CHAMBRE D'AGRICULTURE REUNION

# M.V.A.D.

Mission de Valorisation Agricole des Déchets

## Lisier de bovin et engrais : essai comparatif de fertilisation sur une culture de canne à sucre

Avril 2006

FEOGA

ADEME

DÉPARTEMENT DE LA Réunion

REGION REUNION

# Résumé

À La Réunion, la production d'effluents accompagnant les activités agricoles est en augmentation. L'agriculture, notamment la canne à sucre qui est la culture principale à La Réunion, est de plus en plus sollicitée pour recycler et valoriser ces déchets organiques.

L'objectif de cet essai est de comparer, sur un sol cultivé en canne à sucre, la valeur agronomique d'un lisier de bovin par rapport à un engrais chimique. Nous nous sommes ainsi intéressé (en comparant les deux traitements fertilisants) à l'évolution des rendements et de la richesse de la canne ainsi qu'à l'évolution de la qualité agronomique des sols.

Pour atteindre les objectifs fixés, nous avons retenu une approche expérimentale au champ menée sur trois sites : deux à Saint-Joseph (sur un andosol) et un au Tampon (sur un sol brun andique). L'expérimentation, d'une durée de 3 ans, a consisté, pour chaque site, en un suivi de quatre parcelles cultivées en canne à sucre sur lesquelles les effets d'un lisier et d'un engrais sont comparés.

Pour les trois sites, les rendements des parcelles fertilisées avec du lisier sont inférieurs de 5 à 20 % à ceux des parcelles fertilisées avec un engrais. Par contre, la richesse en sucre des cannes des parcelles lisier est équivalente à celle des parcelles engrais ; ceci a été constaté sur les trois sites. Les caractéristiques agronomiques du sol des parcelles lisier et engrais ne présentent pas de différence significative quelque soit le site. Enfin, au bout de 3 ans, nous avons constaté une légère augmentation du pH du sol uniquement sur les parcelles fertilisées avec du lisier.

Ces résultats obtenus après trois années de suivi au champ ont permis uniquement d'observer les effets à court terme de l'utilisation d'un lisier de bovin sur un sol cultivé en canne à sucre. Ces premiers résultats doivent donc être confirmés par d'autres études menées sur des durées plus importantes. Nous serons ainsi en mesure d'évaluer les effets (économiques, agronomiques, et environnementaux) d'apports réguliers de lisiers sur un sol cultivé.

# Sommaire

**Avant propos** ..... **3**

**Introduction** ..... **5**

**I Matériaux et méthodes** ..... **7**
- I.1 Le dispositif expérimental ..... 7
  - II.1.1 Les sites d'étude ..... 7
  - II.1.2 Les parcelles expérimentales ..... 7
  - II.1.3 La culture et le système d'irrigation ..... 8
  - II.1.4 Fertilisation ..... 8
  - II.1.5 Déroulement de l'essai ..... 8
- I.2 Échantillonnage et méthode d'analyse ..... 9
  - I.2.1 Échantillonnage du sol, du lisier, et de la canne à sucre ..... 9
    - a) Échantillonnage du sol ..... 9
    - b) Échantillonnage du lisier ..... 9
    - c) Échantillonnage de la canne à sucre ..... 9
  - I.2.2 Méthodes d'analyse du sol et du lisier ..... 9

**II Résultats et discussions** ..... **11**
- II.1 Fertilisation ..... 11
  - II.1.1 Préconisation de fertilisation ..... 11
  - II.1.2 Caractérisation des lisier de bovin épandu ..... 11
  - II.1.3 Quantité d'engrais apporté ..... 12
    - a) sur les parcelles « engrais » ..... 12
    - b) en compléments sur les parcelles « boue » ..... 13
  - II.1.4 Bilan de la fertilisation sur les trois sites ..... 13
- II.2 Pluviométrie ..... 14
- II.3 Caractérisation et évolution du sol ..... 15
  - II.3.1 Évolution du pH ..... 15
  - II.3.2 Évolution des teneurs en éléments de la capacité d'échange cationique ..... 15
  - II.3.3 Évolution des teneurs en phosphore ..... 16
  - II.3.4 Évolution des teneurs en azote ..... 16
  - II.3.5 Évolution des teneurs en matière organique ..... 17
  - II.3.6 Bilan ..... 18
- II.4 Rendement et richesse de la canne ..... 19
  - II.4.1 Évolution des rendements et de la richesse au cours du temps ..... 19
  - II.4.2 Variabilité des rendements et de la richesse en sucre des cannes ..... 19

**Conclusion** ..... **23**

Références bibliographiques ..... 25

Listes des tableaux et des figures ..... 26

Annexes ..... 27

# Avant propos

La MVAD (Mission de Valorisation Agricole des Déchets) tient à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de cette étude, notamment :

- Messieurs Torney et Grondin, agriculteurs à Saint-Joseph et monsieur Lefèvre, agriculteur au Tampon, qui ont mis chacun à la disposition de la MVAD une parcelle de terrain de 4000 $m^2$. Ces trois agriculteurs ont contribué à la réussite de cet essai en faisant l'entretien régulier des parcelles de terrain suivies dans le cadre de cette étude.

- Messieurs Lalou et Hoareau, techniciens de la chambre d'agriculture qui ont suivi les essais sur les deux sites de Saint-Joseph.

- Monsieur Rivière, technicien de la chambre d'agriculture qui a suivi l'essai sur le site du Tampon.

# Introduction

L'île de La Réunion est marquée par une forte croissance démographique qui se traduit par une intensification des activités agricoles, industrielles et urbaines. De ce fait, la production de déchets et d'effluents accompagnant ces activités est en augmentation. Parmi les effluents d'élevage produits à La Réunion, le lisier de bovin représente un gisement d'environ 13000 tonnes/an, ce qui le place au 6$^{e}$ rang des matières organiques produites à La Réunion, loin derrière le fumier de bovin (278 000 tonnes/an) et le lisier de porc (178 000 tonnes/an) (MVAD, 2006). Notons encore que la production de lisier de bovin provient essentiellement du sud de l'île. L'agriculture, notamment la canne à sucre qui est la culture principale à La Réunion, est de plus en plus sollicitée pour recycler et valoriser ces effluents d'élevage.

L'objectif de cette étude est de comparer, sur un sol cultivé en canne à sucre, la valeur agronomique d'un lisier de bovin par rapport à un engrais chimique. Nous nous intéresserons plus particulièrement à l'évolution des rendements et de la richesse de la canne ainsi qu'à l'évolution de la qualité agronomique des sols. Pour atteindre ces objectifs, nous avons retenu une approche expérimentale au champ. L'expérimentation a consisté en un suivi de plusieurs parcelles cultivées en canne à sucre sur laquelle deux types de fertilisants sont apportés (engrais et lisier de bovin).

Après la présentation des trois sites expérimentaux et des itinéraires techniques suivis au cours de nos essais, nous présenterons les quantités d'éléments fertilisants apportées sous forme d'engrais et sous forme de lisier sur les trois sites expérimentaux. Nous présenterons ensuite les résultats relatifs à l'évolution des propriétés chimiques des sols puis ceux relatifs aux rendements et teneurs en sucre de la canne.

# I Matériaux et méthodes

## I.1 Le dispositif expérimental

### I.1.1 Les sites d'étude

Les essais ont été menés sur trois sites (les photos et les extraits de la carte IGN sont présentés en annexe n°1) :

- Un site situé dans la commune de Saint-Joseph (site A), dans le sud de l'île à 400 m d'altitude sur un andosol non perhydraté (Raunet, 1991),
- Un autre site à Saint-Joseph (site B) à 460 m d'altitude sur un andosol non perhydraté (Raunet, 1991),
- Un dernier site situé sur la commune du Tampon à 1170 m d'altitude sur un sol brun (Raunet, 1991).

**Figure 1 :** localisation des trois sites d'étude

À Saint-Joseph, les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 2000 et 3000 mm/an et la température moyenne annuelle est comprise entre 20 et 22°C (Météo France).

Au Tampon, les précipitations moyennes annuelles sont comprises entre 1500 et 2000 mm/an et la température moyenne annuelle est comprise entre 18 et 20°C (Météo France).

### I.1.2 Les parcelles expérimentales

Sur chaque site, la parcelle expérimentale est plane et divisée en quatre parcelles élémentaires (cf. figure 2). Chaque parcelle élémentaire d'une superficie de 1000 m² est constituée de 10 lignes de canne à sucre (chaque ligne étant séparée d'environ 1,5 m). Notons encore que la parcelle expérimentale est entourée de plantation de canne à sucre.

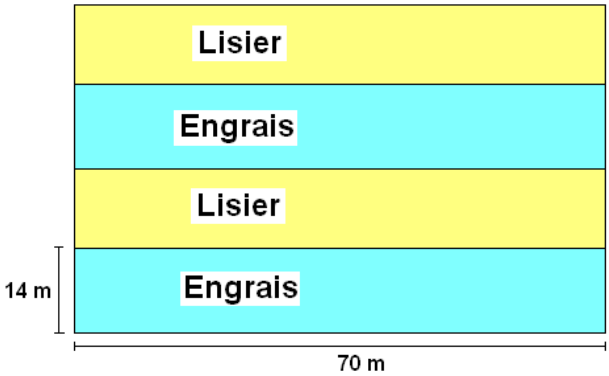



**Figure 2 :** plan des trois parcelles expérimentales

### I.1.3 La culture et le système d'irrigation

La variété de canne plantée sur la parcelle expérimentale est la R570. Selon le CERF (1990), les rendements de cette variété sont généralement élevés (autour de 80 à 90 tonnes/ha). Les repousses présentent une bonne tenue et la récolte peut avoir lieu à toute période. La canne à sucre R570 est adaptée aux zones « sous le vent » entre 0 et 500 m d'altitude et aux zones « au vent » entre 0 et 300 m d'altitude. La canne a été plantée en 1999 sur les deux sites de Saint-Joseph et en 2000 au Tampon. Le désherbage de la parcelle est effectué avec des produits phytosanitaires et/ou manuellement. Notons encore qu'aucun des trois sites ne bénéficie d'un système d'irrigation. Les cultures de canne à sucre sont donc entièrement dépendantes de la pluviométrie.

