < (5\ 238 + (2,5b - 2907)*x - 140*z)/(695 - 2,5a)$

Conclusion pour l'association de culture de maïs+vigna en semis direct, sur tanety de la zone ZNE

- Si $a < 278$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 2907)*x - 170*z)/(695 - a) \\ y > (5\ 238 + (2,5b - 2907)*x - 140*z)/(695 - 2,5a) \end{cases}$$
- Si 278 Ar/kg $< a < 695$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 2907)*x - 170*z)/(695 - a)) \\ y < (5\,238 + (2,5b - 2907)*x - 140*z)/(695 - 2,5a) \end{cases}$$

- Si $a > 695$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y < ((b - 2907)*x - 170*z)/(695 - a) \\ y < (5\,238 + (2,5b - 2907)*x - 140*z)/(695 - 2,5a) \end{cases}$$

Rappel : y=quantité de NPK, x=quantité d'urée, z=quantité de fumure organique, a=prix d'un kg de NPK et b=prix d'un kg d'urée.

d. Culture de riz sur tanety de la zone ZNE

i. Culture de riz sur labour, sur tanety de la zone ZNE

Pour la culture de riz sur labour on dispose de 152 données réelles pour les tanety de la zone ZNE. Pour l'ensemble des données, il n'y pas de corrélation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée. En revanche, en séparant les données par type de variété du riz, on peut déterminer une relation linéaire pour le riz de variété B22.

➤ Culture de riz variété B22

A partir des données réelles et après avoir éliminé les valeurs aberrantes, le nuage de points suivant est obtenu :

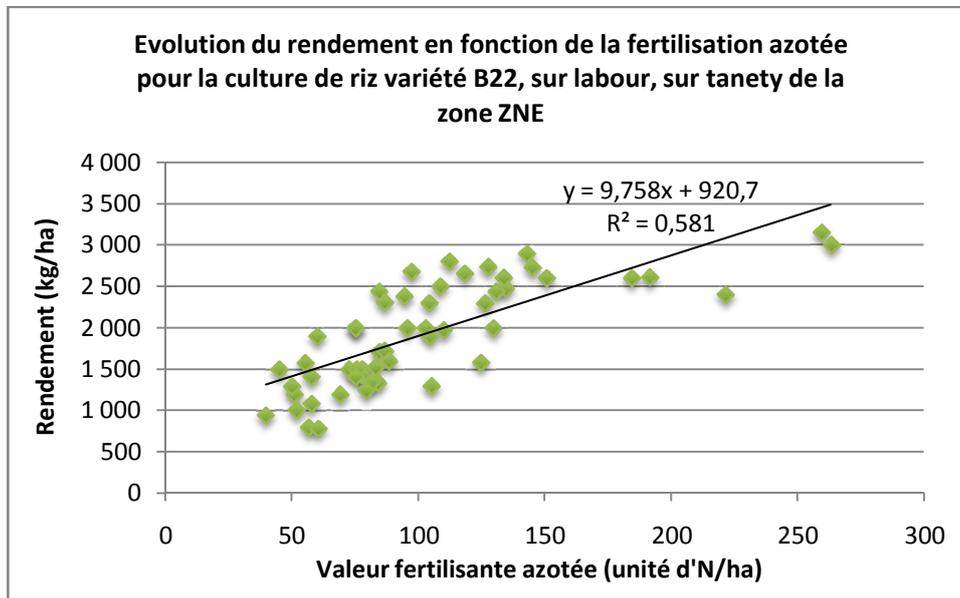


Figure 21 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de riz variété B22, en labour, sur tanety de la zone ZNE

Régression linéaire

Le coefficient de régression linéaire étant de 0,58, on peut accepter la relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée : Rendement = $9,7*N + 920$

On considèrera que ce modèle est uniquement applicable pour des valeurs de fertilisation azotée comprises entre 0 et 263 unités d'azote/ha.

Résultats des calculs du seuil de rentabilité

$$PB = 5335*N + 506\ 550 = 587*y + 2454*x + 160*z + 506\ 550$$

$$CO = 149\ 534 + a*y + b*x + 20*z$$

$$MB = (587 - a)*y + (2454 - b)*x + 140*z + 506\ 550$$

- Si $a < 587$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y > ((b - 2454)*x - 140*z)/(587 - a)$
- Si $a > 587$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y < ((b - 2454)*x - 140*z)/(587 - a)$

Résultats des calculs du retour sur investissement

$$RI = MB/CO = ((587 - a)*y + (2454 - b)*x + 140*z + 506\ 550)/(149\ 534 + a*y + b*x + 20*z)$$

- Si $a < 235$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y > (-282\ 249 + (2,5b - 2454)*x - 110*z)/(587 - 2,5a)$
- Si $a > 235$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y < (-282\ 249 + (2,5b - 2454)*x - 110*z)/(587 - 2,5a)$

Conclusion pour la culture de riz variété B22 en labour, sur tanety de la zone ZNE

- Si $a < 235$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :
$$\begin{cases} y > ((b - 2454)*x - 140*z)/(587 - a) \\ y > (-282\ 249 + (2,5b - 2454)*x - 110*z)/(587 - 2,5a) \end{cases}$$
- Si $235 \text{ Ar/kg} < a < 587 \text{ Ar/kg}$, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :
$$\begin{cases} y > ((b - 2454)*x - 140*z)/(587 - a) \\ y < (-282\ 249 + (2,5b - 2454)*x - 110*z)/(587 - 2,5a) \end{cases}$$
- Si $a > 587$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :
$$\begin{cases} y < ((b - 2454)*x - 140*z)/(587 - a) \\ y < (-282\ 249 + (2,5b - 2454)*x - 110*z)/(587 - 2,5a) \end{cases}$$

Rappel : y=quantité de NPK, x=quantité d'urée, z=quantité de fumure organique, a=prix d'un kg de NPK et b=prix d'un kg d'urée.

ii. Culture de riz en semis direct, sur tanety de la zone ZNE

Pour la culture de riz en semis direct on dispose de 63 données réelles pour les tanety de la zone ZNE. Pour l'ensemble des données, il n'y pas de corrélation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée. En revanche, en séparant les données par type de variété du riz, on peut déterminer une relation linéaire pour le riz de variété B22.

➤ **Culture de riz variété B22**

A partir des données réelles et après avoir retiré les points aberrants, le graphique suivant est obtenu :

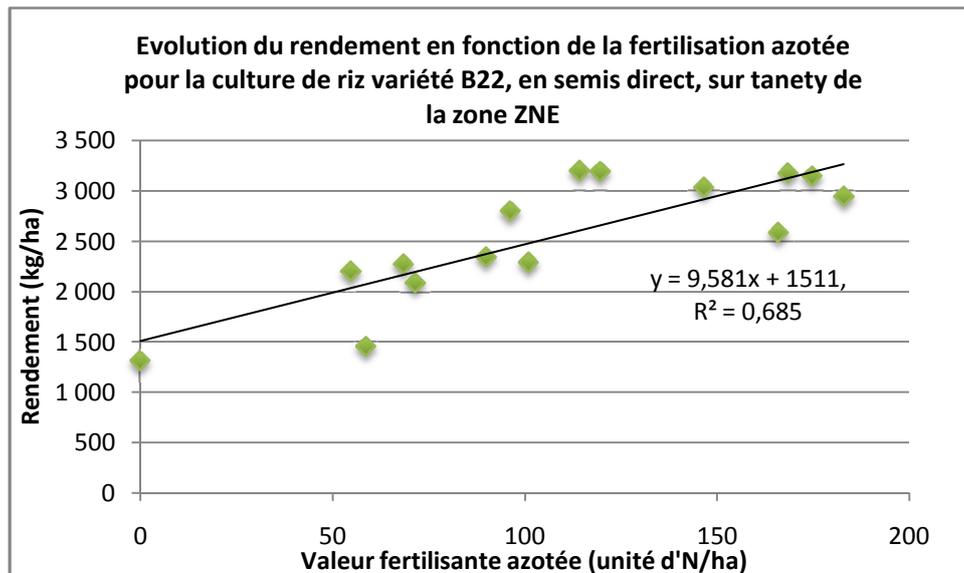


Figure 22 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de riz variété B22, en semis direct, sur tanety de la zone ZNE

Régression linéaire

Le coefficient de régression linéaire étant de 0,68, on peut accepter la relation linéaire entre le rendement et la fertilisation azotée : Rendement = 9,5*N + 1512

On considèrera que ce modèle est uniquement applicable pour des valeurs de fertilisation azotée comprises entre 0 et 183 unités d'azote/ha.

Résultats des calculs du seuil de rentabilité

$$PB = 575*y + 2404*x + 157*z + 831600$$

$$CO = 129412 + a*y + b*x + 20*z$$

$$MB = (575 - a)*y + (2404 - b)*x + 137*z + 702188$$

- Si $a < 575$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y > ((b - 2404)*x - 137*z)/(575 - a)$
- Si $a > 575$ Ar/kg, alors le gain est positif si $y < ((b - 2404)*x - 137*z)/(575 - a)$

Résultats des calculs du retour sur investissement

$$RI = MB/CO = ((575 - a)*y + (2404 - b)*x + 137*z + 702188)/((129412 + a*y + b*x + 20*z))$$

- Si $a < 230$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y > (-508070 + (2,5b - 2404)*x - 107*z)/(575 - 2,5a)$
- Si $a > 230$ Ar/kg, alors $RI > 1,5$ si $y < (-508070 + (2,5b - 2404)*x - 107*z)/(575 - 2,5a)$

Conclusion pour la culture riz variété B22 CM sur tanety de la zone ZNE

- Si $a < 230$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 2404)*x - 137*z)/(575 - a) \\ y > (-572776 + (2,5b - 2404)*x - 107*z)/(575 - 2,5a) \end{cases}$$
- Si 230 Ar/kg $< a < 575$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y > ((b - 2404)*x - 137*z)/(575 - a) \\ y < (-572776 + (2,5b - 2404)*x - 107*z)/(575 - 2,5a) \end{cases}$$

- Si $a > 935$ Ar/kg, alors les quantités de NPK (y) et d'urée (x) pour lesquelles il est intéressant d'utiliser une fertilisation minérale, répondent au système d'inéquations :

$$\begin{cases} y < ((b - 2404)*x - 137*z)/(575 - a) \\ y < (-572776 + (2,5b - 2404)*x - 107*z)/(575 - 2,5a) \end{cases}$$

Rappel : y=quantité de NPK, x=quantité d'urée, z=quantité de fumure organique, a=prix d'un kg de NPK et b=prix d'un kg d'urée.

4. Résultats de l'application des modèles au données de Tafa et aux données standards

A partir des données réelles, nous avons obtenus les modèles suivants :

| Culture | Type de sols | Système | Modèle |
|---------|--------------|--------------------------------|-----------------------|
| Maïs | Tanety | Maïs+Vigna en semis direct | PB = 6320*N + 242 800 |
| | | Maïs+Niébé sur labour | PB = 5440*N + 198 400 |
| | Baiboho | Maïs+Vigna en semis direct | PB = 2360*N + 968 800 |
| Riz | Tanety | Riz variété B22 en semi direct | PB = 5225*N + 831 600 |
| | | Riz variété B22 sur labour | PB = 5367*N + 506 418 |
| | Baiboho | Riz variété B22 sur labour | PB = 6553*N + 868 450 |

Tableau 33 : Synthèse des 6 modèles obtenus à partir des données réelles

Pour ces 6 systèmes, il est intéressant de calculer pour les systèmes similaires des données standards et des données de Tafa, le produit brut théorique. Cela nous permettra de déterminer les itinéraires techniques pour lesquels ces modèles fonctionnent bien.

a. Culture de maïs sur tanety

Pour la culture de maïs sur tanety, les systèmes pour lesquels nous avons obtenus des résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

| | | Données Tafa | Données standards | Données réelles |
|--------------|-----------------|--------------|-------------------|-----------------|
| Semis Direct | Maïs+Dolique | 1 | 0 | 0 |
| | Maïs+Vigna | 1 | 0 | 1 |
| | Maïs+Cajanus | 1 | 0 | 0 |
| | Maïs+Crotalaria | 1 | 0 | 0 |
| | Maïs+Desmodium | 1 | 0 | 0 |
| Labour | Maïs+Niébé | 0 | 2 | 1 |

Tableau 34 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type d'association de culture de maïs sur tanety

Nous pouvons donc tester les modèles pour

- la culture de Maïs+Vigna à partir des données de Tafa.
- la culture de Maïs+Niébé à partir des données standards.

i. Maïs+vigna en semis direct sur tanety

Le tableau suivant donne certaines caractéristiques du système maïs+vigna en semis direct sur tanety des données de Tafa.

| | Fertilisation | Produit brut observé (Ar/ha) | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) |
|---------------------------|--|------------------------------|---|
| ITK sans engrais minéraux | 5 000 kg/ha de fo | 1 231 250 | 150 |
| ITK avec engrais minéraux | 150 kg/ha de NPK + 100 kg/ha d'Urée + 5000 kg/ha de fo | 1 675 000 | 212,5 |

Tableau 35 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de maïs associée à du vigna en semis direct sur tanety, à partir des données de Tafa

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) obtenue est la suivante : $PB = 6320 \cdot N + 242\,800$ {a}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut théorique calculé à partir de l'équation {a} au produit brut observé lors des essais culturaux de Tafa.

| Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) | Produit brut calculé à partir de l'équation de modélisation {a} | Produit brut observé (données Tafa) | Taux d'erreur par rapport au modèle |
|---|---|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 150 | 1 190 800 Ar/ha | 1 231 250 Ar/ha | 3% |
| 212,5 | 1 585 800 Ar/ha | 1 675 000 Ar/ha | 6% |

Tableau 36 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de maïs associée à du vigna, en semis direct, sur tanety

Pour les deux types de fertilisation, on constate que le taux d'erreur est faible. Donc pour l'itinéraire technique suivi par Tafa, on peut accepter la modélisation du produit brut de la culture de Maïs+vigna en fonction de la valeur de fertilisation azotée, ainsi que tous les résultats concernant le calcul du seuil d'utilisation des engrais (présentés dans la partie précédente II.3)

Remarque : L'erreur observée est en partie due à l'écart entre le prix de vente de la récolte des données de Tafa (350 Ar/kg) et celui des données réelles (400 Ar/kg).

ii. Maïs+Niébé en labour sur tanety

On dispose de deux jeux de données standards différents pour la culture de maïs+niébé en labour sur tanety. Ils correspondent à deux itinéraires techniques différents.

| | | Fertilisation | Produit brut observé (Ar/ha) | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) |
|-------|-----------|--|------------------------------|---|
| ITK 1 | sans urée | 65 kg/ha de NPK + 3395 kg/ha de fo | 557 200 | 109 |
| | avec urée | 65 kg/ha de NPK + 53 kg/ha d'urée + 3395 kg/ha de fo | 818 400 | 133,38 |
| ITK 2 | sans urée | 3293 kg/ha de fo | 800 400 | 98,79 |
| | avec urée | 54 kg/ha d'urée + 3293 kg/ha de fo | 923 600 | 123,63 |

Tableau 37 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de maïs associée à du niébé en labour sur tanety, à partir des données standards

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) obtenue est la suivante : $PB = 5440 \cdot N + 198\,400$ {b}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut calculé à partir de l'équation {b} au produit brut observé des données standards.

| | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) | Produit brut (Ar/ha) calculé à partir de l'équation {b} | Produit brut (Ar/ha) observé | Taux d'erreur par rapport au modèle |
|-------|---|---|------------------------------|-------------------------------------|
| ITK 1 | 109 | 791 360 | 557 200 | 30% |
| | 133,8 | 926 272 | 818 400 | 12% |
| ITK 2 | 98,79 | 735 818 | 800 400 | 9% |
| | 123,63 | 870 947 | 923 600 | 6% |

Tableau 38 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de maïs associée à du niébé, en labour, sur tanety

