



Protocole expérimental

eRcane

29 rue d'Emmerez de Charmoy

B.P. 315

97494 Sainte-Clotilde Cedex

Table des matières

Liste des tableaux	- 2 -
Table des illustrations.....	- 2 -
Introduction	- 3 -
1. Description générale.....	- 3 -
1.1 Contexte	- 3 -
1.2 Objectif général de l'essai	- 4 -
1.3 Questions posées	- 4 -
2. Facteurs d'étude, modalités et traitements	- 4 -
2.1 Les modalités témoin	- 4 -
2.2 Les modalités minérales	- 5 -
2.3 Les modalités organiques	- 5 -
2.5 Objectif des modalités minérales	- 7 -
2.6 Objectif des modalités organiques	- 7 -
3. Durée du projet.....	- 7 -
4. Sites d'essai	- 7 -
5. Calcul des doses	- 8 -
3.1 Plantation et repousse.....	- 9 -
6. Apport de fertilisation complémentaire.....	- 10 -
4.1 Complémentation en N.....	- 10 -
4.2 Autres complémentations des modalités organiques.....	- 10 -
7. Provenance des mafor	- 10 -
8. Dispositif	- 11 -
9. Protocole expérimental.....	- 12 -
8.1 Matériel	- 12 -
8.2 Itinéraire technique.....	- 12 -
8.2.1 Préparation du sol.....	- 12 -
8.2.2 Correction du pH – Apport de calcium	- 12 -
8.2.3 Fumure organique (MO3)	- 13 -
8.2.4 Plantation de la canne.....	- 14 -
8.2.5 Fumure minérale	- 14 -
8.2.6 Entretien	- 16 -
8.2.7 Récolte.....	- 17 -
8.2.8 Gestion du paillis (MO8).....	- 17 -
8.3 Analyses	- 17 -
8.4 Observations.....	- 18 -
Annexe 1 : Observations / Suivi des parcelles	- 20 -

Annexe 2 : Description de la parcelle - 21 -

Liste des tableaux

Tableau 1 : Traitements mis en place pour le projet TERO - 5 -
Tableau 2 : Présentation des sites d'essais - 7 -

Table des illustrations

Figure 1 : Construction des CAU et CE-N par la méthode de la courbe de réponse
(CASDAR Réseau PRO, 2012)..... - 7 -
Figure 2 : Illustration d'un bulletin Serdaf® - 9 -

Introduction

Ce document présente le principe, les objectifs et le protocole mis en place pour la réalisation du Projet TERO, étude concernant la valorisation de plusieurs matières fertilisantes d'origine résiduaire (mafor) à La Réunion. Cette étude porte uniquement sur l'efficacité agronomique pour l'azote sur une culture de canne à sucre.

Dans ce document est cité le terme de mafor pour désigner les résidus organiques, terme récemment adopté (2015). Il a remplacé l'acronyme PRO (produit résiduaire organique), lui-même ayant substitué le mot MOex (matière organique exogène). Pour cela, certains passages du document peuvent évoquer le mot PRO.

1. Description générale

1.1 Contexte

Culture occupant 58 % de la surface agricole utile (SAU) réunionnaise, la canne à sucre est traditionnellement fertilisée avec des engrais minéraux, créant une dépendance aux importations. Dans certains cas, une fertilisation mixte de la canne à sucre est parfois pratiquée par les agriculteurs, le plus souvent avec du lisier de porcs ou des écumes de sucrerie.

L'île est désormais confrontée à plusieurs enjeux autour de la gestion des résidus organiques :

- une croissance démographique importante qui engendre une augmentation de la production de boues d'épuration urbaines accompagnée d'une mise aux normes des installations d'épuration ;
- une croissance des élevages, induisant la production de plus grandes quantités d'effluents agricoles ;
- un mitage agricole ;
- un cadre réglementaire strict de l'épandage des matières organiques ;
- un enjeu environnemental ;
- une raréfaction des engrais minéraux à moyen-long terme et une augmentation de leurs coûts.