### I.1.4 Fertilisation

Un lisier de bovin et un engrais ont été utilisés dans le cadre de cet essai. Deux types de fertilisations ont été réalisés sur les 4 parcelles élémentaires (pour chaque type de fertilisation, nous disposons d'une répétition) (cf. figure 2) :

- 2 parcelles fertilisées avec un lisier de bovin plus un complément d'engrais si nécessaire
- 2 parcelles fertilisées avec un engrais ternaire NPK

Les besoins en éléments nutritifs de la canne sont déterminés par le laboratoire d'analyse des sols du CIRAD de La Réunion à partir de données issues de l'analyse de sol. Le lisier est épandu avec une tonne à lisier équipée d'un diffuseur (ou « queue de paon »). Cette pratique (usuelle à La Réunion) n'est pas idéale pour limiter la volatilisation de l'azote ammoniacale d'autant plus que l'épandage est effectué sur un mulch de paille de canne (Genermont et al., 2002). Notons enfin qu'un seul apport de lisier est effectué chaque année (cf. tableau 1).

Les compléments d'engrais à apporter sur les parcelles lisiers sont déterminés après analyses du sol et du lisier épandu. Les quantités d'éléments fertilisants (N, P, et K) sont alors déterminées. Si un (ou plusieurs) élément est déficitaire par rapport aux préconisations, il est apporté sous forme d'engrais chimique.

### II.1.5 Déroulement de l'essai

De la mise en place de l'essai aux derniers prélèvements de sol, il s'est écoulé un peu plus de 3 ans. Les principales étapes de cet essai sont exposées dans le tableau 1.

**Tableau 1 :** déroulement de l'essai de 2003 à 2005 (pour les trois sites)

| Année | Mois | Opération |
|---|---|---|
| 1999 | Septembre | Plantation de la canne (Saint-Joseph) |
| 2000 | Septembre | Plantation de la canne (Tampon) |
| 2002 à 2004 | Sep.-oct. | Coupe de la canne |
| | Novembre | Prélèvement de sol |
| | fin novembre | Epandage de lisier |
| | mi-décembre | Apport d'engrais |
| 2005 | Novembre | Coupe de la canne |
| | Décembre | Prélèvement de sol |

## I.2 Échantillonnage et méthode d'analyse

### I.2.1 Échantillonnage du sol, du lisier, et de la canne à sucre

#### a) Échantillonnage du sol

Sur chaque parcelle élémentaire, 15 échantillons de sol sont prélevés à la gouge, sur 20 cm de profondeur, puis mélangés dans un seau (cela correspond environ à 1,5 kg de sol par parcelle élémentaire). Les prélèvements de sol sont effectués une fois par an, après la coupe de la canne et avant un nouvel apport de fertilisant.

#### b) Échantillonnage du lisier

L'échantillonnage du lisier est effectué lors de l'épandage. Le lisier est récupéré à la sortie de la tonne à lisier. Cette façon d'échantillonner permet d'obtenir un lisier homogénéisé.

#### c) Échantillonnage de la canne à sucre

Pour chaque parcelle élémentaire, les rangées de bordure sont récoltées à part afin de bien séparer les cannes issues d'un même type de fertilisation. Lors de la livraison d'un chargement de canne à la balance, le tonnage ainsi que la richesse en sucre sont déterminés.

### I.2.2 Méthodes d'analyse du sol et du lisier

La détermination des teneurs en $C_{org}$, $N_{tot}$, $NH_4^+$, $N0_3^-$, P, K, Ca, et Mg des échantillons de sol et de boue est effectuée au laboratoire d'analyse du CIRAD de La Réunion.

Le $C_{org}$ et $N_{total}$ sont analysés par combustion sèche sur un analyseur élémentaire (Thermoquest NC2100 Soil).

Le $pH_{eau}$ est mesuré selon la norme NF ISO 10390 avec un ratio volumique sol/eau = 1/5.

La teneur en azote minéral du sol (c.-à-d. ammoniacal et nitrates) est déterminée par extraction au KCl 1M avec un ratio volumique sol/eau = 1/5 puis dosée par colorimétrie à flux continu (Alliance Instruments).

L'analyse du complexe d'échange du sol est réalisée par la méthode au chlorure de cobaltihexamine. Les cations échangeables du sol ($K^+$, $Na^+$, $Mg^{2+}$, et $Ca^{2+}$) sont déplacés par la solution de cobaltihéxamine ($Co(NH_3)_6C1_3$) en excès puis déterminés par colorimétrie à flux continu (Alliance Instruments).

Le phosphore assimilable ($P_{ass.}$) du sol est déterminé selon la méthode Olsen (NF ISO 11263). L'extraction des formes de phosphore soluble est réalisée dans une solution de bicarbonate de sodium 0,5 M dans un rapport prise d'essai/volume d'extraction (m/v) = 1/20. La teneur en phosphore dans la solution est mesurée par l'analyse spectrométrique sur un appareil à flux continu, de la couleur bleue du complexe phosphomolybdique réduit à chaud par l'acide ascorbique à 660 nanomètres.

La détermination du phosphore total contenu dans la boue est effectuée par attaque tri-acide ($HF/HNO3F/HClO_4$) dans des creusets en platine. La solution résultante est analysée par colorimétrie automatique à 660 nm en utilisant le réactif sulfomolbydique à chaud par l'acide ascorbique.

La détermination des cations (éléments totaux du lisier) en solution aqueuse se fait par spectrométrie d'émission plasma à couplage inductif ICP (VARIAN).

# II Résultats et discussions

## II.1 Fertilisation

### II.1.1 Préconisation de fertilisation

À partir de l'analyse des échantillons de sol (présentée en annexe n°2) et des besoins en éléments nutritifs de la canne à sucre, le laboratoire d'analyse des sols du CIRAD de La Réunion a proposé les préconisations suivantes (pour les parcelles lisier et engrais) :

**Tableau 2 :** préconisation de fertilisation pour la canne à sucre sur les trois sites

| | **Saint-Joseph (site A)** | | | **Saint-Joseph (site B)** | | | **Tampon** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Année | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| 2002 | 200 | 70 | 200 | 120 | 200 | 200 | 80 | 70 | 200 |
| 2003 | 120 | 200 | 200 | 120 | 200 | 200 | 80 | 0 | 200 |
| 2004 | 120 | 200 | 200 | 120 | 200 | 200 | | | |

Il est toutefois difficile, voire impossible, de respecter ces préconisations sur les parcelles « lisier » car on ne connaît pas, *a priori*, la teneur en éléments nutritifs du lisier. En effet, les analyses agronomiques du lisier ne sont effectuées qu'après l'épandage. Selon le guide de la fertilisation organique à La Réunion (2006), la quantité de lisier à épandre est de 67 t/ha. Toutefois, pour cet essai, nous avons souhaité conserver les pratiques habituelles de fertilisation des agriculteurs. Ainsi, les quantités de lisier épandues sur les trois sites sont supérieures à la préconisation avec 90 t/ha/an sur les deux sites de Saint-Joseph et environ 100 t/ha/an sur le site du Tampon.

### II.1.2 Caractérisation des lisiers de bovin épandus

Les caractéristiques de chaque lisier épandu sont présentées dans le tableau 3. Nous ne disposons pas de la teneur en ammonium des lisiers. D'après l'institut de l'élevage et al. (2001), 40 % de l'azote d'un lisier de bovin se trouve sous forme ammoniacale (forme rapidement utilisable par la plante), le reste étant sous forme organique (dont la moitié est minéralisée dans l'année). D'après le guide de fertilisation organique à La Réunion (2006), le coefficient d'équivalence engrais du lisier est compris entre 0,2 et 0,55.

On constate que le lisier épandu sur le site du Tampon en 2002 présente des teneurs en N, P, K, Ca, et Mg beaucoup plus importantes que les autres lisiers. Ce lisier se différencie aussi des autres avec un rapport C/N deux fois plus faible, ce qui conduit à une minéralisation rapide de la matière organique (et donc une forte production d'azote minéral utilisable par les plantes). Les autres lisiers présentent un rapport C/N compris entre 10 et 15 : la production d'azote minéral sera moins importante que précédemment ; la minéralisation et l'humification vont s'équilibrer.

**Tableau 3 :** caractéristiques agronomiques des lisiers épandus

| | 2002 | | 2003 | | 2004 |
|---|---|---|---|---|---|
| | Tampon | $S^t$ Joseph | Tampon | $S^t$ Joseph | $S^t$ Joseph |
| Matière sèche (MS) (g/100g produit brut) | 11,3 | 9,1 | 8,1 | 10,1 | 8,8 |
| pH | | | 7,3 | 6,3 | 6,8 |
| Matière organique total (g/100g MS) | 65,5 | 81,7 | 75 | 82,4 | 82,8 |
| Azote total (g/100g MS) | 5,61 | 3,14 | 4,73 | 2,94 | 3,0 |
| C/N | 5,8 | 13 | 9,9 | 14 | 14,2 |
| | | | | | |
| Phosphore (g/100g MS) | 2,07 | 0,83 | 0,8 | 0,68 | 0,7 |
| Potassium (g/100g MS) | 4,42 | 2,93 | 5,03 | 3,21 | 3,9 |
| Calcium (g/100g MS) | 5,86 | 1,39 | 1,92 | 0,99 | 1,3 |
| Magnésium (g/100g MS) | 1,1 | 0,67 | 0,94 | 0,6 | 0,7 |

Le tableau 4 présente la quantité d'éléments fertilisants apportée lors de chaque épandage de lisier. Les quantités d'azote apportées par le lisier sont toujours supérieures aux préconisations. Néanmoins, seulement une partie de l'azote est disponible pour la canne car :

i) la volatilisation de l'azote ammoniacal peut entraîner de forte perte. Ainsi, selon Genermont et al. (2002), la part d'azote qui est ainsi perdu peut atteindre 100 % de l'azote ammoniacal contenu dans le lisier (surtout si le lisier est épandu avec une tonne à lisier équipée d'une queue de paon et sur un mulch de paille de canne).

ii) l'azote organique n'est pas immédiatement disponible pour la canne. Il faut que la matière organique se minéralise pour libérer de l'azote minéral utilisable par les plantes. En conditions favorables, une partie de l'azote organique du lisier est minéralisée dans les trois à cinq semaines suivant l'épandage. Le reste, qui se minéralise dans les années suivantes, procure l'arrière effet du lisier (institut de l'élevage et al., 2001).

Sur le site du tampon, les quantités de phosphore apportées par les différents épandages de lisier sont toujours supérieures aux préconisations. Par contre, sur les deux sites de Saint-Joseph, les quantités de phosphore apportées par le lisier ne suffisent pas à couvrir les besoins de la canne, un complément d'engrais peut donc être apporté.

Sur les trois sites, les quantités de potassium apportées par le lisier (immédiatement disponible par les plantes) sont toujours supérieures aux préconisations.