Les taux d'erreurs sont faibles pour l'itinéraire technique 2. Donc pour cet itinéraire technique, on peut accepter la modélisation du produit brut de la culture de Maïs+niébé en fonction de la valeur de fertilisation azotée, ainsi que tous les résultats concernant le calcul du seuil d'utilisation des engrais (présentés dans la partie précédente II.3)

b. Culture de maïs sur baibohos

Pour la culture de maïs sur baiboho, les systèmes pour lesquels nous avons obtenus des résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

| | | Données TAFA | Données standards | Données réelles |
|--------------|--------------|--------------|-------------------|-----------------|
| Semis Direct | Maïs+Dolique | 0 | 0 | 1 |
| | Maïs+Vigna | 2 | 0 | 1 |
| Labour | Maïs+Niébé | 0 | 0 | 1 |

Tableau 39 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type d'association de culture de maïs sur baibohos

Nous pouvons donc tester, sur les données de Tafa, le modèle obtenu pour le système maïs+vigna en semis direct sur baibohos.

i. Maïs + Vigna en semis direct, sur baiboho

Le tableau suivant donne les caractéristiques des deux systèmes maïs+vigna en semis direct sur baibohos réalisés par Tafa.

| | | Fertilisation | Produit brut observé (Ar/ha) | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) |
|--------------------------|---------------------------|---|------------------------------|---|
| Cas 1 : précédent niébé | ITK sans engrais minéraux | Aucune | 1 280 000 | 0 |
| | ITK avec engrais minéraux | 130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée | 1 587 000 | 69,4 |
| Cas 2 : précédent avoine | ITK sans engrais minéraux | Aucune | 875 000 | 0 |
| | ITK avec engrais minéraux | 130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée | 1 305 500 | 69,4 |

Tableau 40 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de maïs associée à du vigna en semis direct sur baibohos, à partir des données de Tafa

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) obtenue est la suivante : $PB = 2360 \cdot N + 968\,800$ {c}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut calculé à partir de l'équation {c} au produit brut observé lors des essais culturaux de Tafa.

| | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) | Produit brut (Ar/ha) calculé à partir de l'équation {c} | Produit brut (Ar/ha) observé | Taux d'erreur par rapport au modèle |
|-------|---|---|------------------------------|-------------------------------------|
| Cas 1 | 0 | 968 800 | 1 280 000 | 32% |
| | 69,4 | 1 132 584 | 1 587 000 | 40% |
| Cas 2 | 0 | 968 800 | 875 000 | 10% |
| | 69,4 | 1 132 584 | 1 305 500 | 15% |

Tableau 41 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de maïs associée à du vigna, en semis direct, sur baibohos

Pour le cas 1, les taux d'erreur sont trop élevés pour que l'on puisse accepter la modélisation. En revanche pour le cas 2, les taux d'erreurs sont suffisamment faibles, donc pour l'itinéraire technique du cas 2 suivi par Tafa, on peut accepter la modélisation du produit brut de la culture de Maïs+Niébé en fonction de la valeur de fertilisation azotée, ainsi que tous les résultats concernant le calcul du seuil d'utilisation des engrais (présentés dans la partie précédente II.3)

c. Culture de riz sur tanety

Pour la culture de riz sur tanety, les systèmes pour lesquels nous avons obtenus des résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

| | | Données Tafa | Données standards | Données réelles |
|--------------|---------|--------------|-------------------|-----------------|
| Semis direct | Riz B22 | 4 | 0 | 1 |
| Labour | Riz B22 | 1 | 2 | 1 |

Tableau 42 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type de culture de riz sur tanety

Nous pouvons donc tester les modèles pour

- la culture de riz variété B22, en semis direct, à partir des données de TAFA.
- la culture de riz variété B22, en labour, à partir des données standards et des données réelles

i. Riz variété B22 en semi direct sur tanety

Pour les données de Tafa, on dispose de quatre essais culturaux pour le riz en semi direct sur tanety. La variété du riz cultivée n'est en revanche pas connue.

| | | Fertilisation | Produit brut observé (Ar/ha) | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) |
|--|--|---|------------------------------|---|
| Cas 1 : précédent stylosanthès | Itinéraire technique sans engrais minéraux | Aucune | 1 680 000 | 0 |
| | Itinéraire technique avec engrais minéraux | 130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée | 2 160 000 | 69,4 |
| Cas 2 : précédent soja + bracharia | Itinéraire technique sans engrais minéraux | Aucune | 1 104 000 | 0 |
| | Itinéraire technique avec engrais minéraux | 130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée | 1 200 000 | 69,4 |
| Cas 3 : précédent sorgho + éleusine + C.juncea + Cajanus | Itinéraire technique sans engrais minéraux | Aucune | 1 296 000 | 0 |
| | Itinéraire technique avec engrais minéraux | 130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée | 1 728 000 | 69,4 |
| Cas 4 : précédent sorgho | Itinéraire technique sans engrais minéraux | Aucune | 1 200 000 | 0 |
| | Itinéraire technique avec engrais minéraux | 130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée | 1 680 000 | 69,4 |

Tableau 43 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en semis direct sur tanety, à partir des données de Tafa

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) obtenue est la suivante : $PB = 5225 \cdot N + 831\,600$ {d}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut calculé à partir de l'équation {d} au produit brut observé des données de Tafa.

| | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) | Produit brut (Ar/ha) calculé à partir de l'équation {d} | Produit brut (Ar/ha) observé | Taux d'erreur par rapport au modèle |
|-------|---|---|------------------------------|-------------------------------------|
| Cas 1 | 0 | 831 600 | 1 680 000 | 102% |
| | 69,4 | 1 194 215 | 2 160 000 | 81% |
| Cas 2 | 0 | 831 600 | 1 104 000 | 33% |
| | 69,4 | 1 194 215 | 1 200 000 | 0% |

| | | | | |
|-------|------|-----------|-----------|-----|
| Cas 3 | 0 | 831 600 | 1 296 000 | 56% |
| | 69,4 | 1 194 215 | 1 728 000 | 45% |
| Cas 4 | 0 | 831 600 | 1 200 000 | 44% |
| | 69,4 | 1 194 215 | 1 680 000 | 41% |

Tableau 44 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de riz variété B22, en semis direct, sur tanety

Pour les cas 1, 3 et 4, les taux d'erreurs sont très élevés donc on ne peut pas accepter la modélisation pour ces données. Concernant le cas 2, le modèle fonctionne très bien s'il y a une fertilisation mais n'est pas performant pour l'itinéraire technique sans engrais. Le modèle pourrait être accepté pour l'itinéraire technique du cas 2 à conditions de rester critique face aux résultats.

ii. Riz variété B22, en labour, sur tanety

Le tableau suivant donne les caractéristiques de la culture de riz en labour sur tanety des données de Tafa.

| | Fertilisation | Produit brut observé (Ar/ha) | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) |
|--|---|------------------------------|---|
| Itinéraire technique sans engrais minéraux | Aucune | 1 008 000 | 0 |
| Itinéraire technique avec engrais minéraux | 130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée | 1 488 000 | 69,4 |

Tableau 45 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur tanety, à partir des données de Tafa

A partir des données standards, on dispose de deux jeux de données différents pour la culture de riz variété B22 en labour sur tanety. Ils correspondent à deux itinéraires techniques différents.

| | | Fertilisation | Produit brut observé (Ar/ha) | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) |
|-------|-----------|--|------------------------------|---|
| ITK 1 | sans urée | 64 kg/ha de NPK + 2864 kg/ha de fo | 865 150 | 92,96 |
| | avec urée | 64 kg/ha de NPK + 53 kg/ha d'urée + 2864 kg/ha de fo | 1 533 950 | 117,34 |
| ITK 2 | sans NPK | 2946 kg/ha de fo | 999 350 | 88,38 |
| | avec NPK | 87 kg/ha de NPK + 2946 kg/ha de fo | 1 397 000 | 97,95 |

Tableau 46 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur tanety, à partir des données standards

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) a été obtenue : $PB = 5367 * N + 506\,418$ {e}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut calculé à partir de l'équation {e} au produit brut observé des données de Tafa et des données standards.

| | | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) | Produit brut (Ar/ha) calculé à partir de l'équation {e} | Produit brut (Ar/ha) observé | Taux d'erreur par rapport au modèle |
|-------------------|-------|---|---|------------------------------|-------------------------------------|
| données Tafa | Cas 1 | 0 | 506 418 | 865 150 | 71% |
| | | 69,4 | 878 888 | 1 533 950 | 75% |
| données standards | ITK 1 | 92,96 | 1 005 334 | 865 150 | 14% |
| | | 117,34 | 1 136 182 | 1 533 950 | 35% |
| | ITK 2 | 88,38 | 980 753 | 999 350 | 2% |
| | | 97,95 | 1 032 116 | 1 397 000 | 35% |

Tableau 47 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de riz variété B22 en labour sur tanety

Les taux d'erreurs sont trop élevés pour que l'on puisse accepter la modélisation pour ces itinéraires techniques.

d. Culture de riz sur baibohos

Pour la culture de riz sur baibohos, les systèmes pour lesquels nous avons obtenus des résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous. Pour les données de Tafa, la variété du riz cultivé n'est pas connue.

| | | Données Tafa | Données standards | Données réelles |
|--------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------|
| Labour | Riz B22 | 1 | 2 | 1 |
| Semis direct | Riz Sebota 60 | 1 | 1 | 0 |

Tableau 48 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type de culture de riz sur baibohos

Nous pouvons donc confronter les résultats obtenus pour

- la culture de riz variété B22, en labour, à partir des données de Tafa, des données standards et des données réelles.

i. *Riz variété B22, en labour sur baibohos*

Le tableau suivant donne les caractéristiques de la culture de riz en labour sur tanety des données de Tafa.

| | Fertilisation | Produit brut observé (Ar/ha) | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) |
|---------------------------|---|------------------------------|---|
| ITK sans engrais minéraux | Aucune | 1 296 000 | 0 |
| ITK avec engrais minéraux | 130 kg/ha de DAP + 80 kg/ha de KCl + 100 kg/ha d'Urée | 1 968 000 | 69,4 |

Tableau 49 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos, à partir des données de Tafa

Pour les données standards, on dispose de deux jeux de données différents pour la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos. Ils correspondent à deux itinéraires techniques différents.

| | | Fertilisation | Produit brut observé (Ar/ha) | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) |
|-------|----------|---|------------------------------|---|
| ITK 1 | sans NPK | 68 kg/ha d'urée + 3907 kg/ha de fo | 1 992 650 | 148,49 |
| | avec NPK | 121 kg/ha de NPK + 68 kg/ha d'urée + 3907 kg/ha de fo | 2 621 850 | 161,8 |
| ITK 2 | sans NPK | 2983 kg/ha de fo | 1 389 850 | 89,49 |
| | Avec NPK | 138 kg/ha d'urée + 2983 kg/ha de fo | 1 703 350 | 104,67 |

Tableau 50 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos, à partir des données standards

A partir des données réelles, l'équation de modélisation du produit brut en fonction de la valeur de fertilisation azotée (N) a été obtenue : $PB = 6553 \cdot N + 868\,450$ {f}

Le tableau suivant permet de comparer le produit brut calculé à partir de l'équation {f} au produit brut observé des données de Tafa et des données standards.

| | | Valeur de fertilisation azotée (unité N/ha) | Produit brut (Ar/ha) calculé à partir de l'équation {f} | Produit brut (Ar/ha) observé | Taux d'erreur par rapport au modèle |
|-------------------|-------|---|---|------------------------------|-------------------------------------|
| données Tafa | Cas 1 | 0 | 868450 | 1 296 000 | 49% |
| | | 69,4 | 1323228 | 1 968 000 | 49% |
| données standards | ITK 1 | 148,49 | 1841505 | 1 992 650 | 8% |
| | | 161,8 | 1928725 | 2 621 850 | 36% |
| | ITK 2 | 89,49 | 1454878 | 1 389 850 | 4% |
| | | 104,67 | 1554353 | 1 703 350 | 10% |

Tableau 51 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos

Pour les données de Tafa, on ne peut pas accepter le modèle car les taux d'erreurs sont trop élevés. Il en est de même pour l'itinéraire technique 1 des données standards.

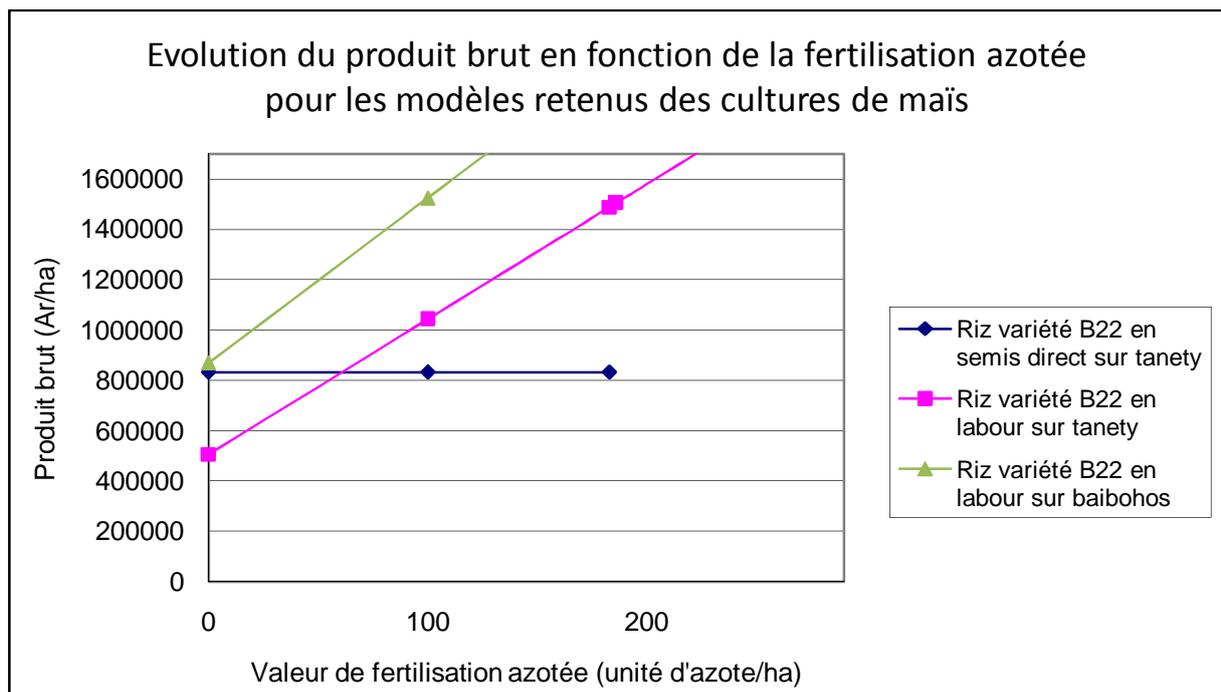
En revanche, pour l'itinéraire technique 2 des données standards, les taux d'erreur sont suffisamment faibles pour qu'on accepte le modèle.