Les matières organiques représenteraient donc une alternative intéressante pour la fertilisation de la canne. Cependant, la valorisation de ces engrais organiques par la canne est encore méconnue de même que leur comportement en milieu tropical. Le devenir des éléments fertilisants des mafor (azote, phosphore, potassium, autres...) est à l'heure actuelle peu référencé sur le long terme.

Pour ces raisons, un réseau d'essais, le projet TERO, est mis en place sur l'île afin de définir l'intérêt agronomique de la valorisation des mafor en canne à sucre. L'objectif est de produire un conseil technique aux planteurs pour optimiser leur gestion de la fertilisation organique à long terme.

1.2 Objectif général de l'essai

Celui-ci est de connaître l'efficacité azotée de plusieurs mafor sur la culture de canne à sucre en :

- estimant leurs coefficients apparents d'utilisation (CAU) et leurs coefficients d'équivalence engrais azoté (CE-N) ;
- différenciant leurs effets fertilisants directs et arrières-effets (effet résiduel et effet de cumul) sur la canne ;
- vérifiant l'état nutritionnel de la canne, reflet de la concordance entre la disponibilité de l'azote et les besoins de la canne à sucre par des prélèvements foliaires à 6, 8 et 10 mois.

1.3 Questions posées

- quelle est la valeur du CAU et CE-N des mafor étudiées pour les années en plantation (vierge) et sur plusieurs repousses ?
- quelle est la part respective des effets directs et arrières-effets, pour les mafor testées, dans la fertilisation de la canne ?
- quel est l'impact des conditions pédoclimatiques sur les CAU et les CE-N des mafor étudiés ?
- comment inclure les effets directs et les arrières effets d'une fertilisation organique sur la canne à sucre dans un conseil de fertilisation pour le planteur ?

2. Facteurs d'étude, modalités et traitements

Les facteurs d'étude sont les matières organiques, la dose et la fréquence d'apport. Pour ces facteurs sont définis plusieurs modalités témoin (0 azote et minérales) et plusieurs modalités organiques. Selon le site, il a été défini un nombre variable de traitements.

Les modalités prévoient l'étude de l'effet fertilisant de huit matières organiques exogènes :

- les écumes de sucrerie ;
- le lisier de porcs ;
- le fumier de volailles ;
- l'engrais organique de Camp Pierrot (co-compost de fumier de volailles, de fientes de volailles et de phase solide de lisier de porcs) ;
- les boues de station d'épuration sous forme de pellets ;
- le compost de déchets verts ;
- les fientes de poules pondeuses granulées chaulées ;
- les digestats de méthanisation de vinasse de distillerie.

Il sera aussi pris en compte un éventuel effet « paille de canne ».

L'ensemble des modalités sont détaillées dans le Tableau 1.

2.1 Les modalités témoin

Compte tenu de la conduite de culture restituant annuellement un paillis important, les fournitures d'azote par le sol seront mesurées sur un témoin sans paillis (0 Xsp) (évacuation du paillis après la récolte précédente). Les restitutions faites par le paillis et le sol sur un témoin avec paillis (0 Xp).

2.2 Les modalités minérales

A partir d'une dose X d'azote (voir ci-dessous pour son calcul), quatre traitements azote minéral sont proposés : 0,5 X - 0,75 X - 0,9 X - 1,5 X. La dose 0,9 X fait l'objet de deux traitements : l'un sans paillis et l'autre avec paillis afin de pouvoir alterner chaque année avec les traitements témoin 0 avec ou sans paillis.

Ainsi les cinq modalités témoin et minérales sans paillis, pour le premier cycle et avec paillis pour le second¹ : 0 - 0,5 X - 0,75 X - 0,9 X - 1,5 X serviront à élaborer une courbe de réponse à l'azote ;

- la dose X est fixée à la plantation à partir de l'analyse de sol moyenne de l'ensemble des échantillons de surface (0-15 cm). Elle est fournie par Serdaf® pour chaque année du cycle (vierge, repousse 1, repousse 2,...). Le rendement espéré est déterminé pour chaque site ainsi que le système d'irrigation, le type de coupe, le mode de chargement et un export total des pailles. En cas d'incohérence entre rendement espéré et rendement obtenu, une simulation en conséquence pourra être effectuée pour obtenir de nouveaux besoins plus cohérent.