**Tableau 4 :** quantité d'éléments apportée par les lisiers

| | 2002 | | 2003 | | 2004 |
|---|---|---|---|---|---|
| | Tampon | $S^t$ Joseph | Tampon | $S^t$ Joseph | $S^t$ Joseph |
| Volume épandu ($m^3$/ha) | 100 | 90 | 100 | 90 | 90 |
| $N_{tot}$ (kg/ha) | 634 | 257 | 383 | 267 | 239 |
| $P_2O_5$ (kg/ha) | 536 | 156 | 148 | 142 | 127 |
| $K_2O$ (kg/ha) | 615 | 295 | 501 | 359 | 381 |
| CaO (kg/ha) | 927 | 159 | 218 | 126 | 145 |
| MgO (kg/ha) | 206 | 91 | 126 | 90 | 91 |

Dans le tableau 5, nous avons reporté les quantités d'azote biodisponible apportées par le lisier. Ces quantités d'azote biodisponible sont calculées à partir d'un coefficient d'équivalence engrais. Toutefois, il est impossible de déterminer ce coefficient pour chaque lisier épandu car il dépend d'un grand nombre de paramètres difficilement mesurables (proportion d'azote minéral et organique du lisier, proportion d'ammoniaque volatilisée lors de l'épandage et les jours suivant l'épandage, vitesse de minéralisation de la matière organique du lisier, etc.). Nous sommes ainsi contraint d'utiliser des coefficients d'équivalence engrais proposées par la littérature. Nous avons retenu la « fourchette » de valeurs proposée par le guide des matières organiques à La Réunion (2006) : de 0,2 à 0,55. Le tableau 5 présente les quantités d'azote biodisponible calculées avec la limite inférieure (0,2) et supérieure (0,55) de ce coefficient d'équivalence engrais.

**Tableau 5 :** quantité d'azote biodisponible (kg/ha) apportée par les lisiers

| | 2002 | | 2003 | | 2004 |
|---|---|---|---|---|---|
| | Tampon | St Joseph | Tampon | St Joseph | St Joseph |
| Coefficient d'équivalence engrais : **0,55** | 349 | 141 | 211 | 147 | 132 |
| Coefficient d'équivalence engrais : **0,2** | 127 | 51 | 77 | 53 | 48 |

On constate ainsi que si le coefficient d'équivalence engrais du lisier bovin utilisé est proche de la limite inférieure (0,2), les quantités d'azote biodisponible apportées sont relativement faibles et largement inférieures aux préconisations (cf. tableau 2). Par contre, si l'on considère la limite supérieure du coefficient d'équivalence engrais, les quantités d'azote biodisponible apportées se rapproche des préconisations.

### II.1.3 Quantité d'engrais apportée

#### a) Sur les parcelles engrais

Les quantités et les formulations d'engrais utilisées dans le cadre de cet essai sur les parcelles « engrais » des trois sites sont résumées dans le tableau 6. Les quantités de N, P, et K apportées par les engrais ne respectent pas scrupuleusement les préconisations car nous avons choisi de garder les quantités et le type d'engrais habituellement utilisés par les trois agriculteurs.

**Tableau 6 :** types et quantités d'engrais apportées sur les parcelles « engrais »

| Site | Année | Type d'engrais | Quantité d'engrais (kg) apportée sur 1000 $m^2$ | kg/ha | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| $S^t$ Joseph site A | 2002 | 15/12/24 | 100 | 150 | 120 | 240 |
| | 2003 | 15/12/24 | 135 | 200 | 162 | 324 |
| | 2004 | 15/12/24 | 100 | 150 | 120 | 240 |
| $S^t$ Joseph site B | 2002 | 20/7/24 | 110 | 220 | 77 | 264 |
| | 2003 | 20/7/24 | 100 | 200 | 70 | 240 |
| | 2004 | 20/7/24 | 100 | 200 | 70 | 240 |
| Tampon | 2002 | 20/7/24 | 100 | 200 | 70 | 240 |
| | 2003 | 20/7/24 | 75 | 150 | 53 | 180 |

#### b) En complément sur les parcelles lisier

Le tableau 7 présente le type et les quantités d'engrais apportés sur les parcelles « lisier » au cours de nos essais. Un même complément d'engrais a été apporté uniquement en 2003 sur les parcelles lisier des trois sites.

**Tableau 7 :** types et quantités d'engrais apportées en complément sur les parcelles « lisier »

| Site | Année | Type d'engrais | Quantité d'engrais (kg) apportée sur 1000 $m^2$ | kg/ha | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| $S^t$ Joseph site A | 2002 | - | - | - | - | - |
| | 2003 | 15/12/24 | 37 | 56 | 45 | 90 |
| | 2004 | - | - | - | - | - |
| $S^t$ Joseph site B | 2002 | - | - | - | - | - |
| | 2003 | 15/12/24 | 37 | 56 | 45 | 90 |
| | 2004 | - | - | - | - | - |
| Tampon | 2002 | - | - | - | - | - |
| | 2003 | 15/12/24 | 37 | 56 | 45 | 90 |

### II.1.4 Bilan de la fertilisation sur les trois sites

Le tableau 8 résume les apports d'éléments fertilisants effectués sur les deux traitements (lisier et engrais) sur les trois sites expérimentaux.

Les apports d'azote (azote total) et de potassium sur les parcelles « lisier » et « engrais » sont systématiquement supérieurs aux préconisations. Les apports de phosphore sont inférieurs aux préconisations sauf en 2002 sur le site A de Saint-Joseph et en 2002 et 2003 sur le site du Tampon. Pour les parcelles « lisier », cela provient du fait que nous ne connaissons pas *a priori* la composition du lisier avant son épandage ; il n'est donc pas possible de connaître la quantité de lisier exacte à

apporter pour respecter les préconisations. Pour les parcelles engrais, les quantités sont supérieures aux recommandations car nous avons gardé les « habitudes » de fertilisation de chaque agriculteur.

**Tableau 8 :** fertilisation sur les trois sites

| ***Saint-Joseph Site A*** | 2002 | | | 2003 | | | 2004 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| kg/ha | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| Parcelles lisier | 257 | 155 | 288 | 323 | 190 | 444 | 239 | 127 | 381 |
| Parcelles engrais | 150 | 120 | 240 | 200 | 162 | 324 | 150 | 120 | 240 |
| Préconisation | 200 | 70 | 200 | 120 | 200 | 200 | 120 | 200 | 200 |

| ***Saint-Joseph Site B*** | 2002 | | | 2003 | | | 2004 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| kg/ha | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| Parcelles lisier | 257 | 155 | 288 | 323 | 190 | 444 | 239 | 127 | 381 |
| Parcelles engrais | 220 | 77 | 264 | 200 | 70 | 240 | 200 | 70 | 240 |
| Préconisation | 120 | 200 | 200 | 120 | 200 | 200 | 120 | 200 | 200 |

| ***Tampon*** | 2002 | | | 2003 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| kg/ha | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ | N | $P_2O_5$ | $K_2O$ |
| Parcelles lisier | 634 | 531 | 598 | 439 | 190 | 576 |
| Parcelles engrais | 200 | 70 | 240 | 150 | 53 | 180 |
| Préconisation | 80 | 70 | 200 | 80 | 0 | 200 |

## II.2 Pluviométrie

Les figures 3 et 4 présentent respectivement les pluies mensuelles mesurées au Tampon et à Saint-Joseph pendant la période de suivi des trois sites expérimentaux.

Au Tampon, l'été 2002/03 a été peu pluvieux avec des mois de novembre, janvier, et mars particulièrement déficitaire. L'hiver 2003 a été aussi très sec avec 40 mm de moyenne mensuelle de juin à novembre. Hormis les mois de janvier et février 2004, l'année 2004 a aussi été très sèche avec par exemple moins de 70 mm en trois mois (de début juin à fin août).

Nous verrons dans le paragraphe II.4 si cette sécheresse a eu un impact sur la croissance de la canne.

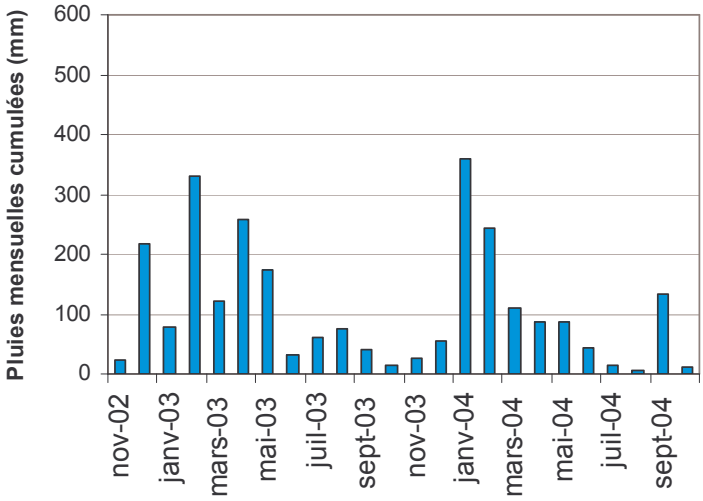



**Figure 3 :** pluies mensuelles (novembre 2002 à octobre 2004) sur la station météo du Tampon

À Saint-Joseph, la pluviométrie a été plus importante qu'au Tampon. Ainsi, les étés 2002/03, 2003/04 et 2004/05 ont été relativement pluvieux des moyennes de hauteur de pluie mensuelle supérieures à 200 mm. Par contre l'hiver 2004 ainsi qu'une partie de l'été 2005 (décembre 2004 et janvier 2005) ont été très sec. On enregistre par exemple moins de 40 mm mensuel de juillet à novembre 2004. Le mois de janvier 2005 a été particulièrement déficitaire avec moins de 80 mm alors qu'il s'agit généralement d'un mois très pluvieux. À partir de février 2005, les pluies ont été importantes et soutenues durant le reste de l'été et même durant une partie de l'hiver.