Synthèse des modèles obtenus et des itinéraires techniques correspondants

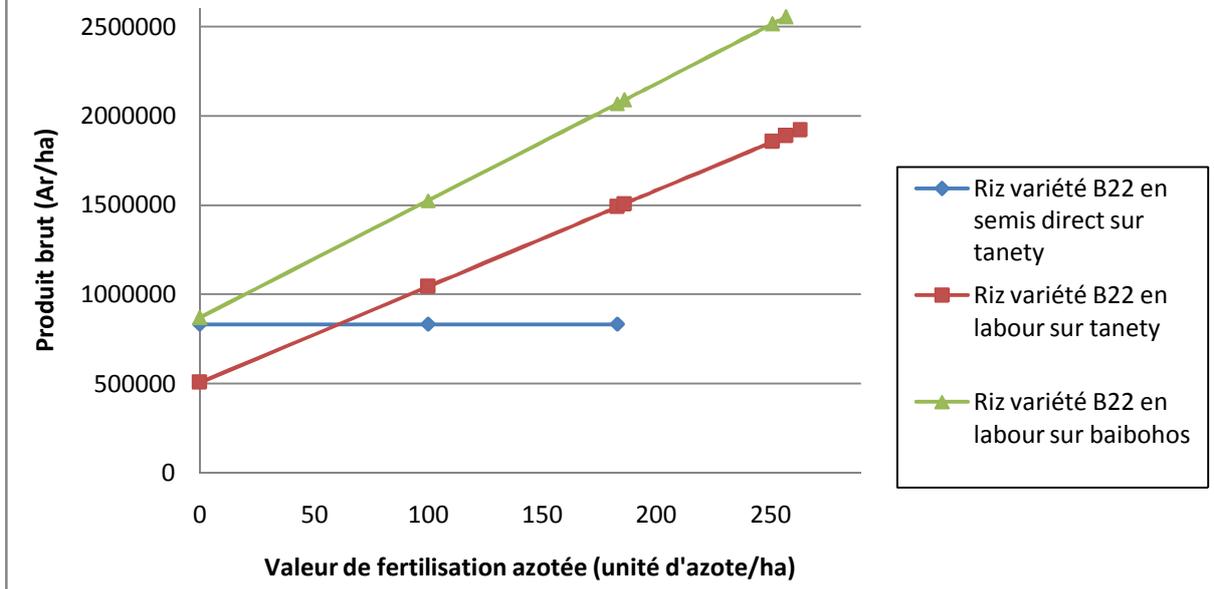
| Type de culture | Equation de modélisation | | Itinéraires techniques correspondants |
|--|----------------------------|-----------|---|
| Maïs+vigna en semis direct sur tanety | $PB = 6320 * N + 242\ 800$ | [0 ; 186] | ITK suivi par Tafa |
| Maïs+niébé en labour sur tanety | $PB = 5440 * N + 198\ 400$ | [0 ; 251] | ITK 2 des données standards |
| Maïs+vigna en semis direct sur baibohos | $PB = 2360 * N + 968\ 800$ | [0 ; 281] | ITK 2 (précédent avoine) suivi par Tafa |
| Riz variété B22 en semis direct sur tanety | $PB = 5225 * N + 831\ 600$ | [0 ; 183] | ITK 2 (précédent soja + bracharia) suivi par Tafa |
| Riz variété B22 en labour sur tanety | $PB = 5367 * N + 506\ 418$ | [0 ; 263] | aucun |
| Riz variété B22 en labour sur baibohos | $PB = 6553 * N + 868\ 450$ | [0 ; 257] | ITK 2 des données standards |

Pour certains itinéraires techniques que nous avons pu tester, nos modèles peuvent être appliqués. Ainsi, au moins pour ces itinéraires techniques, il sera intéressant d'utiliser les résultats obtenus dans la partie II.3 à partir de ces modèles : détermination de la quantité seuil d'engrais à apporter à la culture pour un prix de l'engrais connu et détermination du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour une quantité fixée d'engrais apportés à la culture.

Les deux graphiques suivant permettent de visualiser les modèles obtenus pour le maïs et pour le riz sur leurs intervalles de validité respectifs.



Evolution du produit brut en fonction de la fertilisation azotée pour les modèles retenus des cultures de riz



III. Conclusion

Cette étude a permis de déterminer des seuils d'utilisation des engrais minéraux pour plusieurs cultures et itinéraires techniques précis. Ces seuils sont intéressants car ils prennent en compte à la fois la rentabilité permise par l'utilisation d'engrais minéraux, mais également le risque financier engendré par celle-ci. Néanmoins, il faudra rester critique face à ces résultats car :

- La variabilité climatologique n'a pas été prise en compte. En effet, les calculs des seuils ont été réalisés à partir des données de 2008 pour les données du RFR, et à partir des données de 2009 pour celles de Tafa. Réaliser le même travail sur plusieurs années et confronter les résultats, aurait permis de contourner cette difficulté.
- La variabilité des prix de vente n'a pas été intégrée aux calculs. Pour les données de Tafa, le prix de vente du maïs utilisé est 350 Ar/kg et celui du riz est 480 Ar/kg. Pour les données du RFR, le prix de vente du maïs 400 Ar/kg et celui du riz est 550 Ar/kg.

De plus, comme nous l'avons fait remarquer à plusieurs reprises dans le rapport, il y a une très grande variabilité des rendements et de la fertilisation. Ceci est dû au fait que la fertilité des sols est un paramètre qui n'a pas été pris en compte lors de la récolte des données et ceci constitue la plus grande faiblesse de notre travail. En effet, nous avons basés nos calculs sur l'hypothèse que les sols possédaient tous la même fertilité et ainsi que les différences de rendements constatées étaient dues à l'apport d'engrais minéraux. En réalité, on ne peut pas être certain qu'une augmentation de la fertilisation minérale est la seule source explicative de l'augmentation du rendement par comparaison des données. Nous avons d'ailleurs donné des exemples illustrant cette remarque : dans les résultats des données standards, pour un même itinéraire technique et une même fertilisation on a constaté des rendements très différents ; dans les résultats des données réelles, nous n'avons pas toujours réussi à corréler l'augmentation du rendement à l'augmentation de la fertilisation. De plus, nous avons constaté que souvent, en pratique, les paysans avaient pour stratégie d'apporter des engrais minéraux sur les parcelles peu fertiles afin d'obtenir des rendements similaires à ceux réalisés sur sols fertiles.

Néanmoins, notre travail reste une base intéressante pour apporter des conseils adaptés aux paysans. Les itinéraires techniques étant extrêmement variables d'une parcelle à une autre et ce sera aux opérateurs d'ajuster les recommandations à chaque particulier rencontré sur le terrain.

Bibliographie

BASCOU P.D., (2010), *Analyse du fonctionnement des exploitations polyculture élevage à travers la mise en place d'une démarche d'accompagnement des producteurs*, Rapport de stage 3^{ème} année Sup-agro Montpellier, CIRAD, 138 p +annexes

CAUVY S., PENOT E., (2009), *Mise au point des scénarios en analyse prospective et des simulations sur les exploitations agricoles du réseau de fermes de référence*, Document de travail n°43, BV-Lac, 28p.

Cellule d'Appui au Programme pays du Fonds International pour le Développement Agricole à Madagascar (CAPFIDA). *Appui à la mise en place d'un système de production et de distribution d'intrants (engrais et produits phytosanitaires) dans les zones d'interventions de PARECAM*. Rapport d'état de lieu février 2011. 42 p.

Cellule d'Appui au Programme pays du Fonds International pour le Développement Agricole à Madagascar (CAPFIDA). *Rapport d'analyse régionale – Région Alaotra Mangoro*. 2006.

DEVEZE. J. (2008), « Evolutions des agricultures familiales du Lac Alaotra (Madagascar) », in *Défis agricoles africains*, Karthala, Paris

DURAND, C. ; NAVE.S, (2007). *Les paysans de l'Alaotra, entre rizières et tanety. Étude des dynamiques agraires et des stratégies paysannes dans un contexte de pression foncière, Lac Alaotra, Madagascar*, Rapport de stage ESAT 1, IRC, 123 p.

GARIN P., (1998), *Dynamiques agraires autour de grands périmètres irrigués : le cas du lac Alaotra à Madagascar*, Thèse, Université de Paris X Nanterre (Géographie), Cemagref, CIRAD, 374 p.

FABRE J., (2011). *Evaluation technico-économique des effets des systèmes de culture sous couverture végétale dans les exploitations agricoles du lac Alaotra, Madagascar*. Rapport de stage 3^{ème} année Sup-agro Montpellier, CIRAD, 102 p + annexes.

Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP), mai 2006. *Stratégie nationale pour le développement de l'utilisation de l'engrais*. 48 p.

OUSTRY M., (2007), *Analyse des causes de non remboursement des crédits au lac Alaotra à Madagascar, quelles implications pour les groupements de crédits à caution solidaire, les institutions financières et le projet BV-Lac ?*, Mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de spécialisation en agronomie tropicale, ESAT 2, IRC Sup Agro, France, Montpellier, 146p.

PENOT E. (Janvier 2008). Document de travail BV Lac n°5, *Harmonisation des calculs économiques et correspondance avec le logiciel Olympe*.

TERRIER M., (2008), *Mise en place du réseau de fermes de références dans la zone d'intervention du projet BV/Lac, lac Aloatra, Madagascar. Méthodologie, conventions et règles d'utilisation*, Rapport de stage 3ème année Sup-agro Montpellier, CIRAD, 90 p + annexes

Table des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Nombre de jeux de données par culture et par sol | 10 |
| Tableau 2 : Prix des engrais NPK et Urée pour les années 2008 à 2011 et moyenne du rapport (prix urée/prix NPK)..... | 11 |
| Tableau 3 : nombre de données standards par culture et par type de sol | 14 |
| Tableau 4 : Nombre de données réelles par culture et par type de sol..... | 15 |
| Tableau 5 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 5 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur tanety..... | 20 |
| Tableau 6 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 5 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur tanety, réalisés par Tafa | 20 |
| Tableau 7 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 2 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur baibohos | 21 |
| Tableau 8 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 2 essais expérimentaux de culture de maïs en semis direct sur baibohos, réalisés par Tafa | 21 |
| Tableau 9 : Les 5 essais culturaux de riz sur tanety réalisés par Tafa | 21 |
| Tableau 10 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 5 essais expérimentaux de culture de riz sur tanety..... | 21 |
| Tableau 11 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 5 essais expérimentaux de culture de riz sur tanety, réalisés par Tafa | 22 |
| Tableau 12 : Les 2 essais culturaux de riz sur baibohos réalisés par Tafa | 22 |
| Tableau 13 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur baibohos | 22 |
| Tableau 14 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur baibohos, réalisés par Tafa | 23 |
| Tableau 15 : Les 2 essais culturaux de riz sur rizière irriguée réalisés par Tafa | 23 |
| Tableau 16 : Itinéraires techniques suivis par Tafa pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur rizière irriguée | 23 |
| Tableau 17 : Synthèse des prix seuils d'utilisation pour les 2 essais expérimentaux de culture de riz sur rizière irriguée, réalisés par Tafa..... | 24 |
| Tableau 18 : Itinéraires techniques suivis pour les riz étudiés sur baibohos de la zone VSE... | 25 |
| Tableau 19 : Résultats économiques des cultures de riz étudiées sur baibohos de la zone VSE | 25 |
| Tableau 20 : Equation de la modélisation du gain dégagé en fonction du prix des engrais et seuil de rentabilité associé pour les cultures de riz étudiées sur baibohos de la zone VSE. ... | 26 |

| | |
|--|----|
| Tableau 21 : Prix seuil des engrais, correspondant à différents niveaux de retour sur investissement, pour les cultures de riz étudiées sur baibohos de la zone VSE | 26 |
| Tableau 22 : Comparaisons des itinéraires techniques suivis et du rendement des riz G et I sur baibohos de la zone VSE | 27 |
| Tableau 23 : Comparaisons des itinéraires techniques suivis et du rendement des riz C et D sur baibohos de la zone VSE | 27 |
| Tableau 24 : Itinéraires techniques suivis pour les cultures de riz étudiées sur tanety de la zone ZNE | 28 |
| Tableau 25 : Résultats économiques des cultures de riz étudiées sur tanety de la zone ZNE. | 29 |
| Tableau 26 : Equation de la modélisation du gain dégagé en fonction du prix des engrais et seuil de rentabilité associé pour les cultures de riz étudiées sur tanety de la zone ZNE. | 29 |
| Tableau 27 : Prix seuil des engrais, correspondant à différents niveaux de retour sur investissement, pour les cultures de riz étudiées sur tanety de la zone ZNE | 29 |
| Tableau 28 : Itinéraires techniques suivis pour les cultures de maïs étudiées sur tanety de la zone ZNE | 31 |
| Tableau 29 : Résultats économiques des cultures de maïs étudiées sur tanety de la zone ZNE | 31 |
| Tableau 30 : Equation de la modélisation du gain dégagé en fonction du prix des engrais et seuil de rentabilité associé pour les cultures de maïs étudiées sur tanety de la zone ZNE. | 31 |
| Tableau 31 : Prix seuil des engrais, correspondant à différents niveaux de retour sur investissement, pour les cultures de maïs étudiées sur tanety de la zone ZNE..... | 31 |
| Tableau 32 : Nombre de données réelles par type d'association de culture pour le maïs en labour sur baibohos de la zone VSE | 33 |
| Tableau 33 : Synthèse des 6 modèles obtenus à partir des données réelles..... | 48 |
| Tableau 34 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type d'association de culture de maïs sur tanety | 48 |
| Tableau 35 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de maïs associée à du vigna en semis direct sur tanety, à partir des données de Tafa | 49 |
| Tableau 36 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de maïs associée à du vigna, en semis direct, sur tanety..... | 49 |
| Tableau 37 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de maïs associée à du niébé en labour sur tanety, à partir des données standards... | 50 |
| Tableau 38 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de maïs associée à du niébé, en labour, sur tanety..... | 50 |
| Tableau 39 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type d'association de culture de maïs sur baibohos..... | 50 |
| Tableau 40 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de maïs associée à du vigna en semis direct sur baibohos, à partir des données de Tafa | 51 |

| | |
|---|----|
| Tableau 41 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de maïs associée à du vigna, en semis direct, sur baibohos | 51 |
| Tableau 42 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type de culture de riz sur tanety | 51 |
| Tableau 43 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en semis direct sur tanety, à partir des données de Tafa | 52 |
| Tableau 44 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de riz variété B22, en semis direct, sur tanety | 53 |
| Tableau 45 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur tanety, à partir des données de Tafa | 53 |
| Tableau 46 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur tanety, à partir des données standards | 53 |
| Tableau 47 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de riz variété B22 en labour sur tanety..... | 54 |
| Tableau 48 : Nombre de résultats obtenus par type de données et par type de culture de riz sur baibohos..... | 54 |
| Tableau 49 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos, à partir des données de Tafa..... | 54 |
| Tableau 50 : Certaines caractéristiques des itinéraires techniques et des résultats de la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos, à partir des données standards..... | 55 |
| Tableau 51 : Comparaison des produits bruts théoriques et observés pour la culture de riz variété B22 en labour sur baibohos | 55 |

Table des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Localisation du lac Alaotra, d'après Oustry, 2007 | 5 |
| Figure 2 : Transect général Est-Ouest, d'après Nave&Durand, 2007..... | 6 |
| Figure 3 : Le paysage du versant Sud-est, d'après Fabre, 2011..... | 7 |
| Figure 4 : Le paysage de la zone Nord-est, d'après Fabre, 2011 | 8 |
| Figure 5 : Détermination visuelle du prix seuil d'utilisation des engrais NPK et urée. Cas où le prix seuil de rentabilité est supérieur au prix seuil calculé pour un RI > 1,5..... | 13 |
| Figure 6 : Détermination visuelle du prix seuil d'utilisation des engrais NPK et urée. Cas où le prix seuil de rentabilité est inférieur au prix seuil calculé pour un RI > 1,5 | 13 |
| Figure 7 : Graphiques d'aide à l'interprétation des prix seuils de rentabilité des engrais NPK et urée..... | 18 |
| Figure 8 : Détermination visuelle du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour chacune des cultures de riz étudiées sur baibohos de la zone VSE..... | 26 |
| Figure 9 : Détermination visuelle du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour chacune des cultures de riz étudiées sur tanety de la zone ZNE..... | 29 |

| | |
|--|----|
| Figure 10 : Détermination visuelle du prix seuil d'utilisation des engrais minéraux pour chacune des cultures de maïs étudiées sur tanety de la zone ZNE | 31 |
| Figure 11 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs en labour, sur baibohos de la zone VSE..... | 32 |
| Figure 12 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associées à de la dolique, en labour, sur baibohos de la zone VSE | 33 |
| Figure 13 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associée à du niébé, en labour, sur baibohos de la zone VSE | 34 |
| Figure 14 : Détermination visuelle des couples (prix urée, prix NPK) pour lesquels le gain > 0 et RI > 1,5 | 36 |
| Figure 15 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associée à de la dolique, en semis direct, sur baibohos de la zone VSE | 37 |
| Figure 16 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associée à du vigna, en semis direct, sur baibohos de la zone VSE | 38 |
| Figure 17 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de riz variété B22, en labour, sur baibohos de la zone VSE..... | 40 |
| Figure 18 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de riz variété Primavera, en semis direct, sur baibohos de la zone VSE | 41 |
| Figure 19 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associée à du niébé, en labour, sur tanety de la zone ZNE | 42 |
| Figure 20 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de maïs associée à du vigna, en semis direct, sur tanety de la zone ZNE | 44 |
| Figure 21 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de riz variété B22, en labour, sur tanety de la zone ZNE | 45 |
| Figure 22 : Nuage de points du rendement en fonction de la fertilisation azotée pour la culture de riz variété B22, en semis direct, sur tanety de la zone ZNE..... | 47 |

Table des Annexes

Annexe 1 : Définitions des calculs économiques utilisés avec Olympe

Annexe 2 : Résultats économiques des cultures de maïs et de riz au lac Alaotra

Annexe 3 : Détails des résultats pour les prix seuils d'utilisation des engrais minéraux à partir des données de Tafa

Annexe 1 : Définitions des calculs économiques utilisés avec Olympe

Le logiciel Olympe est utilisé pour la gestion des réseaux de fermes de références au Lac Alaotra dans le cadre du projet BV lac.