2.3 Les modalités organiques

- **modalité 1** : une première dose correspondant à 75 % des besoins annuels en azote de la canne à sucre. La fréquence d'apport est variable en fonction de la nature de la mafor considérée (tous les ans ou tous les deux ans ou tous les trois ans).
- **modalité 2** : une deuxième-dose correspondant à 50 % des besoins annuels en azote avec la même fréquence d'apport que la modalité 1 ;
- **modalité 3** : une troisième dose définie la première année de l'essai apportée annuellement. Cette dose correspond à 75 % des besoins azotés pour la première année.

Tableau 1 : Traitements mis en place pour le projet TERO

Nature	Abréviation	Intitulé	Remarque
MINERAL	0 Xsp	Témoin 0 azote sans paille	Tournant 1 année sur 2 avec 0,9 Xsp
	0,9 Xsp	Témoin 90 % de la dose X en azote sans paille	Tournant 1 année sur 2 avec 0 Xsp
	0,5 X	50 % de la dose X en azote	Tournant 1 année sur 2 avec 0,75 X
	0,75 X	75 % de la dose X en azote	Tournant 1 année sur 2 avec 0,5 X
	1,5 X	150 % de la dose X en azote	Fixe
	0 Xp	Témoin Zéro azote avec paillis	Tournant 1 année sur 2 avec 0,9 Xp

¹ L'ensemble des traitements minéraux et organiques sont conduits sans paillis au cours du premier cycle de culture (7 ans, voir ci-après). Durant le premier cycle, seuls les traitements 0 Xp et les traitements 0,9 Xp avec paillis conservent le paillis d'une année sur l'autre. Le second cycle de culture sera conduit avec paillis et seuls un traitement 0 Xsp et un traitement 0,9 Xsp seront conduits sans paillis. Cela permet de s'abstraire, uniquement pour le premier cycle, de l'interaction probable PRO – paillis, qui fait l'objet d'une thèse de doctorat au Cirad Réunion (UR Recyclages et Risques). Le second cycle de culture réintègrera le paillis pour se rapprocher de la pratique des planteurs.

	0,9 Xp	Témoin 90 % de la dose X en azote avec paillis	Tournant 1 année sur 2 avec 0 Xp
ORGANIQUE	Ecum1	Ecumes de sucrerie à la dose A apportées une année sur trois	
	Ecum2	Ecumes de sucrerie à la dose A/2 apportées une année sur trois	
	Ecum3	Ecumes de sucrerie à la dose B constante apportées tous les ans	
	CDV1	Compost de déchets verts à la dose C apporté une année sur trois	
	CDV2	Compost de déchets verts à la dose C/2 apporté une année sur trois	
	CDV3	Compost de déchets verts à la dose D constante apporté tous les ans	
	BS1	Boues de STEP à la dose E apportées une année sur deux	
	BS2	Boues de STEP à la dose E/2 apportées une année sur deux	
	BS3	Boues de STEP à la dose F constante apportées tous les ans	
	CP1	Engrais organique de Camp Pierrot à la dose G apporté une année sur deux	
	CP2	Engrais organique de Camp Pierrot à la dose G/2 apporté une année sur deux	
	CP3	Engrais organique de Camp Pierrot à la dose H constante apporté tous les ans	
	LV1	Litière de volailles à la dose J apporté une année sur deux	
	LV2	Litière de volailles à la dose J/2 apporté une année sur deux	
	LV3	Litière de volailles à la dose K constante apporté tous les ans	
	LP1	Lisier de porcs à la dose L apporté tous les ans	
	LP2	Lisier de porcs à la dose L/2 apporté tous les ans	
	FPG1	Fientes de poules pondeuses granulées à la dose M apporté tous les ans	
	FPG2	Fientes de poules pondeuses à la dose M/2 apporté tous les ans	
	DM1	Digestats de méthanisation à la dose N apporté une année sur deux	
	DM2	Digestats de méthanisation à la dose N/2 apporté une année sur deux	
	DM3	Digestats de méthanisation à la dose O constante apporté tous les ans	