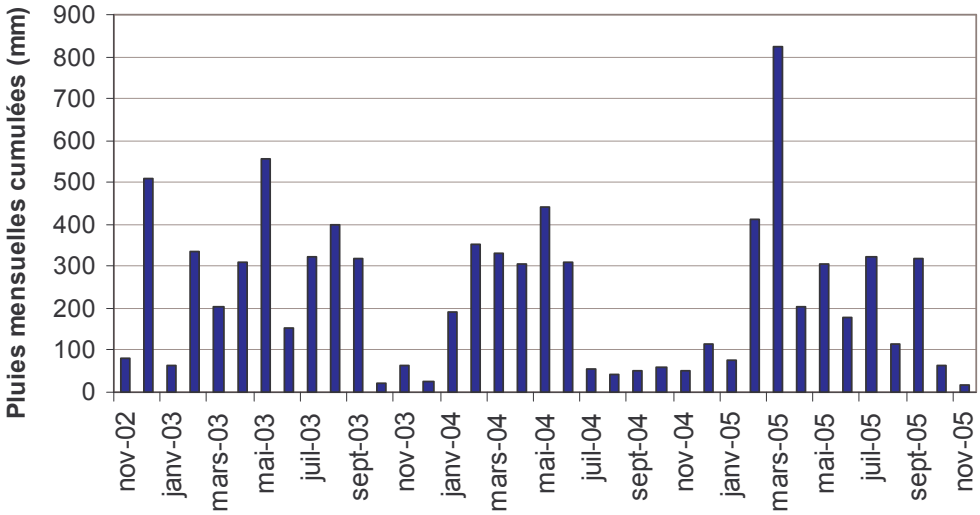



**Figure 4 :** pluies mensuelles (novembre 2002 à novembre 2005) sur la station météo des Lianes (Saint-Joseph)

## II.3 Caractérisation et évolution du sol

Dans ce paragraphe, nous nous intéresserons à l'évolution des principales caractéristiques agronomiques du sol en fonction des itinéraires techniques (avec ou sans lisier de bovin).

L'évolution des caractéristiques agronomiques du sol des trois sites est présentée en annexe n°2. Rappelons que les échantillons de sol de 2002 ont été prélevés avant le premier épandage de lisier de bovin. L'effet du lisier sur le sol n'est donc visible que sur les échantillons prélevés à partir de 2003 les parcelles « lisier ».

### II.3.1 Évolution du pH

La figure 5 présente l'évolution du pH du sol de 2002 à 2005 sur les trois sites.

Pour le Tampon, quelques soient les parcelles (lisier ou engrais), le pH du sol ne montre pas d'évolution significative au cours du temps ; sa valeur fluctue entre 5,6 et 6 (sauf une valeur égale à 5 en 2002 sur une parcelle engrais).

Pour les deux sites de Saint-Joseph, le pH des parcelles engrais est relativement stable. Pour les parcelles lisier, une légère tendance à l'augmentation est observable de 2002 à 2005. Toutefois, cette légère augmentation est du même ordre de grandeur que la variabilité des valeurs de pH dans ce sol. Cela indique que cette augmentation ne peut pas être considérée comme significative.

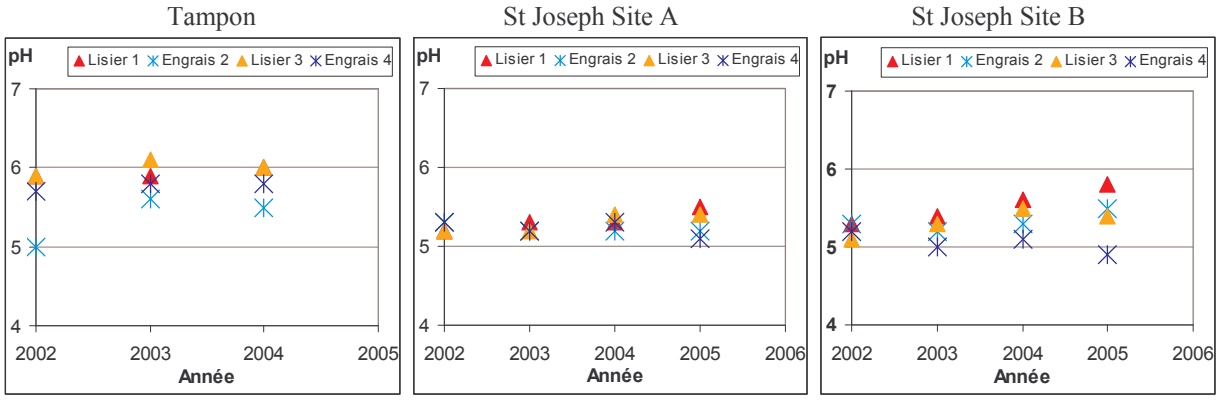



**Figure 5 :** évolution du pH du sol sur les trois sites

Dans d'autres études réalisées en Europe, une augmentation de pH est constatée suite à l'épandage de lisier de bovin sur des sols acides (Whalen et al., 2000). Cette augmentation est attribuée au pouvoir tampon du bicarbonate et des acides organiques faibles présents dans le lisier de bovin.

Précisons qu'une augmentation du pH est bénéfique pour le sol car :

i) la matière organique est plus facilement dégradé par les microorganismes du sol et
ii) l'augmentation du pH supprime certaines toxicités quand elles existent (Al, Mn, éléments traces métalliques), conduisant à une meilleure exploration racinaire de la culture.

La légère tendance que l'on observe sur les parcelles lisier n'est pas significative mais les analyses de sol mériteraient d'être poursuivies pour vérifier si cette tendance se confirme dans les prochaines années et corrobore ainsi les résultats trouvés par Whalen et al. (2000).

### II.3.2 Évolution des teneurs en éléments de la capacité d'échange cationique (CEC) : Mg, Ca, K, et Na

Les teneurs en potassium, calcium, magnésium, et sodium échangeables ne montrent pas de tendance évolutive particulière et cela quelque soit le traitement fertilisant ou le site expérimental (cf. annexe n°1). Aucune évolution n'a donc été constatée malgré l'apport relativement important de phosphore et de potassium lors de chaque fertilisation (par les lisiers ou les engrais). Le fait que les

analyses de sol soient réalisées presque un an après l'épandage pourrait expliquer l'absence d'évolution. En effet, pendant le laps de temps écoulé entre la fertilisation et les analyses de sol, les éléments nutritifs apportés ont pu être lessivés au-delà de 20 cm (profondeur de prélèvement pour les analyses de sol) et/ou utilisés par la plante.

Les observations faites sur l'andosol de Saint-Joseph ou sur le sol brun du Tampon un an après les épandages indiquent donc que les lisiers de bovin n'influencent pas la composition ni l'équilibre de la CEC du sol.

### II.3.3 Évolution des teneurs en phosphore assimilable

La figure 6 présente l'évolution des teneurs en phosphore assimilable du sol pour les trois sites et pour chaque traitement fertilisant (lisier ou engrais).

On constate tout d'abord que les teneurs en phosphore assimilable du sol du Tampon sont beaucoup plus élevées (2 à 4 fois supérieures) que celles du sol des deux sites de Saint-Joseph. Cela traduit la différence chimique de ces deux sols.

Les concentrations en phosphore assimilable sont beaucoup plus variables sur le sol brun du Tampon que sur les deux andosols de Saint-Joseph. Cette plus grande variabilité spatiale semble être une caractéristique intrinsèque de ce type de sol et ne semble pas être influencée par l'apport de lisier de bovin.

Pour les trois sites et quel que soit le traitement fertilisant, on observe une légère augmentation des teneurs en phosphore assimilable qui pourrait résulter des apports de lisier et d'engrais réalisés chaque année. Cela indique aussi que le phosphore apporté par les engrais ou les lisiers n'est pas entièrement utilisé par la canne, ce qui contribue à son accumulation dans le sol. Des analyses plus poussées réalisées sur la canne (notamment les teneurs totales en N, P, et K) permettraient de quantifier la part des éléments nutritifs exportée du sol.

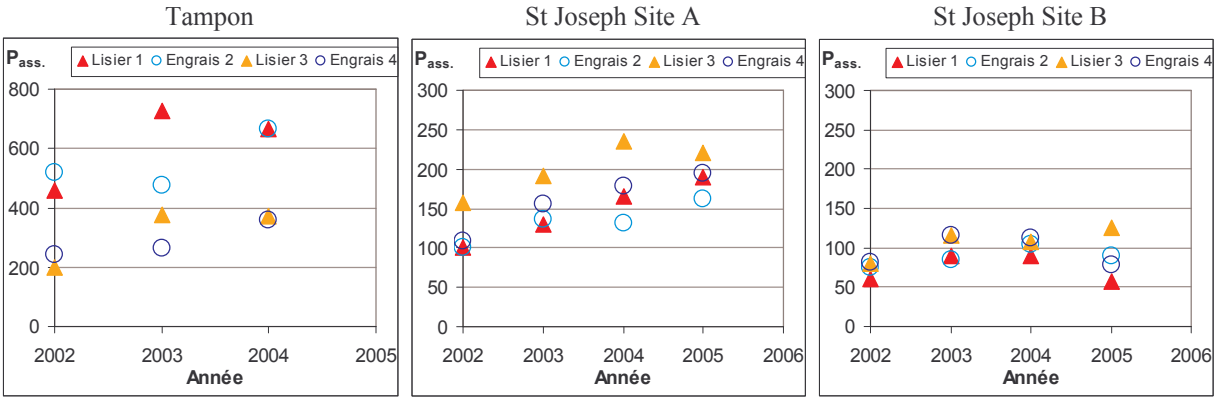



**Figure 6 :** évolution des teneurs en phosphore du sol sur les trois sites (l'échelle des ordonnées n'est pas la même entre les sites de Saint-Joseph et celui du Tampon)

### II.3.4 Évolution des teneurs en azote

La figure 7 présente l'évolution des teneurs en azote total du sol pour les trois sites et pour chaque traitement fertilisant (lisier ou engrais).

Sur les trois sites et pour les deux traitements (lisier et engrais), les teneurs en azote total restent relativement stables entre 2002 et 2005. Cette stabilité peut s'expliquer par un équilibre entre la consommation de la canne et la lixiviation, au-delà de 20 cm, d'une part et les apports exogènes (engrais et lisier) d'autre part.