Les définitions suivantes constituent les conventions de calcul standard utilisables pour les réseaux de fermes de références et les utilisateurs d'olympé (projet BV-lac, BV PI et d'autres...). Elles sont extraites du *Document de travail BV Lac n°5*.

Pour une exploitation agricole malgache, le logiciel Olympe permet de considérer deux niveaux :

- Le niveau des systèmes de culture : itinéraires techniques annuels ou à la parcelle
- Le niveau exploitation agricole (système de production).

Les valeurs économiques étudiées dans ce rapport concernent le niveau des systèmes de culture.

Le produit brut est la valeur de la production brute agricole estimée au prix du marché, prix sortie ferme. Le produit brut à l'hectare correspond donc au rendement (moins les pertes éventuelles) multiplié par le prix unitaire de vente des produits pris sortie ferme. Il est calculé hors autoconsommation. C'est l'équivalent du chiffre d'affaire.

La marge brute est calculée en déduisant du produit brut les consommations intermédiaires (charges opérationnelles) qui disparaissent dans l'acte de production :

- Semences,
- Engrais,
- Herbicides,
- Produits phytosanitaires : insecticides, fongicides, etc.
- Redevance eau
- Toutes charges salariales temporaires affectées à la culture (main d'œuvre temporaire salariée)
- Coûts de motorisation liée à l'utilisation d'un tracteur ou Kubota (motoculteur local), ramenés à l'heure de travail et qui peuvent être affectés à une culture.
- Le fermage : coût de location de la terre

Les coûts de métayage ne sont pas inscrits dans Olympe car ils ne sont jamais connus à l'avance (puisqu'ils dépendent de la production donc du rendement). En revanche, le produit brut indiqué correspond à la part de la production réellement touchée par le paysan.

Le travail familial n'est pas rémunéré et le travail salarié est traité comme un coût intégré dans les ateliers pour le travail temporaire et intégré dans les charges de structure pour les salariés permanents.

La valorisation de la journée de travail correspond à la quantité d'argent dégagée par jour de travail d'une personne familiale. Elle est calculée en ramenant à une journée de 8h la division de la marge brute par la quantité en heure de travail familial. La VJT permet de comparer plusieurs systèmes de culture entre eux. En revanche il n'est pas toujours possible de comparer les VJT d'une année sur l'autre car les prix fluctuent d'une année en année.

Le retour sur investissement correspond au rapport de la marge brute sur le total des consommations intermédiaires. Plus il est élevé, moins le risque est important pour le paysan.

Annexe 2 : Résultats économiques des cultures de maïs et de riz au lac Alaotra

Les données utilisées dans cette annexe ont été extraites de la base de données du RFR actuellement sous le logiciel Olympe.

I. Culture de maïs

L'étude a pour but de rendre compte de l'effet de l'utilisation d'engrais minéraux et de la topologie des sols sur les charges opérationnelles, le produit brut, la marge brute et la valorisation de la journée de travail.

Pour cela, nous travaillerons sur des données d'itinéraires techniques dits « standards » (ITKs) de la saison 2007-2008. Les données standards correspondent à des moyennes de données réelles récoltées sur le terrain ayant un itinéraire technique et des résultats similaires.

Pour la culture de maïs, 16 ITKs pour la zone du versant Sud-est et 24 ITKs pour la zone Nord-est ont été répertoriés.

Le tableau suivant résume la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation pour chacun des résultats étudiés de la culture de maïs. Ces calculs sont réalisés sur les données des 24 ITKs de la zone Nord-est et sur les 16 ITKs de la zone du versant Sud-est, et également pour chaque type de sol de ces deux zones.

| | nombre données | Charges opérationnelles (kAr/ha) | | | Produit brut (kAr/ha) | | | Marge brute (kAr/ha) | | | Valorisation de la journée de travail (kAr/ha) | | | Retour sur investissement | | | |
|-----|----------------|----------------------------------|------------|-----------|-----------------------|------------|-----------|----------------------|------------|-----------|--|------------|-----------|---------------------------|------------|-----------|-----|
| | | moy | écart type | coeff var | moy | écart type | coeff var | moy | écart type | coeff var | moy | écart type | coeff var | moy | écart type | coeff var | |
| ZNE | 24 | 222 | 70 | 32% | 862 | 231 | 27% | 641 | 229 | 36% | 69 | 26 | 38% | 3 | 1,7 | 53% | |
| VSE | 16 | 191 | 116 | 61% | 929 | 394 | 42% | 738 | 410 | 55% | 57 | 31 | 55% | 5 | 4,3 | 79% | |
| VSE | BBH | 14 | 196 | 122 | 62% | 928 | 423 | 46% | 733 | 440 | 60% | 55 | 33 | 60% | 5 | 4,6 | 84% |
| | BDP | 2 | 158 | 61 | 39% | 936 | 72 | 8% | 777 | 10 | 1% | 65 | 16 | 25% | 5 | 2,0 | 38% |
| ZNE | BBH | 3 | 216 | 34 | 16% | 821 | 319 | 39% | 605 | 321 | 53% | 69 | 41 | 59% | 3 | 1,5 | 53% |
| | BDP | 4 | 223 | 73 | 33% | 794 | 193 | 24% | 571 | 198 | 35% | 63 | 27 | 42% | 3 | 1,7 | 57% |
| | TAN | 16 | 222 | 77 | 35% | 891 | 236 | 26% | 669 | 231 | 35% | 72 | 25 | 35% | 3 | 1,8 | 53% |

ZNE = Zone Nord-est, VSE = Versant Sud-est, BBH = Baiboho, BDP = Bas de pente

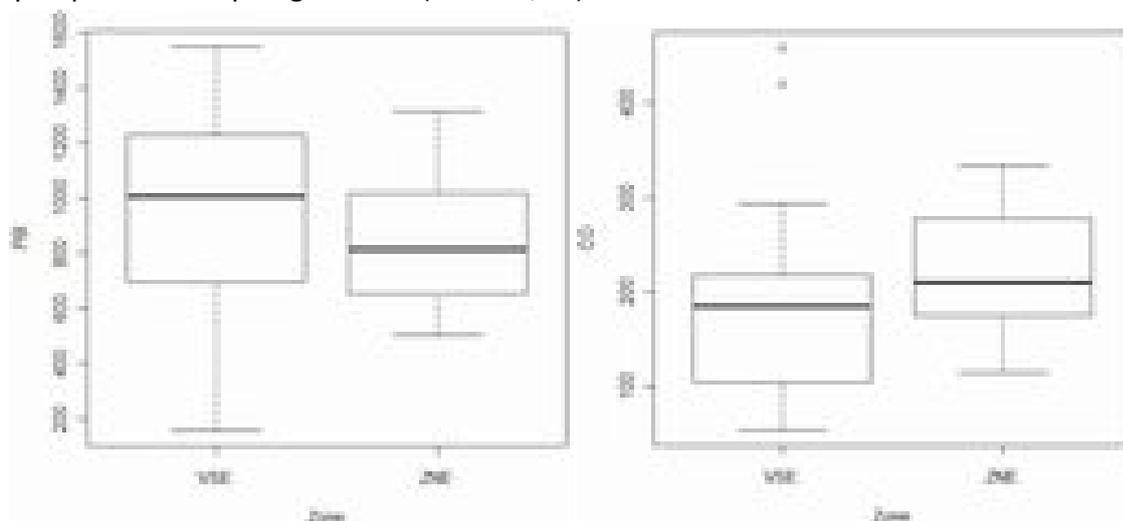
| | | |
|------------------|---|---|
| Légende : |  | Coefficient de variation <30% |
| |  | Coefficient de variation compris entre 30% et 50% |
| |  | Coefficient de variation >50% |

Un coefficient de variation inférieur à 30%, permet de dire que la moyenne est significative. Un coefficient de variation supérieur à 50% indique que les données sont très variables et que la moyenne n'est pas représentative.

Pour un coefficient de variation compris entre 30% et 50%, il faut considérer la moyenne avec beaucoup de précaution.

Nous pouvons constater que si l'on considère uniquement la zone VSE et la zone ZNE, la variation des résultats étudiés est très importante. Il faut donc rester critique face aux moyennes obtenues.

En séparant les zones par topologie des sols, on obtient des coefficients de variation acceptables pour les charges opérationnelles et le produit brut, excepté pour les baibohos de la zone VSE. Nous pouvons remarquer sur les diagrammes en boîte ci-dessous qu'en moyenne, le produit brut pour la zone VSE (929 kAr/ha) est supérieur à celui de la zone ZNE (862 kAr/ha). En revanche, les charges opérationnelles apparaissent supérieures pour la zone ZNE par rapport à la zone VSE. Pour la zone ZNE, elles restent en moyenne similaires quelque soit la topologie du sol (222 kAr/ha).



La marge brute, la valorisation de la journée de travail et le retour sur investissement restent néanmoins très variables, ce qui rend les moyennes difficilement exploitables.

Cette importante variabilité des résultats peut s'expliquer par :

- Des sols plus ou moins fertiles pour une même topologie
- Des itinéraires techniques différents
- Le faible nombre de données

Au vu de ces résultats, il apparaît important de différencier les deux zones.

Concernant la fertilisation, les paysans utilisent plusieurs types de fertilisation :

- Aucune
- Organique (fumier)
- Minérale (urée(46) et/ou NPK 22-11-16)
- Organique et minérale

Le tableau suivant résume les charges opérationnelles, le produit brut, la marge brute, la valorisation de la journée de travail et le retour sur investissement obtenus pour les différentes stratégies de fertilisation.

| | | Ferti- sation | nb donn ées | Charges opérationnelles (kAr/ha) | | | Produit brut (kAr/ha) | | | Marge brute (kAr/ha) | | | Valorisation de la journée de travail (kAr/ha) | | | Retour sur investissement | | |
|-----|-----|------------------|-------------------|--|---------------|--------------|-----------------------|---------------|--------------|-------------------------|---------------|--------------|--|---------------|--------------|------------------------------|---------------|--------------|
| | | | | moy | écart type | Coeff var | moy | écart type | coeff var | moy | écart type | coeff var | moy | écart type | coeff var | moy | écart type | coeff var |
| VSE | BBH | aucune | 3 | 77 | 20,1 | 26% | 894 | 637,9 | 71% | 817 | 618,2 | 76% | 58 | 40,9 | 71% | 9 | 6,6 | 70% |
| | | orga | 2 | 112 | 25,1 | 22% | 1093 | 92,2 | 8% | 981 | 67,1 | 7% | 78 | 11,6 | 15% | 9 | 1,4 | 16% |
| | | min | 4 | 169 | 39,1 | 23% | 1046 | 254,9 | 24% | 876 | 270,9 | 31% | 71 | 21,3 | 30% | 6 | 3,0 | 54% |
| | | org_min | 5 | 321 | 112,7 | 35% | 789 | 524,8 | 67% | 468 | 486,5 | 104% | 33 | 34,6 | 106% | 2 | 1,6 | 105% |
| | BDP | orga | 1 | 115 | | | 885 | | | 770 | | | 54 | | | 7 | | |
| | | org_min | 1 | 202 | | | 986 | | | 785 | | | 77 | | | 4 | | |
| ZNE | BDP | orga | 1 | 117 | | | 749 | | | 632 | | | 82 | | | 5 | | |
| | | org_min | 4 | 250 | 50,0 | 20% | 806 | 221,4 | 27% | 556 | 225,3 | 41% | 58 | 28,0 | 48% | 2 | 1,2 | 50% |
| | BBH | org_min | 3 | 216 | 33,5 | 16% | 821 | 319,4 | 39% | 605 | 320,5 | 53% | 69 | 40,8 | 59% | 3 | 1,5 | 53% |
| | TAN | orga | 3 | 127 | 20,8 | 16% | 916 | 100,6 | 11% | 789 | 94,3 | 12% | 88 | 15,9 | 18% | 6 | 1,1 | 18% |
| | | org_min | 13 | 244 | 67,1 | 27% | 886 | 259,8 | 29% | 642 | 246,6 | 38% | 68 | 25,6 | 38% | 3 | 1,3 | 45% |

ZNE = Zone Nord-est, VSE = Versant Sud-est, BBH = Baiboho, BDP = Bas de pente, TAN = Tanety
orga = organique, min = minérale, org_min = organique et minérale

| | | |
|------------------|---|---|
| Légende : |  | Coefficient de variation <30% |
| |  | Coefficient de variation compris entre 30% et 50% |
| |  | Coefficient de variation >50% |

Mise à part pour la fertilisation organique et minérale sur tanety de la zone ZNE, le nombre de données est trop faible pour pouvoir analyser de façon satisfaisante les résultats.

Les seules conclusions que nous pouvons tirer de ce tableau sont :

- Les paysans fertilisent l'ensemble de leurs parcelles, excepté certaines sur baibohos. Ils n'utilisent pas des engrais minéraux systématiquement. De nombreuses parcelles reçoivent uniquement de l'engrais organique comme fertilisation.
- Les charges opérationnelles augmentent logiquement avec l'utilisation d'engrais
- Pour ce qui est des autres résultats, les coefficients de variation sont trop élevés et le nombre de données insuffisant pour permettre une analyse pertinente.

II. Culture de riz

Pour la culture de riz, 43 ITKs pour la zone du versant Sud-est et 46 ITKs pour la zone Nord-est ont été répertoriés.

Le tableau suivant résume la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation pour chacun des résultats étudiés de la culture de riz. Ces calculs sont réalisés sur les données des 46 ITKs de la zone Nord-est et sur les 43 ITKs de la zone du versant Sud-est, et également pour chaque type de sol de ces deux zones.