Cela porte à 29 le nombre de traitements potentiels sur une parcelle d'essai soit sept témoins zéro azote et minéraux et 22 traitements organiques. Le nombre de traitements mis en place sur un site donné est déterminé au cas par cas au moment de l'installation de celui-ci.

2.5 Objectif des modalités minérales

Les modalités minérales sont présentes afin de construire une courbe de réponse. Cette courbe de réponse est la base de calcul des CAU et CE-N sur le principe expliqué sur la Figure 1. (CASDAR Réseau PRO, 2012). Cette courbe permet aussi de déterminer les CAU de l'engrais minéral (CAU_{min}).

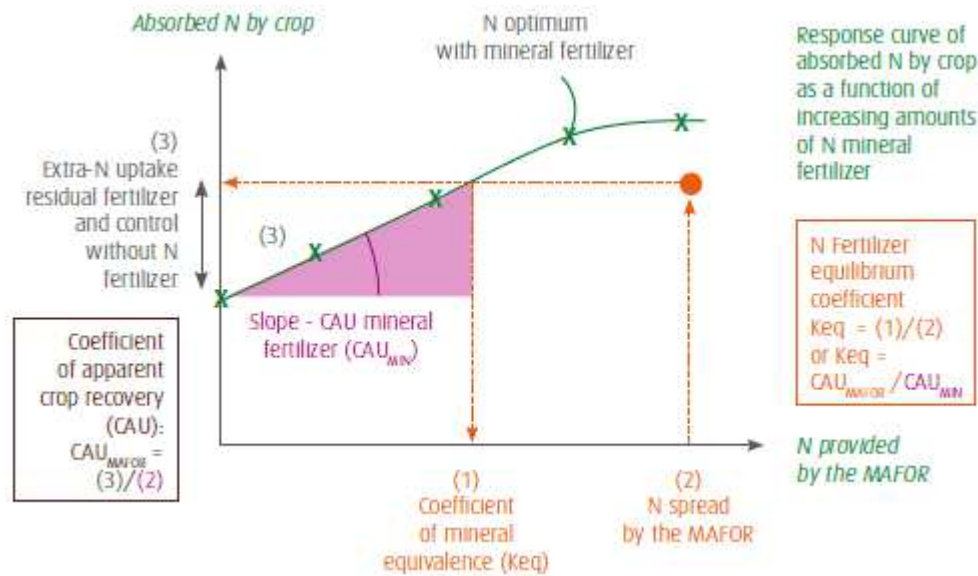


Figure 1 : Construction des CAU et CE-N par la méthode de la courbe de réponse (CASDAR Réseau PRO, 2012)

Les CE-N permettent d'exprimer la valeur fertilisante d'une matière organique par rapport à un engrais minéral de référence. Ainsi il intervient dans le calcul de la fertilisation.

2.6 Objectif des modalités organiques

Les modalités 1 et 2 permettent l'étude de l'effet direct azoté des mafor en année 1 et des effets résiduels de l'apport des PRO en année 2 et 3 le cas échéant.

La modalité organique 3 est apportée tous les ans. Elle permet l'observation d'un effet cumulatif. **La dose calculée en début d'essai est fixe pour toute la durée de l'essai.**

3. Durée du projet

Le projet est prévu pour être en place pendant 14 ans scindés en deux cycles de culture de 7 ans chacun.

Les cycles sont notés C et les années R avec R0 pour l'année de plantation. Ainsi C1R0 correspond à l'année de plantation du cycle 1 et C1R1 la première année de repousse du même cycle.