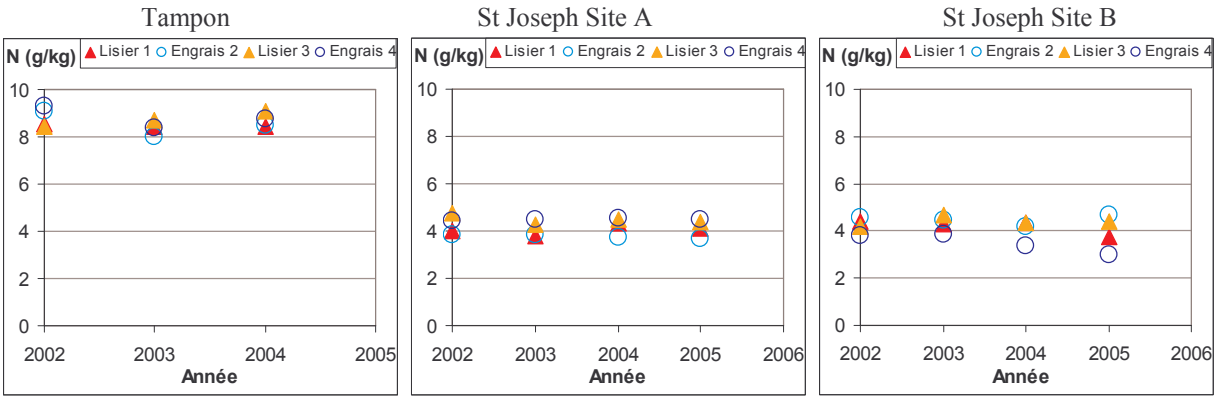



**Figure 7 :** évolution des teneurs en azote total du sol sur les trois sites

## II.3.5 Évolution des teneurs en matière organique

Les évolutions des teneurs en matière organique du sol pour les trois sites et pour chaque traitement fertilisant (lisier ou engrais) sont présentées à la figure 8.

On enregistre une légère augmentation des teneurs en matière organique entre 2002 et 2003 sur tous les sites quelque soit le traitement. Cette augmentation n'est pas la conséquence des apports de lisier (contenant de la matière organique) car elle est aussi observée sur les parcelles engrais où aucun apport de matière organique n'est réalisé. Cette augmentation pourrait être la conséquence de la dégradation de résidus de culture de l'année précédente.

De 2003 à 2005, les teneurs en matière organique du sol des trois sites sont relativement stables. Elles oscillent autour de 16 % au Tampon et autour de 10 % à Saint-Joseph. Les apports consécutifs de matière organique réalisés sur les parcelles « lisier » n'entraînent donc pas d'augmentation des teneurs en matière organique du sol. Le fait que les prélèvements puis l'analyse des sols soient effectués quasiment un an après l'épandage empêche de suivre la cinétique de dégradation de la matière organique du lisier. Nous pouvons toutefois supposer que la matière organique apportée par le lisier se dégrade rapidement (en moins d'un an) en éléments nutritifs (notamment en azote minéral). Le rapport C/N relativement faible (entre 5,8 et 14,2) des lisiers conforte par ailleurs cette hypothèse. Les éléments minéraux nutritifs provenant de la dégradation des lisiers sont alors prélevés par la culture et/ou lixiviés dans les couches de sol profondes lors de drainages importants. Les analyses de sol effectuées un an après l'épandage indiquent qu'il n'existe pas d'augmentation des teneurs en matière organique suite aux différents apports de lisier.

Les apports de lisier réalisés chaque année ne permettent donc pas d'augmenter la teneur en matière organique du sol. Cela est dû au fait que le rapport C/N du lisier est assez faible (compris entre 6 et 14). Plus ce rapport C/N est faible et plus la dégradation de la matière organique va être privilégiée par rapport à l'humification (humification qui entraînerait une augmentation du taux de matière organique) (Duchaufour, 1988).

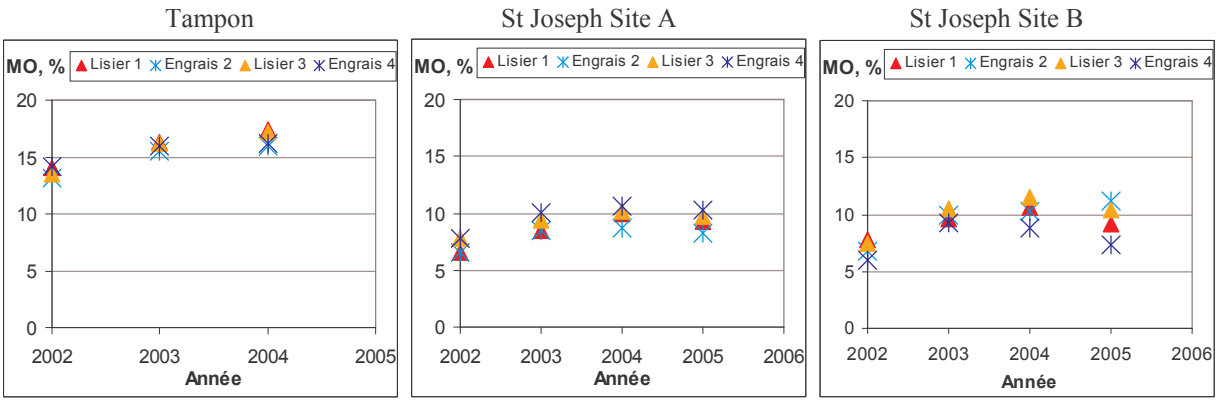



**Figure 8 :** évolution des teneurs en matière organique (MO) du sol sur les trois sites

### II.3.6 Bilan

En résumé et en comparaison aux parcelles « engrais », l'apport de lisier de bovin n'entraîne pas de changement important à court terme des propriétés agronomiques du sol. Les teneurs en matière organique et en éléments nutritifs (N, P, K) du sol sont semblables pour les deux traitements. L'apport de lisier de bovin semble avoir un effet bénéfique sur l'andosol de Saint-Joseph en réduisant légèrement son acidité.

Il est important de souligner que les analyses de sol sont effectuées environ un an après l'apport de fertilisants (lisier ou engrais). De ce fait, la matière organique apportée par le lisier a le temps de se minéraliser et les éléments nutritifs apportés par les engrais et le lisier peuvent être soit prélevés par la plante soit lixiviés en profondeur. Cela peut donc expliquer pourquoi aucune différence n'est visible dans les vingt premiers centimètres de sol (épaisseur de sol analysé). L'analyse des couches de sol plus profondes et des exportations des éléments nutritifs par la canne permettrait de mieux appréhender les effets agronomiques et environnementaux d'un apport de lisier sur un sol cultivé.

# II.4 Rendement et richesse de la canne à sucre

## II.4.1 Évolution des rendements et de la richesse au cours du temps

**Résultats**

Les figures 9 et 10 présentent respectivement les moyennes des rendements et des richesses de la canne obtenues de 2003 à 2005 pour les quatre parcelles de chaque site.

Dans le paragraphe II.4.2, nous analyserons la variabilité des rendements et de la richesse en sucre de la canne pour tous les sites et pour toutes les parcelles. Cela permettra d'appuyer ou de relativiser les observations générales faites dans ce premier paragraphe.

Rappelons que pour le site du Tampon, les essais n'ont pas été poursuivis au-delà de 2004. Notons aussi que nous ne disposons pas, pour l'année 2005, des valeurs de rendement et de richesse des cannes du site A de Saint-Joseph.

*Les rendements*

Sur le site du Tampon, le rendement de 2003 des parcelles « lisier » est inférieur de 25 % au rendement des parcelles « engrais » (respectivement 50 et 66 t/ha). En 2004, nous ne bénéficions que du rendement des parcelles « lisier » qui est encore inférieure à celui de 2003 avec 37 t/ha.

Sur les deux sites de Saint-Joseph, les rendements de 2003 des parcelles « lisier » (87 t/ha) sont inférieurs de 13 % à ceux des parcelles « engrais » (98 t/ha). En 2004, la différence entre les deux traitements s'amenuise : on enregistre 90 t/ha sur les parcelles « lisier » contre 96 t/ha sur les parcelles « engrais », soit un rendement inférieur de 6 % pour les parcelles « lisier ». En 2005, on observe une nette diminution des rendements sur le site B de Saint Joseph ; cette diminution est par ailleurs observée sur les parcelles « engrais » et « lisier ». Ainsi, on enregistre un rendement de 62 t/ha sur les parcelles « lisier » et 79 t/ha sur les parcelles « engrais » (soit une différence de 21 % entre les deux traitements).

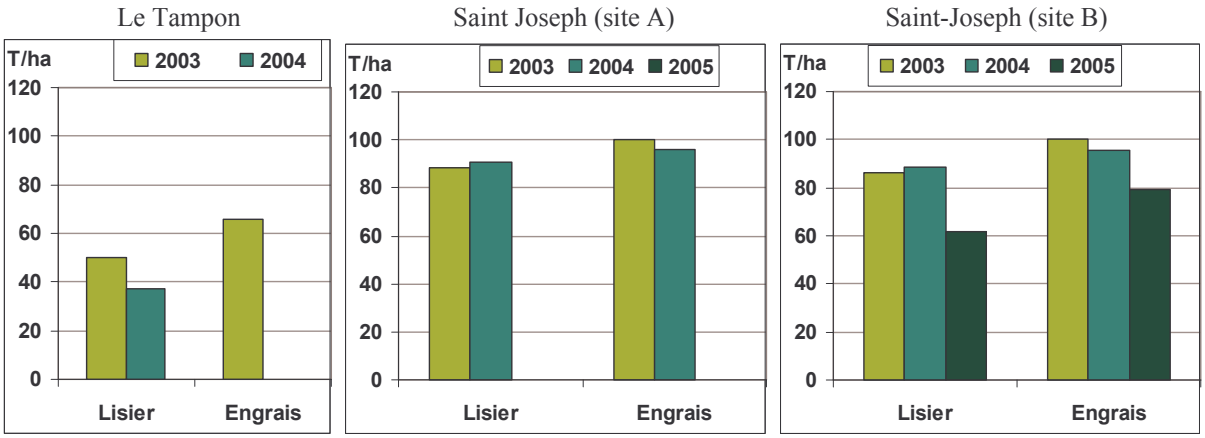



**Figure 9 :** rendement des quatre parcelles pour les coupes d'août 2004 et de septembre 2005

*Les richesses en sucre*

La richesse en sucre des cannes des parcelles « lisier » est toujours au moins équivalente à celle des parcelles « engrais ». Ceci est observé sur les trois sites et pour chaque année. Les richesses en sucre des cannes des trois sites sont toujours relativement élevées avec au minimum 14 %.

Sur le site du Tampon et sur le site A de Saint-Joseph, la richesse est de 14 % sur toutes les parcelles en 2003 et 2004.

Sur le site B de Saint-Joseph, on enregistre en 2003 une richesse en sucre de 16 %. En 2004 et 2005, les richesses ont diminué mais restent tout de même à des valeurs proches de 14 %.