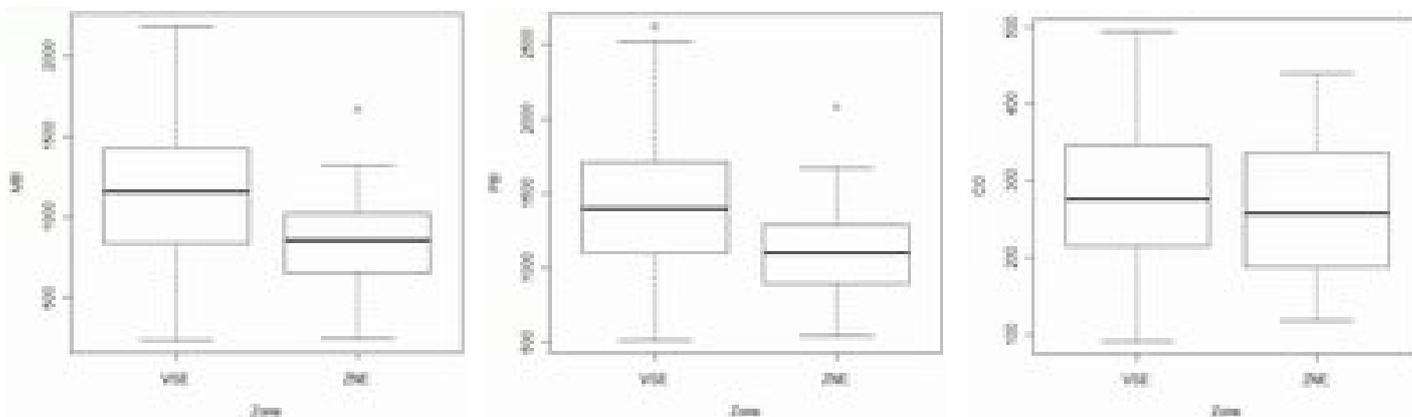
| | nombre données | Charges opérationnelles (kAr/ha) | | | Produit brut (kAr/ha) | | | Marge brute (kAr/ha) | | | Valorisation de la journée de travail (kAr/ha) | | | Retour sur investissement | | | |
|-----|----------------|----------------------------------|------------|-----------|-----------------------|------------|-----------|----------------------|------------|-----------|--|------------|-----------|---------------------------|------------|-----------|-----|
| | | moy | écart type | Coeff var | moy | écart type | coeff var | moy | écart type | coeff var | moy | écart type | coeff var | moy | écart type | coeff var | |
| ZNE | 46 | 264 | 94 | 36% | 1104 | 300 | 27% | 841 | 289 | 34% | 60 | 21 | 35% | 3,8 | 2,2 | 58% | |
| VSE | 43 | 277 | 100 | 36% | 1419 | 474 | 33% | 1142 | 466 | 41% | 73 | 31 | 43% | 4,9 | 3,4 | 69% | |
| VSE | BBH | 17 | 317 | 108 | 34% | 1577 | 531 | 34% | 1259 | 486 | 39% | 78 | 30 | 38% | 4,4 | 2,0 | 47% |
| | BDP | 8 | 249 | 88 | 35% | 1260 | 390 | 31% | 1011 | 393 | 39% | 62 | 23 | 37% | 5,0 | 3,4 | 68% |
| | TAN | 9 | 292 | 84 | 29% | 1155 | 435 | 38% | 863 | 450 | 52% | 57 | 29 | 51% | 3,3 | 2,0 | 61% |
| | RMME | 9 | 212 | 76 | 36% | 1527 | 353 | 23% | 1315 | 401 | 30% | 88 | 35 | 40% | 7,6 | 5,1 | 67% |
| ZNE | BBH | 8 | 293 | 103 | 35% | 1320 | 386 | 29% | 1026 | 351 | 34% | 71 | 28 | 39% | 4,0 | 2,4 | 60% |
| | BDP | 10 | 276 | 117 | 42% | 1107 | 171 | 15% | 831 | 189 | 23% | 59 | 14 | 24% | 3,8 | 2,4 | 63% |
| | TAN | 23 | 248 | 78 | 31% | 1010 | 572 | 57% | 817 | 290 | 36% | 55 | 21 | 39% | 3,6 | 2,1 | 59% |
| | RMME | 5 | 264 | 117 | 44% | 1189 | 315 | 26% | 925 | 261 | 28% | 66 | 17 | 25% | 4,2 | 2,5 | 60% |

ZNE = Zone Nord-est, VSE = Versant Sud-est, BBH = Baiboho, BDP = Bas de pente, RMME = Rizières à mauvaise maîtrise de l'eau, TAN = Tanety

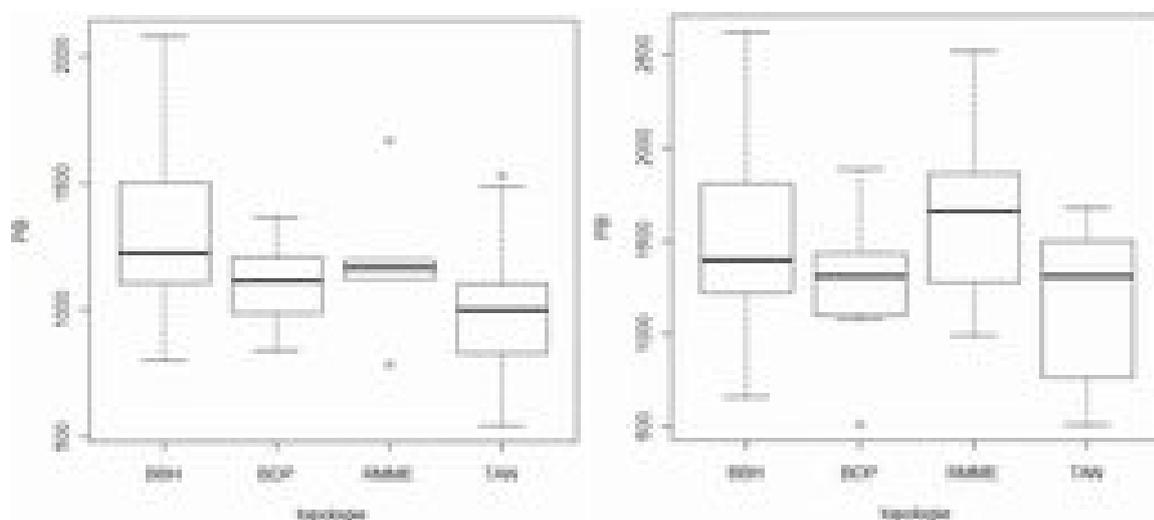
| Légende : | |
|---|---|
|  | Coefficient de variation <30% |
|  | Coefficient de variation compris entre 30% et 50% |
|  | Coefficient de variation >50% |

Tout d'abord nous pouvons remarquer que la variabilité des résultats étudiés est importante. De nombreux coefficients de variation sont compris entre 30% et 50%, il faut donc considérer les moyennes avec précaution. Les moyennes obtenues pour le retour sur investissement ne sont pas exploitables car les coefficients de variations sont trop élevés.

Néanmoins, nous pouvons constater, sur les diagrammes en boîte ci-dessous, qu'en moyenne, le produit brut est plus élevé pour la zone VSE (1419 kAr/ha) que la zone ZNE (1104 kAr/ha). Il en est de même pour la marge brute et la valorisation de la journée de travail, mais les coefficients de variation sont plus élevés. Les charges opérationnelles semblent, quant à elles, être similaires quelque soit la zone et la topologie des sols.



De plus, il apparaît pour chacune des deux zones, que les cultures sur Tanety et Bas de pente génèrent un produit brut et une marge brute plus faible que les cultures sur Baibohos et Rizières à mauvais maîtrise de l'eau (cf figures ci-dessous). Enfin, au vu des coefficients de variation, il semble que le produit brut et la marge brute des cultures sur Tanety soient très variables, ce qui indique une grande variabilité du rendement de la culture de riz sur ce type de sol.



Riz ZNE, PB en fonction de la topologie

Riz VSE, PB en fonction de la topologie

D'après cette étude, il apparaît important de différencier à la fois les zones mais également les types de sols.

Concernant la fertilisation apportée aux cultures, les paysans apportent différents types d'engrais sur leurs sols : des engrais organiques (fumiers) et des engrais minéraux (urée et NPK). Les quantités apportées sont très variables, ainsi il semble intéressant de différencier plusieurs niveaux de fertilisation.

Pour simplifier la démarche, nous nous intéresserons uniquement à la quantité d'azote apportée. L'urée contient 46% d'azote, le NPK apporté est de type 22-11-16, il contient donc 22% d'azote et on considère que le fumier apporté est un fumier de bœuf contenant 3% d'azote. Connaissant la quantité de NPK, d'urée et de fumier apportée sur chaque parcelle, nous pouvons en déduire la quantité d'azote apporté sur celles-ci. Cinq classes de fertilisation peuvent alors être distinguées :

- Pas d'apport d'azote
- Faible apport d'azote : $x < 60\text{kg}$

- Apport d'azote intermédiaire : 60kg<x>170kg
- Apport élevé d'azote : 170kg<x>230kg
- Apport très élevé d'azote : 230kg<x

Dans la majorité des cas, un faible apport en azote correspond à une utilisation d'engrais uniquement minéraux. Pour les 3 niveaux suivants (intermédiaire, élevée, très élevée), la quantité d'azote apportée par le fumier est similaire et l'évolution des niveaux de fertilisation correspond surtout à une augmentation de la quantité d'azote apportée par l'urée et le NPK. Une fertilisation uniquement organique (fumier) s'inscrit généralement dans le niveau de fertilisation intermédiaire.

Les tableaux ci-dessous résument les charges opérationnelles, le produit brut, la marge brute, la valorisation de la journée de travail et le retour sur investissement pour la culture de maïs, en fonction du niveau de fertilisation. Les zones et les différentes topologies sont distinguées.

Culture de riz zone ZNE :

| | Fertilisation | Nb données | charges opérationnelles | | | produit brut | | | marge brute | | | VJT | | | Retour sur investissement | | |
|-------|---------------|------------|-------------------------|-------------|-----------|--------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|------|-------------|-----------|---------------------------|-------------|-----------|
| | | | moy | écart -type | coeff var | moy | écart -type | coeff var | moy | écart -type | coeff var | moy | écart -type | coeff var | moy | écart -type | coeff var |
| TAN | inter | 7 | 151 | 41 | 27% | 909 | 181,5 | 20% | 757,6 | 207,2 | 27% | 6,9 | 2,4 | 35% | 5,5 | 4,6 | 84% |
| | élevée | 8 | 275 | 37 | 13% | 1015 | 381,0 | 38% | 739,9 | 393,5 | 53% | 6,7 | 3,3 | 49% | 2,8 | 1,5 | 55% |
| | Très élevée | 8 | 305 | 48 | 16% | 1093 | 241,4 | 22% | 788,7 | 267,5 | 34% | 6,9 | 2,5 | 36% | 2,7 | 1,2 | 45% |
| BBH | inter | 1 | 124 | | | 1287 | | | 1162 | | | 11,5 | | | 9,4 | | |
| | élevée | 3 | 244 | 16 | 7% | 1142 | 388,6 | 34% | 898,9 | 393,0 | 44% | 8,2 | 4,0 | 49% | 3,7 | 1,6 | 44% |
| | Très élevée | 4 | 372 | 66 | 18% | 1460 | 434,2 | 30% | 1087 | 396,9 | 36% | 8,7 | 3,9 | 45% | 2,9 | 0,9 | 29% |
| BDP | inter | 2 | 129 | 3 | 3% | 1086 | 137,9 | 13% | 956,9 | 141,3 | 15% | 8,5 | 1,0 | 11% | 7,4 | 1,3 | 17% |
| | élevée | 6 | 283 | 94 | 33% | 1121 | 158,4 | 14% | 838,8 | 117,7 | 14% | 7,5 | 1,6 | 21% | 3,3 | 1,6 | 49% |
| | Très élevée | 2 | 402 | 55 | 14% | 1083 | 341,8 | 32% | 681,6 | 396,3 | 58% | 5,7 | 2,6 | 45% | 1,8 | 1,2 | 69% |
| RM ME | inter | 1 | 127 | | | 1165 | | | 1038 | | | 10,9 | | | 8,2 | | |
| | élevée | 2 | 216 | 40 | 19% | 956 | 241,3 | 25% | 740,4 | 281,5 | 38% | 6,7 | 1,4 | 22% | 3,6 | 2,0 | 55% |
| | Très élevée | 2 | 380 | 51 | 14% | 1431 | 333,7 | 23% | 1051 | 282,2 | 27% | 8,6 | 1,8 | 21% | 2,7 | 0,4 | 14% |

ZNE = Zone Nord-est, BBH = Baiboho, BDP = Bas de pente, RMME = Rizièrre à mauvaise maîtrise de l'eau, TAN = Tanety, inter = Intermédiaire

| Légende : | |
|---|---|
|  | Coefficient de variation <30% |
|  | Coefficient de variation compris entre 30% et 50% |
|  | Coefficient de variation >50% |

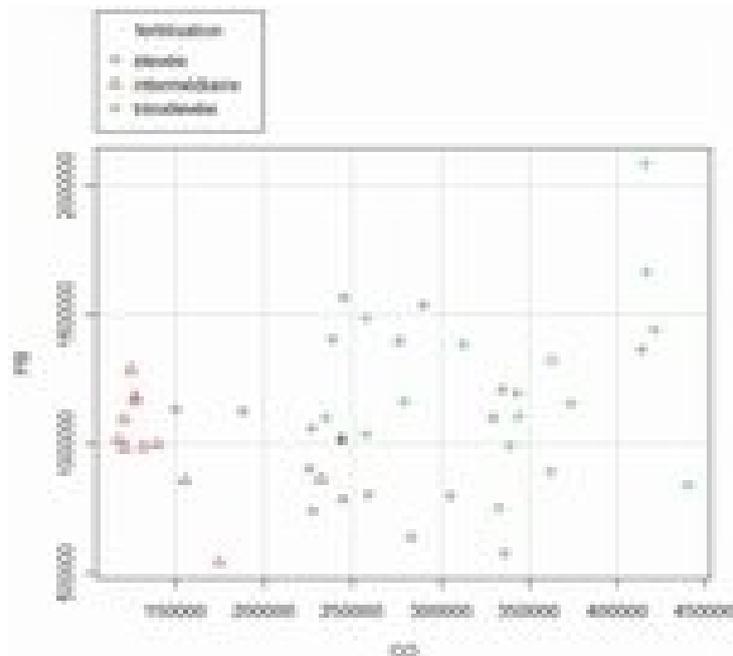
Du fait du faible nombre de données standards, ces résultats sont à traités avec beaucoup de précaution.

Les seules conclusions que nous pouvons tirer de ce tableau sont :

- Dans la zone ZNE, quelque soit la topologie, de l'engrais est apporté aux cultures de riz. La plupart du temps la fertilisation est faite à base de fumier et d'engrais minéraux.
- Les charges opérationnelles augmentent logiquement avec le niveau de fertilisation
- Le produit brut, la marge brute et la VJT n'augmentent pas nécessairement avec le niveau de fertilisation
- Le retour sur investissement semble meilleur pour les cultures recevant uniquement du fumier. Cela s'explique par le fait que l'utilisation d'engrais minéraux entraîne des charges opérationnelles plus élevées mais pas nécessairement une élévation de la marge brute.

On observe sur le graphe suivant que le produit brut n'a pas tendance à augmenté avec les charges opérationnelles.

La modélisation de nos échantillons par une régression linéaire du produit brut en fonction des charges opérationnelles entraîne un coefficient de régression linéaire $r^2=0,07$. Cela n'est évidemment pas satisfaisant. L'augmentation des charges opérationnelles n'entraîne pas une augmentation du produit brut. Les résultats sont similaires pour la marge brute et la valorisation de la journée de travail.



Ces résultats confirment la conclusion précédente, le produit brut, la marge brute et la valorisation de la journée de travail n'évoluent pas avec l'augmentation du niveau de fertilisation.

Ceci est dû au fait que la fertilité des sols est très différente d'une parcelle à une autre. Les paysans ont pour stratégie de mettre des engrais minéraux sur les sols peu fertiles, et obtiennent ainsi des rendements similaires à ceux réalisés sur sols fertiles.

Les différents types de sols n'étant pas référencés, il n'est pas possible d'observer l'effet précis de la fertilisation.

Culture de riz zone VSE :

| | Ferti- sation | nb donné es | charges opérationnelles | | | produit brut | | | marge brute | | | VJT | | | Retour sur investissement | | |
|----------|------------------|-------------------|----------------------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------|-------------|----------------|--------------|-----|----------------|--------------|------------------------------|----------------|--------------|
| | | | moy | écart- type | coeff var | moy | écart- type | coeff var | moy | écart- type | coeff var | moy | écart- type | coeff var | moy | écart- type | coeff var |
| TAN | élevée | 1 | 279 | | | 1613 | | | 1334 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 5 | 0 | |
| | très élevée | 8 | 294 | 90 | 30% | 1098 | 427 | 39% | 804 | 442 | 55% | 7 | 3 | 53% | 3 | 2 | 66% |
| BBH | faible | 2 | 242 | 153 | 63% | 1016 | 167 | 16% | 774 | 320 | 41% | 6 | 4 | 64% | 5 | 4 | 92% |
| | inter | 5 | 234 | 55 | 23% | 1375 | 486 | 35% | 1141 | 477 | 42% | 9 | 4 | 43% | 5 | 3 | 49% |
| | élevée | 5 | 343 | 78 | 23% | 1529 | 321 | 21% | 1186 | 293 | 25% | 9 | 2 | 21% | 4 | 1 | 32% |
| | très élevée | 5 | 406 | 95 | 23% | 2051 | 538 | 26% | 1645 | 526 | 32% | 12 | 4 | 33% | 4 | 2 | 44% |
| BDP | aucune | 1 | 91 | | | 1078 | | | 987 | | | 63 | | | 11 | | |
| | inter | 2 | 204 | 93 | 45% | 1640 | 344 | 21% | 1436 | 252 | 18% | 10 | 3 | 26% | 8 | 2 | 29% |
| | élevée | 3 | 287 | 42 | 15% | 1047 | 462 | 44% | 760 | 460 | 61% | 6 | 4 | 63% | 3 | 2 | 64% |
| | très élevée | 2 | 315 | 19 | 6% | 1289 | 242 | 19% | 974 | 224 | 23% | 7 | 0 | 1% | 3 | 1 | 17% |
| RMM E | faible | 2 | 144 | 29 | 20% | 1750 | 163 | 9% | 1606 | 134 | 8% | 16 | 4 | 27% | 11 | 1 | 12% |
| | inter | 5 | 225 | 90 | 40% | 1514 | 377 | 25% | 1289 | 435 | 34% | 10 | 4 | 38% | 7 | 6 | 83% |
| | élevée | 1 | 251 | | | 997 | | | 746 | | | 6 | | | 3 | | |
| | très élevée | 1 | 246 | | | 1675 | | | 1429 | | | 10 | | | 6 | | |

ZNE = Zone Nord-est, BBH = Baiboho, BDP = Bas de pente, RMME = Rizières à mauvaise maîtrise de l'eau,
TAN = Tanety, inter = Intermédiaire

| Légende : | |
|---|---|
|  | Coefficient de variation <30% |
|  | Coefficient de variation compris entre 30% et 50% |
|  | Coefficient de variation >50% |

De même que pour la zone ZNE, du fait du très faible nombre de données, ces résultats sont à traités avec beaucoup de précaution.

- Les charges opérationnelles augmentent de façon logique avec l'augmentation du niveau de fertilisation.
- Sur tanety, les cultures de maïs reçoivent des engrais organiques et minéraux
- Sur baibohos et rizières à mauvaise maîtrise de l'eau, certaines parcelles reçoivent uniquement de l'engrais organique, tandis que d'autres reçoivent des engrais organiques et minéraux
- Sur les bas de pente, il existe tous les niveaux de fertilisation : aucun, intermédiaire, faible, élevé et très élevé.

- Sur baibohos, on constate que l'augmentation de la fertilisation entraîne un produit brut plus élevé. De même, la marge brute et la valorisation de la journée de travail augmentent avec la fertilisation.

En traçant le graphe du produit brut en fonction des charges opérationnelles, on obtient les mêmes conclusions que celles obtenues pour la culture de riz de la zone ZNE.

En conclusion :

Le produit brut, donc le rendement, semble meilleur en moyenne pour la zone VSE que la zone ZNE, pour les cultures de maïs et de riz

| | VSE | ZNE |
|---|-------------|-------------|
| Moyenne du produit brut pour la culture de maïs | 924 kAr/ha | 862 kAr/ha |
| Moyenne du produit brut pour la culture de riz | 1419 kAr/ha | 1104 kAr/ha |

De plus, on a constaté que le produit brut des tanety était très variable.

Les charges opérationnelles sont similaires quelque soit la zone pour la culture de riz (270 kAr/ha en moyenne), tandis que pour la culture de maïs elles sont supérieures pour la zone ZNE (222kAr/ha en moyenne) par rapport à la zone VSE (191 kAr/ha en moyenne).

On a constaté que les charges opérationnelles augmentaient logiquement avec l'utilisation d'engrais minéraux et que le retour sur investissement était généralement meilleur pour les cultures ne recevant pas de fertilisation minérale.

Pour la culture de riz, on a observé qu'en moyenne, les tanety et les bas de pente générés un produit brut et une marge brute inférieurs à ceux obtenus sur baibohos et rizières à mauvaise maîtrise de l'eau.

Annexe 3 : Détails des résultats pour les prix seuils d'utilisation des engrais minéraux à partir des données de Tafa

1. Culture de maïs sur tanety

Les détails de calculs seront donnés pour le premier cas. Dans les cas suivants, nous noterons uniquement les tableaux résumant l'information. Le prix de vente de la récolte est considéré constant et égal à 350Ar/kg de maïs.

a. Système de culture maïs+dolique sur tanety sols riches, précédent riz, en semis direct

L'itinéraire technique suivi dans les deux parcelles expérimentales est présenté dans le tableau ci-dessous. Il est le même pour les deux parcelles mise à part pour l'engrais : dans une parcelle il y a seulement du fumier et dans la seconde les engrais minéraux NPK et Urée sont ajoutés (cases en gris clair).

| Itinéraire technique | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|----------------|---------------|
| Semences | | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | | |
| culture (kg/ha) | plante de couverture (kg/ha) | fumier (t/ha) | NPK (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Cyperméthrine (L/ha) | Gaoucho (g/ha) | Thiram (g/ha) |
| 25 | 25 | 5 | 150 | 100 | 1,5 | 1,5 | 0,25 | 62,5 | 125 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

L'équation de la modélisation est $\text{Gain} = (\text{qté NPK} + (k \cdot (\text{qté urée}))) \cdot x$, avec x le prix d'un kilo de NPK et k le rapport moyen *prix Urée/prix NPK* sur les années 2008 à 2011.

| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|----------------|------|------|------|------|
| Prix NPK (Ar) | 1500 | 2000 | 2600 | 1650 |
| Prix Urée (Ar) | 1300 | 1400 | 1800 | 1350 |
| Rapport | 0,86 | 0,70 | 0,69 | 0,81 |

| |
|--|
| Moyenne du rapport <i>prix Urée/prix NPK</i> |
| $k = 0,765$ |

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 015 000 | 239 350 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 275 000 | 679 350 |

Il est important de noter qu'ici le produit brut correspond à la somme du produit brut de la culture de maïs et du produit brut de la culture de dolique.

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$$260\,000 = (150 + 0,765 \cdot 100) \cdot x \Leftrightarrow 260\,000 = 226,5 \cdot x$$

Donc

- si $x = 260\,000 / 226,5 = 1147,9$ Ar alors le gain est nul ($y = 878,1$ Ar)
- si $x < 1147,9$ Ar, le gain est positif ($y < 878,1$ Ar)

- si $x > 1147,9$ Ar, le gain est négatif ($y > 878,1$ Ar)

Calcul du retour sur investissement en fonction du prix des engrais minéraux :

Le calcul du retour sur investissement (RI) permet de mesurer le risque pris par l'agriculteur d'utiliser des engrais minéraux sur sa culture. Il correspond au rapport de la marge brute sur les charges opérationnelles.

- Si $RI < 1,5$, le retour sur investissement est faible donc le risque est important. Il n'est pas conseillé d'utiliser des engrais minéraux.

$$RI < 1,5 \Leftrightarrow x > (1\,275\,000 - 2,5 \cdot 239\,350) / (2,5 \cdot (\text{qté NPK} + k \cdot (\text{qté urée})))$$

$$\Leftrightarrow \text{prix NPK} > 1195 \text{ Ar} \quad (\text{prix urée} > 914 \text{ Ar})$$

- Si $1,5 < RI < 2$, le retour sur investissement est correct donc le risque est modéré. Le choix de l'utilisation d'engrais minéraux dépend de la stratégie suivie par l'agriculteur.

$$1,5 < RI < 2 \Leftrightarrow (1\,275\,000 - 3 \cdot 239\,350) / (3 \cdot (\text{qté NPK} + k \cdot (\text{qté urée}))) < x < (1\,275\,000 - 2,5 \cdot 239\,350) / (2,5 \cdot (\text{qté NPK} + k \cdot (\text{qté urée})))$$

$$\Leftrightarrow 820 \text{ Ar} < \text{prix NPK} < 1195 \text{ Ar} \quad (627 \text{ Ar} < \text{prix urée} < 914 \text{ Ar})$$

- Si $RI > 2$, le retour sur investissement est élevé donc le risque est faible. Il est intéressant d'utiliser des engrais minéraux.

$$RI > 2 \Leftrightarrow x < (1\,275\,000 - 2,5 \cdot 239\,750) / (2,5 \cdot (\text{qté NPK} + k \cdot (\text{qté urée})))$$

$$\Leftrightarrow \text{Prix NPK} < 820 \text{ Ar} \quad (\text{prix urée} < 627 \text{ Ar})$$

Conclusion

Seuils de rentabilité

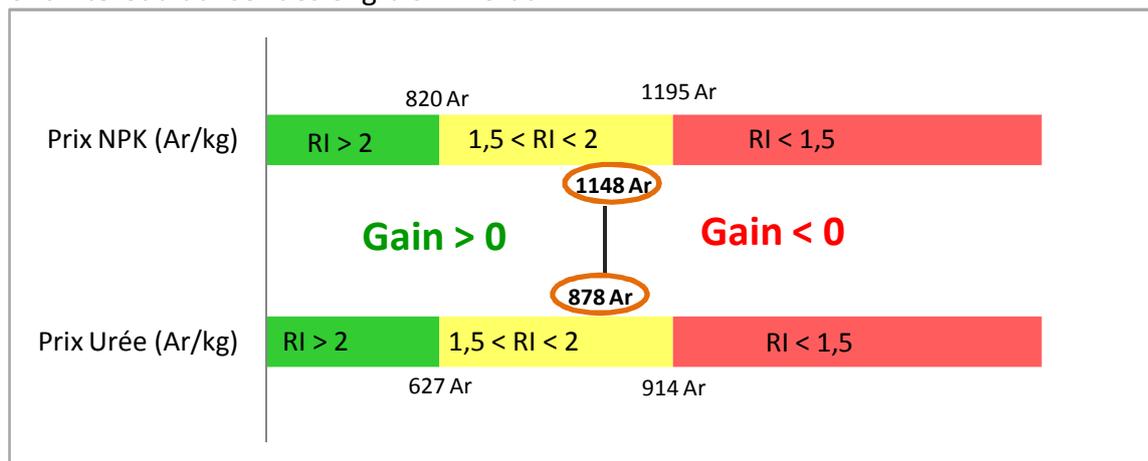
| | NPK | urée |
|--------------------|--------|-------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1148 | < 878 |

Seuils du retour sur investissement

| | NPK (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 1195 | < 914 |
| RI > 2 | < 820 | < 627 |

Le seuil de rentabilité de la fertilisation minérale correspond pour cet itinéraire technique à un prix du NPK de 1148 Ar/kg et à prix de l'urée de 878 Ar/kg. Si les prix sont au-dessus de ces seuils, utiliser des intrants selon cet itinéraire technique entraînera une perte d'argent pour les paysans.

Le retour sur investissement commence à être intéressant pour un prix du NPK inférieur à 1195 Ar et un prix de l'urée inférieur à 914 Ar. Ces prix sont supérieurs aux seuils de rentabilité, donc si les prix des engrais sont au-dessous des seuils de rentabilité, les paysans ont intérêt à utiliser des engrais minéraux.



b. Système de culture à base de maïs + *Vigna umbellata* sur tanety sols riches, précédent riz, en semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|----------------|---------------|
| Semences | | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | | |
| culture (kg/ha) | plante de couverture (kg/ha) | fumier (t/ha) | NPK (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Cyperméthrine (L/ha) | Gaoucho (g/ha) | Thiram (g/ha) |
| 25 | 25 | 5 | 150 | 100 | 1,5 | 1,5 | 0,25 | 62,5 | 125 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 231 250 | 232 600 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 675 000 | 679 350 |

Dans ce cas également, le produit brut est la somme du produit brut de la culture de maïs et du produit brut de la culture de vigna.

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$$443\,750 = 226,5 * x, \text{ avec } x \text{ le prix du NPK.}$$

Seuils de rentabilité

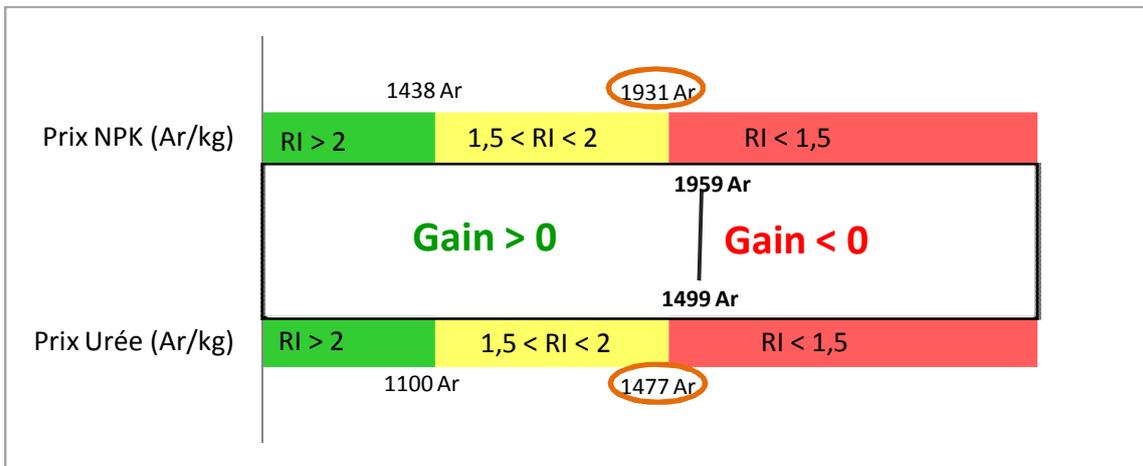
| | NPK | urée |
|--------------------|--------|--------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1959 | < 1499 |

Seuils du retour sur investissement

| | NPK (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 1931 | < 1477 |
| RI > 2 | < 1438 | < 1100 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du NPK inférieur à 1931 Ar et un prix de l'urée inférieur à 1477 Ar.



c. Système de culture à base de maïs + *Cajanus Cajan* sur tanety sols riches, précédent maïs+dolique, en semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|----------------|---------------|
| Semences | | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | | |
| culture (kg/ha) | plante de couverture (kg/ha) | fumier (t/ha) | NPK (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Cyperméthrine (L/ha) | Gaoucho (g/ha) | Thiram (g/ha) |
| 25 | 7 | 5 | 150 | 100 | 1,5 | 1,5 | 0,25 | 62,5 | 125 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 980 000 | 214 600 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 225 000 | 661 350 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$245\ 000 = 226,5 \cdot x$, avec x le prix du NPK.

Seuils de rentabilité

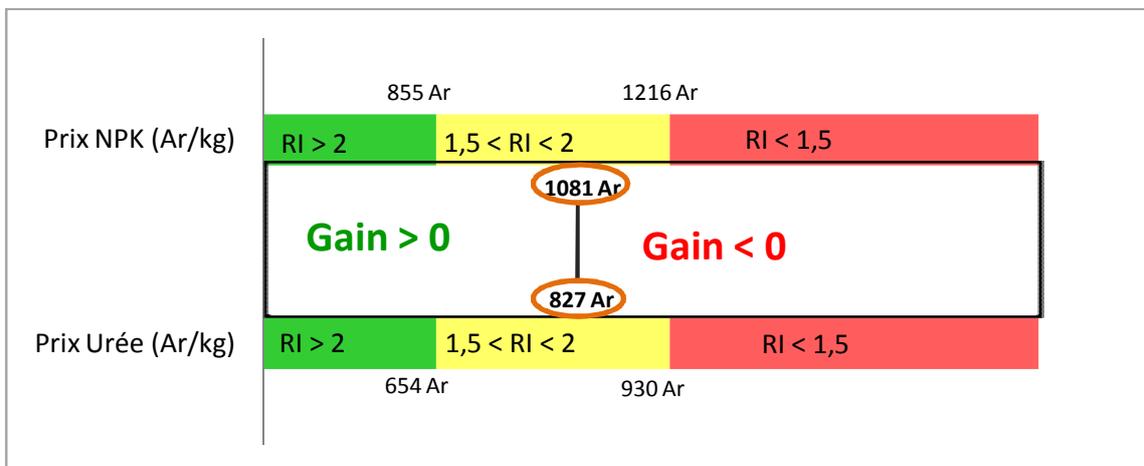
| | NPK | urée |
|--------------------|--------|-------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1082 | < 827 |

Seuils du retour sur investissement

| | NPK (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 1216 | < 930 |
| RI > 2 | < 855 | < 654 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du NPK inférieur à 1081 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 827 Ar/kg.



d. Système de culture à base de maïs + *Crotalaria juncea* sur tanety sols riches, précédent maïs+dolique, en semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------------|---------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|----------------|---------------|
| Semences | | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | | |
| culture (kg/ha) | plante de couverture (kg/ha) | fumier (t/ha) | NPK (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Cyperméthrine (L/ha) | Gaoucho (g/ha) | Thiram (g/ha) |
| 25 | 15 | 5 | 150 | 100 | 1,5 | 1,5 | 0,25 | 62,5 | 125 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | Produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 085 000 | 229 350 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 470 000 | 669 350 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$385\ 000 = 226,5 * x$, avec x le prix du NPK.