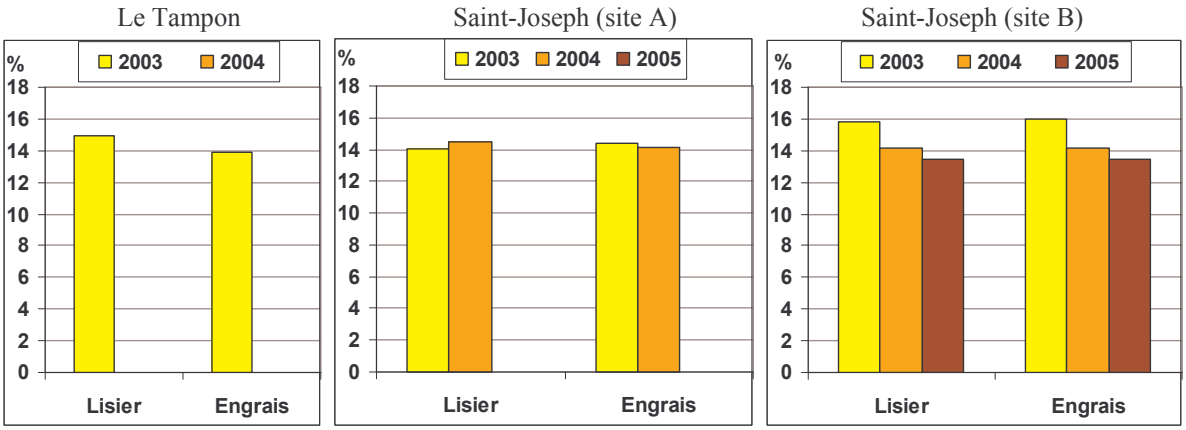



**Figure 10 :** richesse de la canne à sucre des quatre parcelles pour les coupes d'août 2004 et de septembre 2005

## Discussion

*Rendement*

Les très faibles rendements obtenus sur le site du Tampon pour les deux traitements sont dus aux conditions météorologiques peu favorables. La pluviométrie a été très faible en 2003 et 2004 (cf. paragraphe II.2) ; ce manque d'eau est donc à l'origine de la très mauvaise croissance de la canne à sucre. Selon Hainzelin et Lethève (2000), la canne a besoin d'environ 100 à 170 mm d'eau par mois pendant la période végétative. Or durant les 8 mois (du mois de janvier aux mois de juillet/août) de cette période végétative, ou période de croissance, Météo France a enregistré de nombreux mois avec une pluviométrie inférieure à 100 mm (cf. figure 3).

La différence nette de rendement constatée entre 2004 et 2005 sur le site B de Saint-Joseph s'explique par une pluviométrie moins importante en 2005 comparée à l'année précédente.

Les rendements légèrement inférieurs des parcelles « lisier » par rapport aux parcelles « engrais » peuvent être dus au fait qu'une trop faible proportion de l'azote apporté par le lisier n'est disponible immédiatement pour la canne. Ces observations sont en bon accord avec le coefficient d'équivalence engrais du lisier de bovin qui est relativement faible : entre 0,2 et 0,55 selon le guide de la fertilisation organique à La Réunion (2006). De plus, le mode d'épandage du lisier a favorisé la volatilisation de l'azote ammoniacal du lisier qui représente environ 40 % de l'azote total du lisier (Institut de l'élevage et al., 2001). La différence entre la quantité d'azote apportée par le lisier et celle réellement disponible pour la canne peut donc être très importante et occasionner une différence de croissance entre les deux traitements « lisier » et « engrais ».

*Richesse*

Le fait que la richesse en sucre soit équivalente pour les traitements « lisier » et « engrais » s'explique aisément car ce paramètre dépend surtout de la pluviométrie lors de la phase de maturation de la canne (les deux mois précédents la coupe ou 9 mois après la levée). Or les conditions climatiques sont exactement les mêmes entre les parcelles lisier et engrais d'un même site.

La différence de richesse constatée entre 2003 et 2004 sur le site B de Saint-Joseph peut être due en partie aux conditions météorologiques. En effet, lorsque la canne est en phase de maturation (généralement 9 mois après la levée ou les deux mois précédant la coupe selon Hainzelin et Lethève, [2000]), un climat sec et froid favorise son enrichissement en sucre. Ainsi, l'année 2003 a été très favorable pour la canne car :

- la période de croissance a été très pluvieuse avec au moins 200 mm chaque mois et
- la période de maturation (deux mois avant la coupe) a été très peu pluvieuse avec moins de 40 mm mensuel, ce qui permet un bon enrichissement en sucre.

Cependant, si les conditions pluviométriques étaient les seuls paramètres influençant la richesse de la canne, nous aurions dû constater un meilleur enrichissement en sucre en 2003 sur le site A de Saint-Joseph, ce qui n'est pas le cas.

### II.4.2 Variabilité des rendements et de la richesse en sucre des cannes

Les valeurs de rendement et de richesse obtenues pour chaque site et pour chaque parcelle sont présentées dans les tableaux 10 et 11 respectivement.

Nous avons constaté dans le paragraphe précédent que les rendements étaient légèrement plus faibles (de 5 à 20 %) sur les parcelles « lisier » par rapport aux parcelles « engrais ». Par contre, aucune différence de richesse n'a été constatée entre les deux traitements, quel que soit le site. Nous allons maintenant nous intéresser à la variabilité des rendements et de la richesse de la canne. Nous allons ainsi vérifier si les remarques faites dans le précédent paragraphe doivent être relativisées en raison d'une trop grande variabilité des valeurs.

**Rendement**

*Site A de Saint-Joseph*

Pour 2003 et 2004, on constate une variabilité relativement importante entre les deux sous-parcelles des deux traitements. Pour chaque année, une différence d'une dizaine de tonnes par hectare est observée entre les deux sous-parcelles « lisier » mais aussi entre les deux sous-parcelles « engrais ». On constate par ailleurs, pour 2003 et 2004, que les rendements de la sous-parcelle « lisier » n°III sont très proches de ceux de la sous-parcelle « engrais » n°IV.

La différence de rendement constatée entre les deux traitements doit donc être relativisée en raison d'une variabilité relativement importante. En d'autres termes, sur ce site A de Saint-Joseph, la différence de rendement constatée entre les deux traitements ne peut pas être considérée comme significative.

*Site B de Saint-Joseph*

De 2003 à 2005, la variabilité entre les deux sous-parcelles « lisier » est plus importante qu'entre les deux sous-parcelles « engrais ». Pour chaque année, la différence de rendement entre les sous-parcelles « lisier » n°I et III varie entre 5 et 10 t/ha et elle n'est, au maximum, que de 4 t/ha entre les sous-parcelles « engrais ». Or la différence de rendement entre les deux sites est de l'ordre de 10 à 20 t/ha. La différence de rendement entre les deux traitements du site B de Saint-Joseph semble donc être un peu plus significative que sur le site A.

*Site du Tampon*

Comme nous l'avons observé pour le site B de Saint-Joseph, les rendements des sous-parcelles « engrais » sont peu variables contrairement à ceux des deux sous-parcelles « lisier ». Les rendements des sous-parcelles « lisier », malgré leur variabilité, sont inférieurs à ceux des rendements des sous-parcelles « engrais ». La différence de rendement entre les deux traitements semble donc être significative. Néanmoins, pour bénéficier de conclusions plus tranchées, le nombre de répétitions doit être augmenté.

**Tableau 9 :** rendement (t/ha) détaillé pour chaque sous-parcelle et pour chaque site

| ***St-Joseph A*** | Lisier I | Lisier III | Moyenne | Engrais II | Engrais IV | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | 79 | 98 | 88 | 106 | 95 | 100 |
| 2004 | 84 | 97 | 91 | 100 | 92 | 96 |

| ***St-Joseph B*** | Lisier I | Lisier III | Moyenne | Engrais II | Engrais IV | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | 81 | 91 | 86 | 101 | 100 | 100 |
| 2004 | 85 | 92 | 89 | 94 | 97 | 96 |
| 2005 | 65 | 59 | 62 | 83 | 75 | 79 |

| ***Tampon*** | Lisier I | Lisier III | Moyenne | Engrais II | Engrais IV | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | 55 | 46 | 50 | 66 | 66 | 66 |
| 2004 | | 37 | 37 | | | |

**Richesse**

La variabilité des teneurs en sucre est la même pour tous les sites et sur toutes les parcelles. La différence de richesse entre les sous-parcelles d'un même traitement peut atteindre 1 %.

**Tableau 10 :** richesse (%) en sucre détaillée pour chaque sous-parcelle et pour chaque site

| ***St Joseph A*** | Lisier I | Lisier III | Moyenne | Engrais II | Engrais IV | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | 14,5 | 13,5 | 14 | 14,2 | 14,7 | 14 |
| 2004 | 14,4 | 14,6 | 14 | 14,0 | 14,3 | 14 |

| ***St Joseph B*** | Lisier I | Lisier III | Moyenne | Engrais II | Engrais IV | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | 16,3 | 15,4 | 16 | 16,2 | 15,8 | 16 |
| 2004 | 14,5 | 13,8 | 14 | 14,4 | 14,0 | 14 |
| 2005 | 13,3 | 13,7 | 13,5 | 13,1 | 13,9 | 13,5 |

| ***Tampon*** | Lisier I | Lisier III | Moyenne | Engrais II | Engrais IV | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2003 | 15,0 | 14,9 | 15 | 13,2 | 14,7 | 14 |
| 2004 | | | | | 14,2 | |

**Bilan**

Après trois années d'épandage de lisier de bovin sur deux types de sol cultivé en canne à sucre, nous avons pu constater le pouvoir fertilisant intéressant ainsi que l'innocuité des lisiers de bovin lorsqu'ils sont utilisés comme fertilisants sur un sol cultivé. L'utilisation du lisier de bovin permet d'obtenir des rendements en canne à sucre de l'ordre de 90 t/ha et des richesses comparables à ce qui est habituellement obtenus avec une fertilisation classique à base d'engrais (autour de 14 %).

D'une façon générale, nous avons constaté que les rendements moyens des parcelles « lisier » étaient légèrement inférieurs à ceux des parcelles « engrais ». Toutefois, la variabilité relativement importante des rendements (notamment sur les parcelles « lisier ») montre qu'il faut relativiser ces résultats. Pour pouvoir conclure de façon plus tranchée, il est nécessaire que le nombre de répétition soit plus important lors de tels études.

Pour optimiser le pouvoir fertilisant du lisier, un effort doit être fait pour limiter la volatilisation de l'azote ammoniacal du lisier en utilisant d'autres matériels d'épandage (par exemple une tonne à lisier munie d'une rampe d'épandage [buse ou pendillards]) et en enfouissant le lisier.

# Conclusions

*Principaux résultats*

L'essai de comparaison de fertilisation d'un lisier de bovin avec un engrais sur une culture de canne à sucre a permis de mettre en évidence, après trois années de suivi, les éléments suivants :

- **Le lisier de bovin**

Les lisiers de bovin utilisés dans ces essais sont relativement riches en N, P, et K. Toutefois, les concentrations en N, P, et K peuvent varier fortement d'une année à l'autre ce qui oblige donc à analyser chaque année le lisier pour connaître sa concentration en élément fertilisant (et apporter un complément d'engrais s'il s'avérait qu'un élément est déficitaire). Un effort doit aussi être apporté pour limiter la volatilisation de l'azote ammoniacal du lisier lors de l'épandage (qui peut entraîner de forte perte d'azote). L'utilisation d'un matériel autre qu'une queue de paon à la sortie de la tonne à lisier permettrait de limiter les pertes gazeuses. L'enfouissement du lisier immédiatement après l'épandage permettrait aussi d'améliorer son pouvoir fertilisant.

Nous avons aussi constaté que le rapport C/N des lisiers épandus était relativement faible (compris entre 6 et 14). Le lisier se dégrade donc rapidement (en moins d'un an) et ne contribue alors pas à augmenter significativement le taux de matière organique du sol.

Enfin, l'épandage de lisier sur un sol cultivé permet de diminuer les dépenses relatives à l'achat d'engrais chimique (le lisier est généralement offert par les éleveurs). Toutefois, l'épandage de lisier sur un sol cultivé nécessite une logistique importante et peut entraîner des dépenses qui peuvent devenir relativement importante lorsque le producteur d'effluent se trouve éloigné géographiquement de la parcelle cultivée. En définitive, l'utilisation de lisier est avantageux financièrement pour l'agriculteur si le producteur d'effluent est situé à proximité du champ de canne et si le lisier est fourni gratuitement.

- **Le sol**

L'apport de lisier de bovin sur les deux types de sol (andosol de Saint-Joseph et sol brun à caractère andique du Tampon) n'entraîne pas de changement important à court terme sur leurs propriétés agronomiques. Les teneurs en matière organique et en éléments nutritifs (N, P, K) des deux sols sont semblables pour les traitements « lisier » et « engrais ». Nous avons par ailleurs observé un effet bénéfique de l'apport de lisier de bovin sur l'andosol de Saint-Joseph avec une légère diminution de l'acidité du sol. Cette diminution de l'acidité facilite la dégradation de la matière organique par les microorganismes du sol et supprime certaines toxicités quand elles existent (ce qui permet une meilleure exploration racinaire de la culture).

- **La canne**

Après trois années d'épandage de lisier de bovin sur deux types de sol cultivé en canne à sucre, nous avons pu constater le pouvoir fertilisant intéressant ainsi que l'innocuité des lisiers de bovin lorsqu'ils sont utilisés comme fertilisants sur un sol cultivé. L'utilisation du lisier de bovin permet d'obtenir des rendements de l'ordre de 90 t/ha et des richesses comparables à ce qui est habituellement obtenus avec une fertilisation classique à base d'engrais (autour de 14 %).

*Limites et perspectives*

Ces résultats ont été obtenus après trois années de suivi au champ. Ces trois années ont permis uniquement d'observer les effets à court terme de l'utilisation de lisiers de bovin sur un sol cultivé en canne à sucre.

Les conclusions émises ici doivent donc être relativisées car nous ne disposons pas de suffisamment de recul (et de suffisamment de répétitions) pour conclure sur les effets (bénéfiques ou non) de l'apport de lisier de bovin sur un sol cultivé en canne à sucre.

La poursuite de cet essai sur une durée plus importante (au minimum un cycle de canne, c'est à dire environ 7 ans) permettrait de contrôler si les tendances qui ont été décrites lors de ces trois années se vérifient. L'analyse des couches de sol plus profondes et des exportations des éléments nutritifs par la canne permettrait aussi de mieux appréhender les effets agronomiques et environnementaux d'un apport de lisier sur un sol cultivé. Nous serons alors en mesure d'évaluer les effets économiques, agronomiques, et environnementaux d'apports réguliers de lisiers sur un sol cultivé en canne à sucre.

Enfin, nous avons uniquement étudié l'effet d'un lisier de bovin sur deux types de sol, il est donc difficile de généraliser les résultats obtenus pour les différents types de sols cultivés de l'île de La Réunion (sol ferrallitique, sol brun ferruginisé, sol brun, sol brun andique, andosol non perhydraté, andosol perhydraté, etc.).

# Références bibliographiques

CERF (Centre d'étude, de recherche, et de formation), 1990. Les variétés de cannes réunionnaises cultivées en 1990. Fiche R570.

Duchaufour Ph., 1988. Abrégé de pédologie. Masson. 2e édition. 224 p.

Genermont S., Morvan T., Paillat J.-M., Flura D. et Saint-Macary H, 2002. Volatilisation d'ammoniac après épandage de lisier en conditions tropicales. Cas des prairies d'altitude et de la canne à sucre à l'île de la Réunion. Restitution des travaux de l'ATP 99/60. Actes du séminaire, 19-20 juin 2002, Montpellier, France. Cirad, colloques, cédérom.

Chabalier P.-F., Saint-Macary H., et Van de Kerchove V., 2006. Guide de la fertilisation organique à La Réunion MVAD-CIRAD. 325 p.

Hainzelin E. et Lethève H.C., 2002. Les cultures sucrières - la canne à sucre. In : « mémento de l'agronome », p. 1109-1122. CIRAD – GRET, ministère des affaires étrangères. 1689 p.

Institut de l'élevage, Institut technique des céréales et des fourrages (ITCF), Institut technique de l'aviculture (ITAVI), Institut technique du porc (ITP). Bodet J.M. (ITCF), Hacala S. (Institut de l'élevage), Aubert C. (ITAVI), et Texier C. (ITP), 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme, 104 p.

MVAD, 2006. Site Internet : http://www.mvad-reunion.org

Raunet M., 1991. Le milieu physique et les sols de l'île de La Réunion ; conséquences pour la mise en valeur agricole. CIRAD, 515 p.

Whalen J.T., Chi Chang, Clayton G.W., et Carefoot J.P., 2000. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 64 : 962-966.

## Liste des tableaux

**Tableau 1 :** déroulement de l'essai de 2003 à 2005 (pour les trois sites)

**Tableau 2 :** préconisation de fertilisation pour la canne à sucre sur les trois sites

**Tableau 3 :** caractéristiques agronomiques des lisiers épandus

**Tableau 4 :** quantité d'éléments apportée par les lisiers

**Tableau 5 :** types et quantités d'engrais apportées sur les parcelles « engrais »

**Tableau 6 :** types et quantités d'engrais apportées en complément sur les parcelles « lisier »

**Tableau 7 :** fertilisation sur le site A de Saint-Joseph

**Tableau 8 :** fertilisation sur le site B de Saint-Joseph

**Tableau 9 :** fertilisation sur le site du Tampon

**Tableau 10 :** rendement (t/ha) détaillé pour chaque sous-parcelle et pour chaque site

**Tableau 11 :** richesse en sucre détaillée pour chaque sous-parcelle et pour chaque site

## Liste des figures

**Figure 1 :** localisation des trois sites d'étude

**Figure 2 :** plan des trois parcelles expérimentales

**Figure 3 :** pluies mensuelles (novembre 2002 à octobre 2004) sur la station météo du Tampon

**Figure 4 :** pluies mensuelles (novembre 2002 à novembre 2005) sur la station météo des Lianes (Saint-Joseph)

**Figure 5 :** évolution du pH du sol sur les trois sites

**Figure 6 :** évolution des teneurs en phosphore du sol sur les trois sites

**Figure 7 :** évolution des teneurs en azote total du sol sur les trois sites

**Figure 8 :** évolution des teneurs en matière organique (MO) du sol sur les trois sites

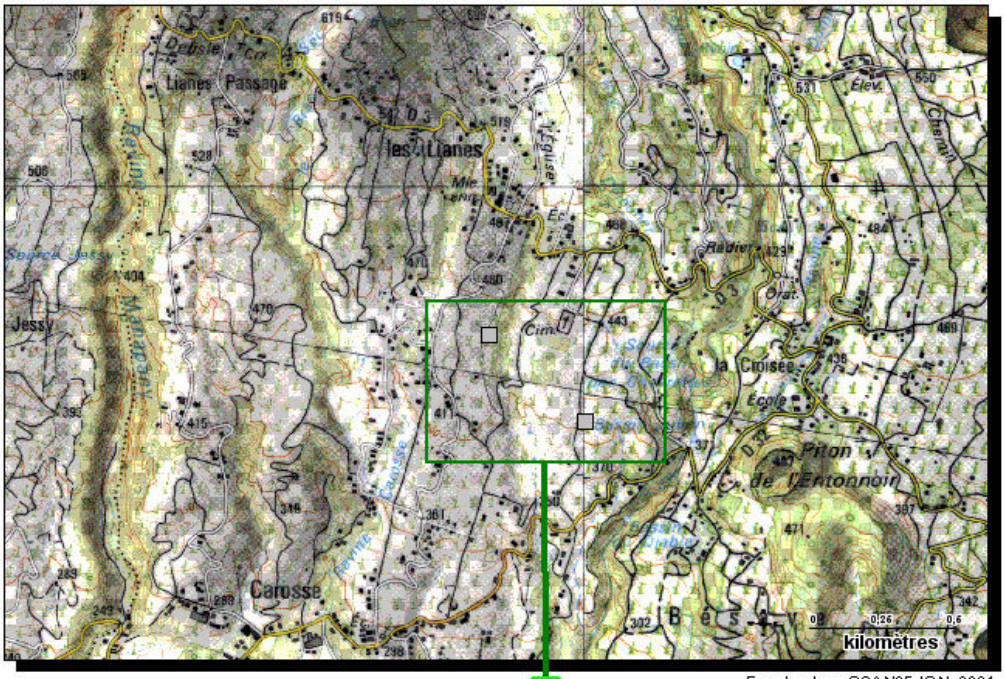
**Figure 9 :** rendement des quatre parcelles pour les coupes d'août 2004 et de septembre 2005