Seuils de rentabilité

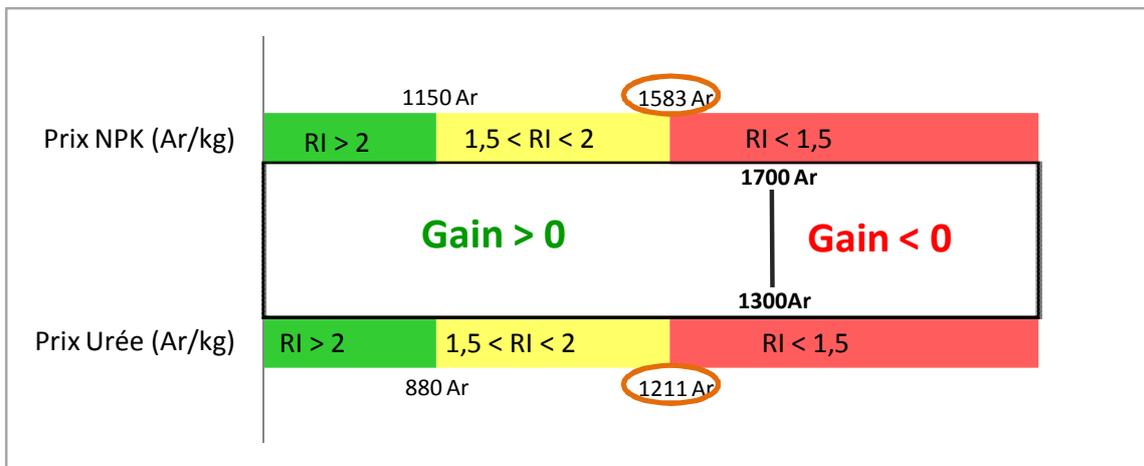
| | NPK | urée |
|--------------------|--------|--------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1700 | < 1300 |

Seuils du retour sur investissement

| | NPK (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 1583 | < 1211 |
| RI > 2 | < 1151 | < 880 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du NPK inférieur à 1583 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 1211 Ar/kg.



e. Système de culture à base de maïs + *Desmodium* sur tanety sols riches, précédent *Desmodium*, en semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| Semences | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides |
| culture (kg/ha) | fumier (t/ha) | NPK (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaucho (g/ha) |
| 25 | 5 | 150 | 100 | 1,5 | 1,5 | 62,5 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 980 000 | 206 350 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 120 000 | 646 350 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$140\ 000 = 226,5 \cdot x$, avec x le prix du NPK.

Seuils de rentabilité

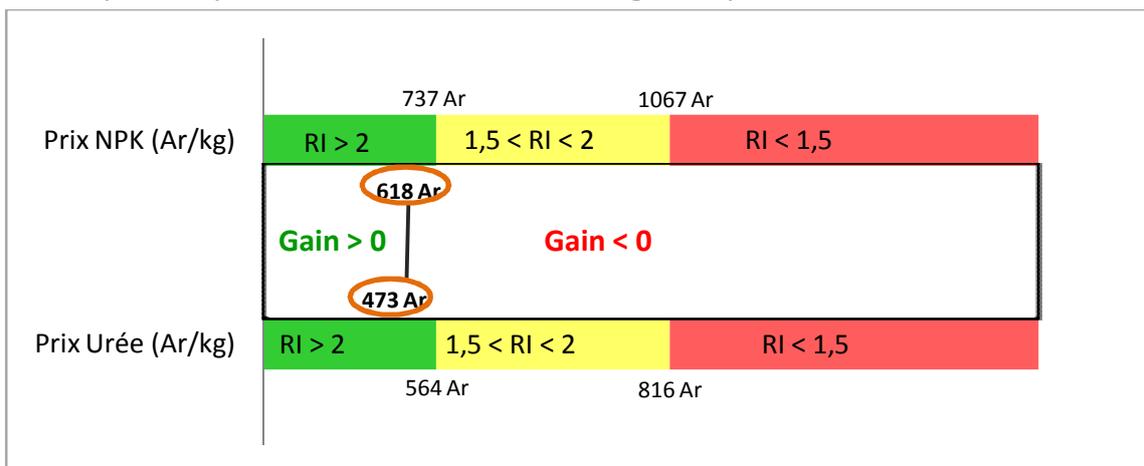
| | NPK | urée |
|--------------------|-------|-------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 618 | < 473 |

Seuils du retour sur investissement

| | NPK (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 1067 | < 816 |
| RI > 2 | < 737 | < 564 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du NPK inférieur à 618 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 473 Ar/kg.



2. Culture de maïs sur baibohos

a. Système de culture à base de maïs + Vigna umbellata, précédent niébé, sur baibohos, en semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|---------------|
| Semences | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | |
| culture (kg/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaoucho (g/ha) | Thiram (g/ha) |
| 25 | 130 | 80 | 100 | 1,5 | 1,5 | 62,5 | 125 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 280 000 | 117 600 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 587 000 | 856 600 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$$307\,500 = 284,5 \cdot x, \text{ avec } x \text{ le prix du NPK.}$$

Seuils de rentabilité

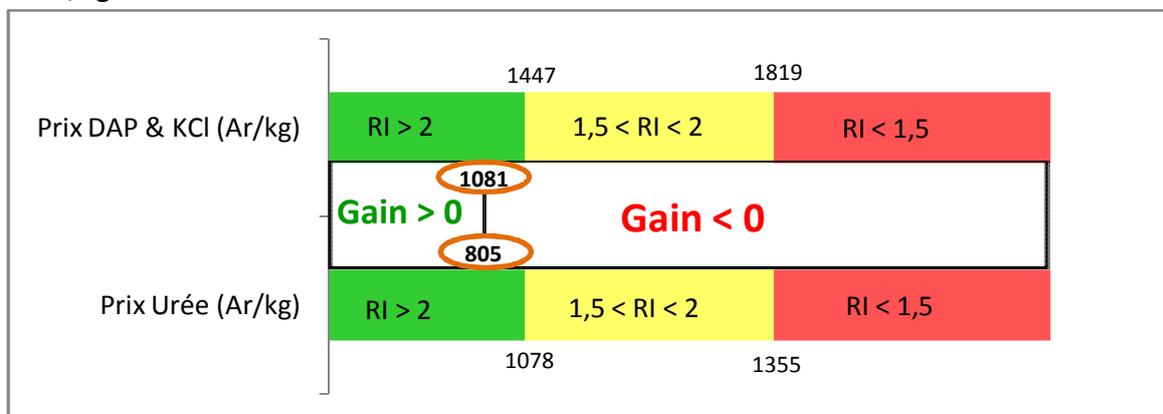
| | DAP | KCl | urée |
|--------------------|--------|--------|-------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1081 | < 1081 | < 805 |

Seuils du retour sur investissement

| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 1819 | < 1819 | < 1355 |
| RI > 2 | < 1447 | < 1447 | < 1078 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du DAP et du KCl inférieur à 1081 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 805 Ar/kg.



b. Système de culture à base de maïs+Vigna umbellata sur baibohos, précédent avoine, en semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| Semences | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides |
| culture (kg/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaucho (g/ha) |
| 25 | 130 | 80 | 100 | 1,5 | 1,5 | 150 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 875 000 | 90 550 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 305 500 | 705 350 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

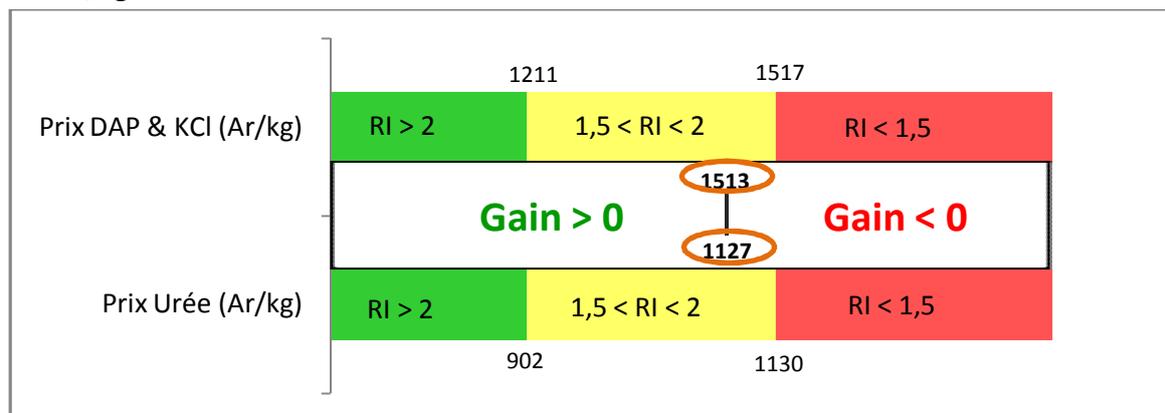
$430\,500 = 284,5 \cdot x$, avec x le prix du NPK.

| Seuils de rentabilité | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| | DAP | KCl | urée |
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1513 | < 1513 | < 1127 |

| Seuils du retour sur investissement | | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
| RI < 1,5 | < 1517 | < 1517 | < 1130 |
| RI > 2 | < 1211 | < 1211 | < 902 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du DAP et du KCl inférieur à 1513 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 1127 Ar/kg.



3. Culture de riz sur tanety

Le prix de vente de la récolte est considéré constant et égal à 480 Ar/kg de riz.

a. Système de culture à base de riz sur tanety sols riches, précédent stylosanthès, en semis direct

L'itinéraire technique suivi dans les deux parcelles expérimentales est présenté dans le tableau ci-dessous. Il est le même pour les deux parcelles mise à part pour l'engrais : dans une parcelle il y a seulement du fumier et dans la seconde les engrais minéraux DAP, KCl et Urée sont ajoutés (cases en gris clair).

| Itinéraire technique | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|--------------------|
| Semences | Engrais | | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | |
| culture (kg/ha) | fumier (t/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaoucho (g/ha) | Carbofuran (kg/ha) |
| 60 | 5 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 | 2,5 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

L'équation de la modélisation est $\text{Gain} = (\text{qté DAP} + \text{qté KCl} + (k_2 * (\text{qté urée}))) * x$, avec x le prix d'un kilo de DAP et k le rapport moyen prix Urée/prix DAP sur les années 2008 à 2011. On considèrera que le prix du KCl est égal à celui di DAP.

| | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|----------------|------|------|------|------|
| Prix DAP (Ar) | 1300 | 2800 | 2800 | 1600 |
| Prix Urée (Ar) | 1300 | 1400 | 1800 | 1350 |
| Rapport | 1 | 0,50 | 0,64 | 0,84 |

| |
|---------------------------------------|
| Moyenne du rapport prix Urée/prix NPK |
| $k_2 = 0,745$ |

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 680 000 | 382 650 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 2 160 000 | 947 650 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$$480\,000 = (130 + 80 + 0,745 * 100) * x \Leftrightarrow 480\,000 = 284,5 * x$$

Donc

- si $x = 480\,000 / 284,5 = 1687$ Ar alors le gain est nul
- si $x < 1687$ Ar, le gain est positif
- si $x > 1687$ Ar, le gain est négatif

Conclusion seuils de rentabilité :

| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Prix seuils | < 1687 | < 1687 | < 1257 |

Calcul du retour sur investissement en fonction du prix des engrais minéraux :

Par analogie aux calculs précédents, on a :

$$RI = (PB / (A + (qté\ DAP + qté\ KCl + k_2 * (qté\ urée)) * x)) - 1$$

- $RI < 1,5 \Leftrightarrow x > (PB - 2,5 * A) / (2,5 * (qté\ DAP + qté\ KCl + k_2 * (qté\ urée)))$
 $\Leftrightarrow x > (2\ 160\ 000 - 2,5 * 328\ 650) / (2,5 * (130 + 80 + 0,745 * 100))$
 $\Leftrightarrow x > 1882\ Ar/ha$
- $1,5 < RI < 2 \Leftrightarrow (PB - 3 * A) / (3 * (qté\ DAP + qté\ KCl + k_2 * (qté\ urée))) < x < (PB - 2,5 * A) / (2,5 * (qté\ DAP + qté\ KCl + k_2 * (qté\ urée)))$
 $\Leftrightarrow 1376\ Ar/ha < x < 1882\ Ar/ha$
- $RI > 2 \Leftrightarrow x < (PB - 3 * A) / (3 * (qté\ DAP + qté\ KCl + k_2 * (qté\ urée)))$
 $\Leftrightarrow x < 1376\ Ar/ha$

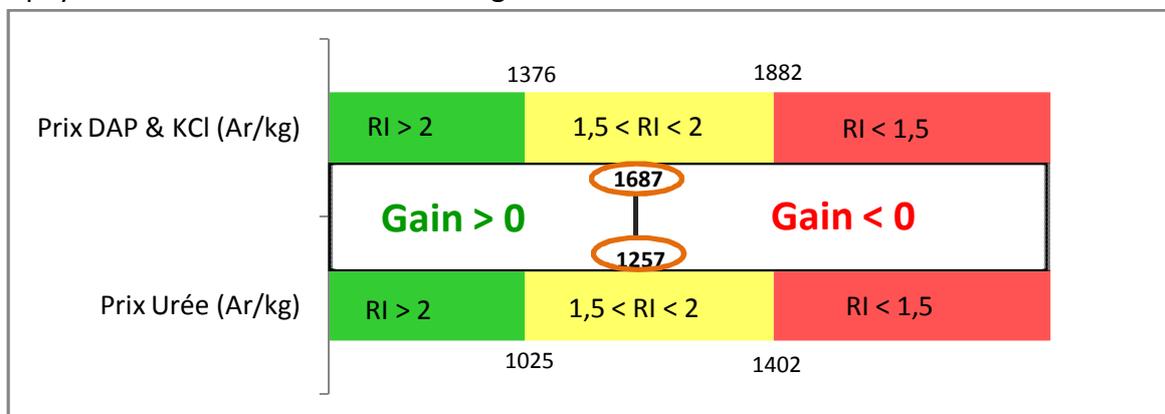
Conclusion seuils du retour sur investissement :

| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 1882 | < 1882 | < 1402 |
| RI > 2 | < 1376 | < 1376 | < 1025 |

Conclusion

Le seuil de rentabilité de la fertilisation minérale correspond pour cet itinéraire technique à un prix du DAP et du KCl de 1687 Ar/kg et à prix de l'urée de 1257 Ar/kg. Si les prix sont au-dessus de ces seuils, utiliser des intrants selon cet itinéraire technique entraînera une perte d'argent pour les paysans.

Le retour sur investissement commence à être intéressant pour un prix du DAP et du KCl inférieur à 1882 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 1402 Ar/kg. Ces prix sont supérieurs aux seuils de rentabilité, donc si les prix des engrais sont au-dessous des seuils de rentabilité, les paysans ont intérêt à utiliser des engrais minéraux.



b. Système de culture à base de riz sur tanety sols riches, précédent soja+bracharia, en semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|--------------------|
| Semences | Engrais | | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | |
| culture (kg/ha) | fumier (t/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaucho (g/ha) | Carbofuran (kg/ha) |
| 60 | 5 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 | 2,5 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 104 000 | 328 650 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 200 000 | 947 650 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$96\ 000 = 284,5 * x$, avec x le prix du NPK.

Seuils de rentabilité

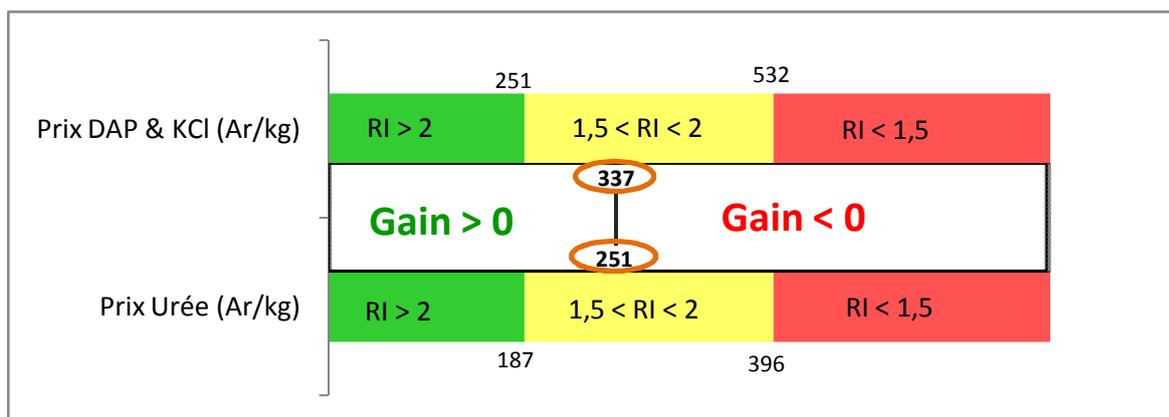
| | DAP | KCl | urée |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 337 | < 337 | < 251 |

Seuils du retour sur investissement

| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 532 | < 532 | < 396 |
| RI > 2 | < 251 | < 251 | < 187 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du NPK inférieur à 337 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 251 Ar/kg.



c. Système de culture à base de riz sur tanety sols riches, précédent sorgho + éleusine + C. juncea + Cajanus, en semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|--------------------|
| Semences | Engrais | | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | |
| culture (kg/ha) | fumier (t/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaucho (g/ha) | Carbofuran (kg/ha) |
| 60 | 5 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 | 2,5 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 296 000 | 328 650 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 728 000 | 947 650 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$$432\ 000 = 284,5 * x, \text{ avec } x \text{ le prix du NPK.}$$

Seuils de rentabilité

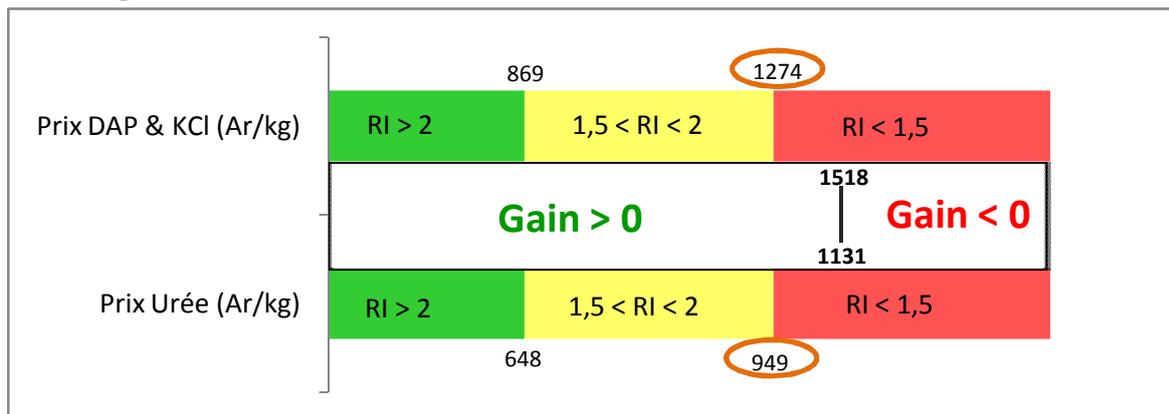
| | DAP | KCl | urée |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1518 | < 1518 | < 1131 |

Seuils du retour sur investissement

| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 1274 | < 1274 | < 949 |
| RI > 2 | < 869 | < 869 | < 648 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du DAP et du KCl inférieur à 1274 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 949 Ar/kg.



d. Système de culture à base de riz sur tanety, précédent sorgho, en semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|--------------------|
| Semences | Engrais | | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | |
| culture (kg/ha) | fumier (t/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaucho (g/ha) | Carbofuran (kg/ha) |
| 60 | 5 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 | 2,5 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 200 000 | 328 650 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 680 000 | 947 650 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$480\,000 = 284,5 * x$, avec x le prix du NPK.

Seuils de rentabilité

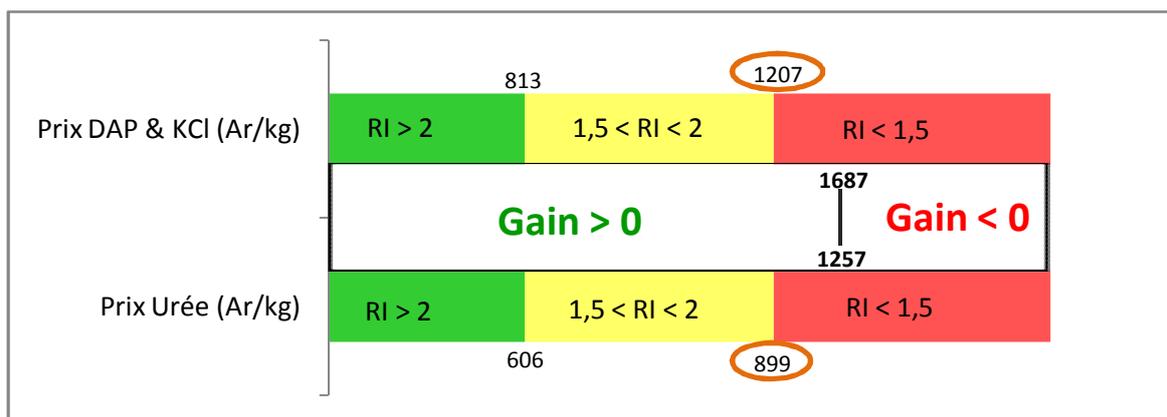
| | DAP | KCl | urée |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1687 | < 1687 | < 1257 |

Seuils du retour sur investissement

| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 1207 | < 1207 | < 899 |
| RI > 2 | < 813 | < 813 | < 606 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du DAP et du KCl inférieur à 1207 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 899 Ar/kg.



e. Système de culture à base de riz sur tanety, précédent sorgho + éleusine + C. juncea + Cajanus, sur labour

| Itinéraire technique | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|--------------------|
| Semences | Engrais | | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides | |
| culture (kg/ha) | fumier (t/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaucho (g/ha) | Carbofuran (kg/ha) |
| 60 | 5 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 | 2,5 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 008 000 | 328 650 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 488 000 | 947 650 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$480\ 000 = 284,5 * x$, avec x le prix du NPK.

Seuils de rentabilité

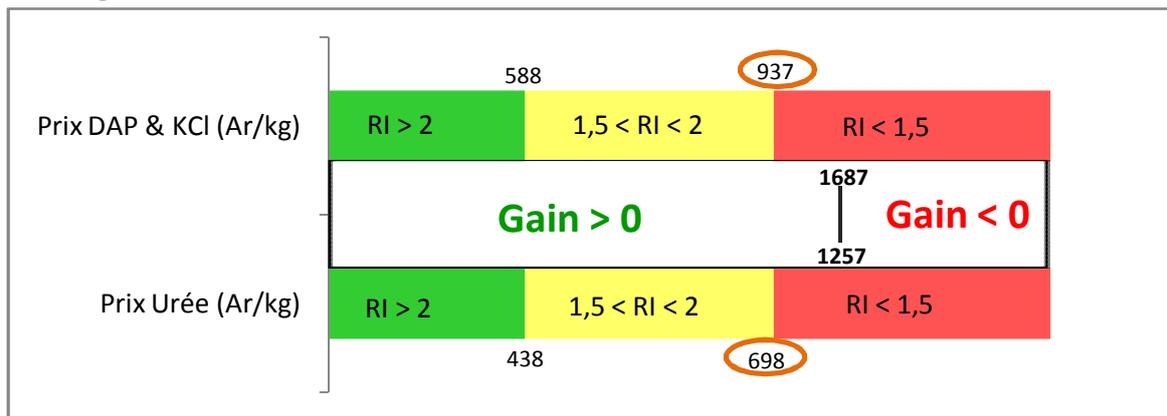
| | DAP | KCl | urée |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1687 | < 1687 | < 1257 |

Seuils du retour sur investissement

| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 937 | < 937 | < 698 |
| RI > 2 | < 588 | < 588 | < 438 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du DAP et du KCl inférieur à 937 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 698 Ar/kg.



4. Culture de riz sur baiboho

a. Système de culture à base de riz sur baibohos, précédent dolique en labour

| Itinéraire technique | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| Semences | Engrais | | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides |
| culture (kg/ha) | fumier (t/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaoucho (g/ha) |
| 60 | 5 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 296 000 | 178 650 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 968 000 | 797 650 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$1\,577\,000 = 284,5 \cdot x$, avec x le prix du NPK.

Seuils de rentabilité

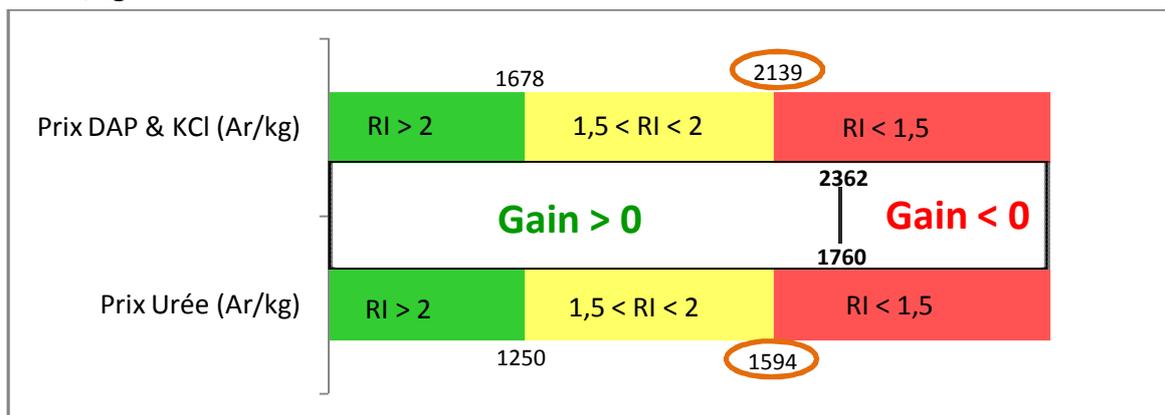
| | DAP | KCl | urée |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 2362 | < 2362 | < 1760 |

Seuils du retour sur investissement

| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 2139 | < 2139 | < 1594 |
| RI > 2 | < 1678 | < 1678 | < 1250 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du DAP et du KCl inférieur à 2139 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 1594 Ar/kg.



b. Système de culture à base de riz sur baibohos, précédent dolique sur semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | | |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| Semences | Engrais | | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides |
| culture (kg/ha) | fumier (t/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaucho (g/ha) |
| 60 | 5 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 2 064 000 | 178 650 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 2 592 000 | 797 650 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$528\ 000 = 284,5 * x$, avec x le prix du NPK.

Seuils de rentabilité

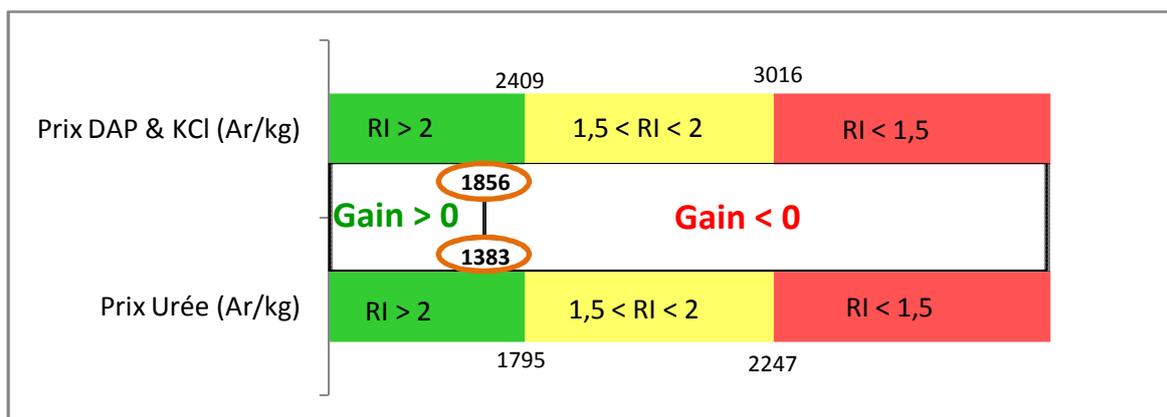
| | DAP | KCl | urée |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1856 | < 1856 | < 1383 |

Seuils du retour sur investissement

| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 3016 | < 3016 | < 2247 |
| RI > 2 | < 2409 | < 2409 | < 1795 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du DAP et du KCl inférieur à 1856 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 1383 Ar/kg.



5. Culture de riz sur rizière

a. Système de culture à base de riz sur sol exondé, précédent dolique sur semis direct

| Itinéraire technique | | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| Semences | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides |
| culture (kg/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaoucho (g/ha) |
| 60 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 1 248 000 | 178 650 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 728 000 | 797 650 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

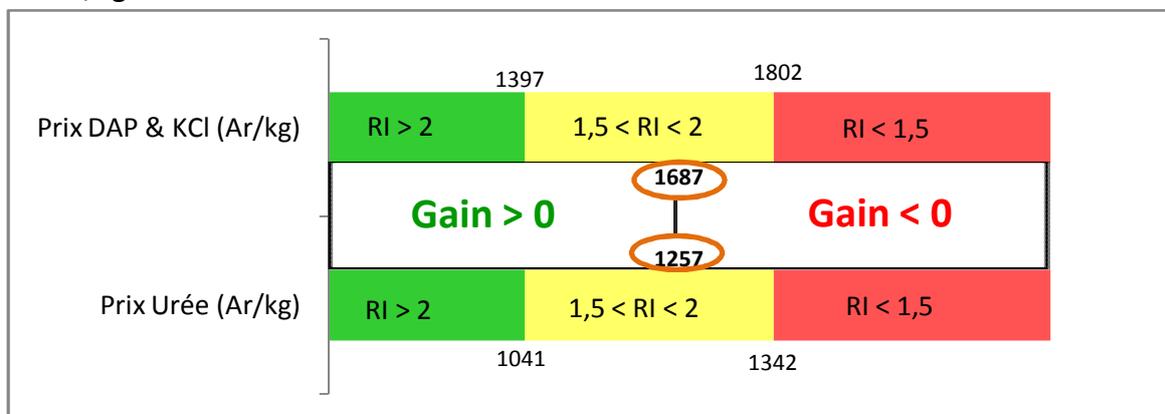
$$480\,000 = 284,5 \cdot x, \text{ avec } x \text{ le prix du NPK.}$$

| Seuils de rentabilité | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| | DAP | KCl | urée |
| Prix seuil (Ar/kg) | < 1687 | < 1687 | < 1257 |

| Seuils du retour sur investissement | | | |
|-------------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
| RI < 1,5 | < 1802 | < 1802 | < 1342 |
| RI > 2 | < 1397 | < 1397 | < 1041 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du DAP et du KCl inférieur à 1687 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 1257 Ar/kg.



b. Système de culture à base de riz sur sol exondé, précédent dolique en labour

| Itinéraire technique | | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------------|
| Semences | Engrais | | | Herbicides | | Insecticides et fongicides |
| culture (kg/ha) | DAP (kg/ha) | KCl (kg/ha) | Urée (kg/ha) | Glyphosate (L/ha) | 2,4-D (L/ha) | Gaoucho (g/ha) |
| 60 | 130 | 80 | 100 | 3 | 1,5 | 150 |

- Modélisation du gain dégagé par la fertilisation minérale

Les résultats obtenus sur les deux parcelles cultivées sont les suivants :

| | produit brut (Ar/ha) | Charges opérationnelles (Ar/ha) |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Essai cultural sans engrais minéral | 912 000 | 178 650 |
| Essai cultural avec engrais minéraux | 1 056 000 | 797 650 |

L'équation de la modélisation du gain réalisé par la fertilisation minérale est :

$144\ 000 = 284,5 \cdot x$, avec x le prix du NPK.

Seuils de rentabilité

| | DAP | KCl | urée |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Prix seuil (Ar/kg) | < 506 | < 506 | < 377 |

Seuils du retour sur investissement

| | DAP (Ar/kg) | KCl (Ar/kg) | Urée (Ar/kg) |
|----------|-------------|-------------|--------------|
| RI < 1,5 | < 857 | < 857 | < 638 |
| RI > 2 | < 609 | < 609 | < 454 |

Conclusion :

Pour des cultures suivant cet itinéraire technique, il devient intéressant d'utiliser des engrais minéraux pour un prix du DAP et du KCl inférieur à 506 Ar/kg et un prix de l'urée inférieur à 454 Ar/kg.