**Figure 10 :** richesse de la canne à sucre des quatre parcelles pour les coupes d'août 2004 et de septembre 2005

# ANNEXE N°1

## LOCALISATION DES PARCELLES D'ESSAI

**Essai "Lisiers de bovins sur canne à sucre"**
**à St Joseph (Les Lianes et Carosse)**

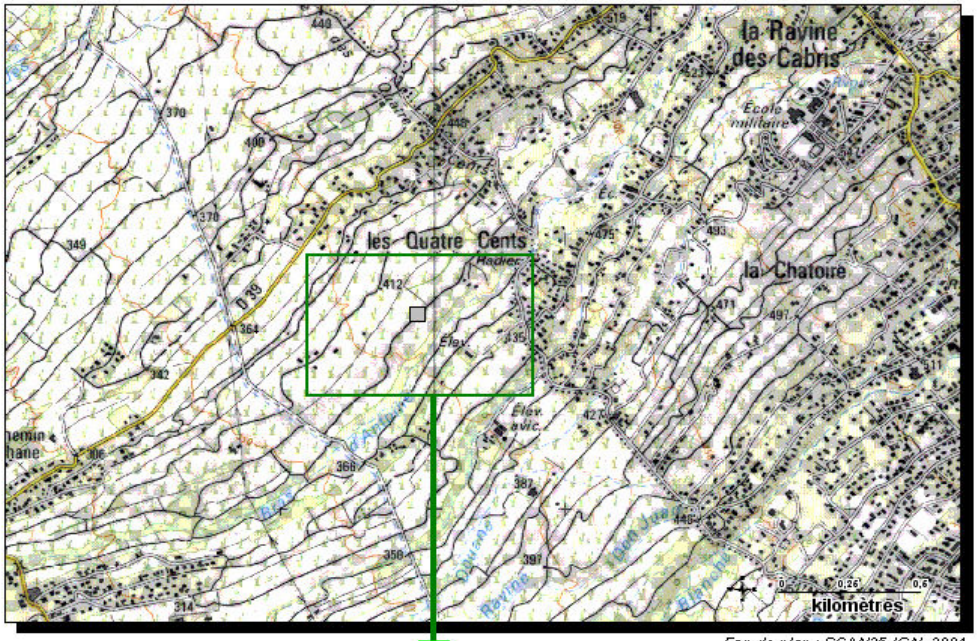



*Fon de plan : SCAN25 IGN, 2001*

*Fon de plan : Orthophotoplan, IGN, 1997*

## LOCALISATION DES PARCELLES D'ESSAI

**Essai "Lisiers de bovins sur canne à sucre"**
**à St Pierre (Ligne des 400)**




*Fon de plan : SCAN25 IGN, 2001*

*Fon de plan : Orthophotoplan, IGN, 1997*

# ANNEXE N°2

Évolution des caractéristiques agronomiques du sol du site A de Saint-Joseph de 2002 à 2005 (e : parcelle engrais ; lisier : parcelle lisier)

| | 2002 | | | | 2003 | | | | 2004 | | | | 2005 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1(e) | 2(e) | 3(e) | 4(e) | **1(lisier)** | 2(e) | **3(lisier)** | 4(e) | **1(lisier)** | 2(e) | **3(lisier)** | 4(e) | **1(lisier)** | 2(e) | **3(lisier)** | 4(e) |
| pH eau | 5,3 | 5,3 | 5,1 | 5,2 | **5,4** | 5,2 | **5,3** | 5,0 | **5,6** | 5,3 | **5,5** | 5,1 | **5,8** | 5,5 | **5,4** | 4,9 |
| CEC (méq/100g) | 6,8 | 4,8 | 2,9 | 3,1 | **4,4** | 4,7 | **3,7** | 2,8 | **4,8** | 3,8 | **3,8** | 2,4 | **5,41** | 6,38 | **5,73** | 2,35 |
| K ‰ | 0,19 | 0,09 | 0,06 | 0,07 | **0,10** | 0,09 | **0,06** | 0,05 | **0,11** | 0,13 | **0,13** | 0,07 | **0,35** | 0,38 | **0,22** | 0,04 |
| Mg ‰ | 0,31 | 0,10 | 0,05 | 0,09 | **0,11** | 0,09 | **0,08** | 0,06 | **0,15** | 0,10 | **0,11** | 0,04 | **0,17** | 0,15 | **0,11** | 0,02 |
| Ca ‰ | 0,55 | 0,25 | 0,10 | 0,12 | **0,21** | 0,24 | **0,15** | 0,09 | **0,28** | 0,20 | **0,20** | 0,06 | **0,09** | 0,08 | **0,10** | 0,04 |
| Na ‰ | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | **0,02** | 0,01 | **0,02** | 0,01 | **0,02** | 0,01 | **0,02** | 0,01 | **0,02** | 0,02 | **0,02** | 0,01 |
| $P_{ass,}$ mg/kg | 61 | 75 | 80 | 82 | **90** | 84 | **116** | 115 | **90** | 104 | **108** | 112 | **57** | 89 | **126** | 78 |
| M,O, % | 7,8 | 6,8 | 7,5 | 6,0 | **9,5** | 10,0 | **10,5** | 9,2 | **10,6** | 10,3 | **11,5** | 8,8 | **9,1** | 11,2 | **10,4** | 7,4 |
| $N_{tot}$ ‰ | 4,4 | 4,6 | 4,2 | 3,8 | **4,3** | 4,5 | **4,7** | 3,9 | **4,3** | 4,2 | **4,4** | 3,4 | **3,7** | 4,7 | **4,4** | 3,0 |
| C/N | 10,3 | 13,7 | 10,3 | 9,2 | **12,9** | 12,9 | **12,9** | 13,8 | **14,1** | 14,2 | **14,1** | 15,1 | **14,1** | 13,8 | **13,7** | 14,2 |

Évolution des caractéristiques agronomiques du sol du site B de Saint-Joseph de 2002 à 2005 (e : parcelle engrais ; lisier : parcelle lisier)

| | 2002 | | | | 2003 | | | | 2004 | | | | 2005 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1(e) | 2(e) | 3(e) | 4(e) | **1(lisier)** | 2(e) | **3(lisier)** | 4(e) | **1(lisier)** | 2(e) | **3(lisier)** | 4(e) | **1(lisier)** | 2(e) | **3(lisier)** | 4(e) |
| pH eau | 5,2 | 5,3 | 5,2 | 5,3 | **5,3** | 5,2 | **5,2** | 5,2 | **5,3** | 5,2 | **5,4** | 5,3 | **5,5** | 5,2 | **5,4** | 5,1 |
| CEC (méq/100g) | 4,5 | 4,9 | 4,6 | 4,8 | **4,6** | 4,1 | **5,0** | 4,5 | **5,1** | 4,8 | **6,4** | 4,3 | **5,7** | 4,0 | **5,9** | 4,8 |
| Ca ‰ | 0,14 | 0,15 | 0,19 | 0,16 | **0,21** | 0,11 | **0,17** | 0,13 | **0,26** | 0,12 | **0,31** | 0,16 | **0,36** | 0,12 | **0,28** | 0,11 |
| Mg ‰ | 0,09 | 0,10 | 0,09 | 0,10 | **0,14** | 0,08 | **0,12** | 0,08 | **0,15** | 0,12 | **0,18** | 0,11 | **0,17** | 0,10 | **0,15** | 0,07 |
| K ‰ | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | **0,09** | 0,08 | **0,09** | 0,08 | **0,14** | 0,07 | **0,16** | 0,06 | **0,10** | 0,04 | **0,11** | 0,06 |
| Na ‰ | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | **0,03** | 0,02 | **0,03** | 0,03 | **0,03** | 0,03 | **0,03** | 0,03 | **0,02** | 0,03 | **0,03** | 0,02 |
| $P_{ass,}$ mg/kg | 101 | 100 | 157 | 109 | **129** | 137 | **191** | 156 | **166** | 132 | **235** | 179 | **189** | 162 | **221** | 194 |
| M,O, % | 6,5 | 6,5 | 7,8 | 7,8 | **8,5** | 8,4 | **9,4** | 10,1 | **10,0** | 8,7 | **10,1** | 10,6 | **9,3** | 8,3 | **9,7** | 10,3 |
| $N_{tot}$ ‰ | 4 | 3,8 | 4,8 | 4,4 | **3,8** | 3,9 | **4,3** | 4,5 | **4,4** | 3,8 | **4,5** | 4,5 | **4,1** | 3,7 | **4,4** | 4,5 |
| C/N | 9,5 | 9,9 | 9,5 | 10,2 | **13,0** | 12,6 | **12,7** | 13,0 | **13,3** | 13,4 | **13,1** | 13,5 | **13,1** | 13,1 | **12,8** | 13,3 |

Évolution des caractéristiques agronomiques du sol du site du Tampon de 2002 à 2004 (e : parcelle engrais ; lisier : parcelle lisier)

| | 2002 | | | | 2003 | | | | 2004 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1(e) | 2(e) | 3(e) | 4(e) | **1(lisier)** | 2(e) | 3 (e) | **4(lisier)** | **1(lisier)** | 2(e) | 3 (e) | **4(lisier)** |
| pH eau | 5,9 | 5 | 5,7 | 5,9 | **5,9** | 5,6 | 5,8 | **6,1** | **6** | 5,5 | 5,8 | **6** |
| CEC (méq/100g) | 16,5 | 11,2 | 20,9 | 19,7 | **13,4** | 15,7 | 17,8 | **21** | **13,2** | 12,5 | 16,7 | **19,9** |
| Ca ‰ | 2,14 | 1,19 | 2,80 | 2,64 | **1,60** | 2,12 | 2,36 | **2,62** | **1,59** | 1,51 | 2,18 | **2,56** |
| Mg ‰ | 0,28 | 0,20 | 0,41 | 0,40 | **0,32** | 0,31 | 0,36 | **0,47** | **0,33** | 0,23 | 0,37 | **0,42** |
| K ‰ | 0,34 | 0,60 | 0,33 | 0,60 | **0,53** | 0,50 | 0,57 | **0,78** | **0,62** | 0,48 | 0,47 | **0,92** |
| Na ‰ | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,04 | **0,04** | 0,03 | 0,03 | **0,04** | **0,04** | 0,03 | 0,03 | **0,07** |
| $P_{ass,}$ mg/kg | 457 | 518 | 242 | 201 | **728** | 475 | 264 | **375** | **667** | 668 | 358 | **373** |
| M,O, % | 14,1 | 13,2 | 14,2 | 13,5 | **16,3** | 15,6 | 16,0 | **16,1** | **17,4** | 16,0 | 16,2 | **17,2** |
| $N_{tot}$ ‰ | 8,6 | 9,1 | 9,3 | 8,4 | **8,4** | 8,0 | 8,4 | **8,7** | **8,4** | 8,5 | 8,8 | **9,1** |
| C/N | 9,5 | 8,4 | 8,8 | 9,2 | **11,2** | 11,2 | 11,1 | **10,7** | **11,9** | 10,9 | 10,7 | **11,0** |