4. Sites d'essai

Le projet TERO est constitué de quatre parcelles d'essai :

Tableau 2 : Présentation des sites d'essais

Site	Lieu	Altitude (m)	Sol	Variété	Régime hydrique	Surface PE (m ²)	Rendement potentiel (t·ha ⁻¹)	Exploitant
P13	La Mare, Sainte-Marie	65	Ferralitique	R582	Irrigation par aspersion	84	130	eRcane
CFPPA	Piton Saint-Leu	560	Brun andique	R579	Irrigation par aspersion	82,5	80	EPL Saint-Paul
EST	Chemin de ceinture, Saint-Benoit	330	Andique	R585	Pluvial	84	100	M Jérôme Prébé
SUD	Bellevue, Saint-Louis	190	Brun	R584	Irrigation par aspersion	84		M Désiré Maillot

Chaque site d'expérimentation fera l'objet d'une description détaillée (climat régional, topographie, géologie, analyse de sol, historique parcellaire, éléments notables,...) (Annexe 6). L'essai ne pourra être mis en place que sur une parcelle où le dernier apport organique ou retournement de prairie date de plus de sept ans à son implantation.

5. Calcul des doses

Déterminés par l'analyse de sol initiale, les besoins en plantation et en repousse diffèrent. Ces besoins, exprimés en kilogramme par hectare de N, P₂O₅ et K₂O, sont issus du conseil produit par Serdaf® (Cirad, plateforme Margouill@.net) sur la base d'une analyse de sol de la parcelle. Ils servent aux calculs des doses d'engrais minéraux et organiques.

Les besoins de la culture sont obtenus avec l'analyse de sol de l'année N-1. L'analyse de sol concernant l'année N n'étant pas disponible au moment des apports (délai trop court pour le laboratoire). Les besoins considéré sont ceux pour l'année N. En effet Serdaf® propose un conseil, pour l'ensemble du cycle. Par exemple, si l'on se retrouve en repousse 2, les besoins sont définis par l'analyse de la repousse 1 mais conseiller pour la repousse 2 du bulletin de Serdaf® (Figure ci-dessous).

Formule

Attention : si on vous conseille un apport d'urée et de TSP, évitez de les mélanger. Apportez TSP et KCL au plus tôt puis l'urée 1 ou 2 mois après.

Vierge : Les apports en N-P-K souhaités sont de 165 - 254 - 393 kg/ha.

Utilisez les formules suivantes conjointement:

dap : 550 kg/ha

uree 46 : 140 kg/ha

kcl : 650 kg/ha

Repousse 1 : Les apports en N-P-K souhaités sont de 220 - 154 - 433 kg/ha.

Choisissez parmi les formules suivantes:

13-8-24 : 1690 kg/ha

Repousse 2 : Les apports en N-P-K souhaités sont de 220 - 154 - 433 kg/ha.

Choisissez parmi les formules suivantes:

13-8-24 : 1690 kg/ha

Repousse 3 : Les apports en N-P-K souhaités sont de 220 - 154 - 433 kg/ha.

Choisissez parmi les formules suivantes:

13-8-24 : 1690 kg/ha

Repousse 4 : Les apports en N-P-K souhaités sont de 220 - 154 - 433 kg/ha.

Choisissez parmi les formules suivantes:

13-8-24 : 1690 kg/ha

Figure 2 : Illustration d'un bulletin Serdaf®

3.1 Plantation et repousse

Pour les années R0 et R1, les doses sont calculées à partir des besoins fournis d'une **analyse moyenne** de la parcelle d'essai pour l'horizon de sol prélevé 0-15 cm.

Les années suivantes, les doses (modalités minérales ou organiques) sont re-calculées par parcelle élémentaire (PE) par PE avec les analyses de l'année précédente (en C1 : simulation en coupe mécanique canne longue et 100 % d'export de paille, en C2 : simulation en coupe mécanique canne longue et sans export de paille).

Par exemple : pour l'année C1R2, les besoins de Serdaf® utilisés correspondent aux besoins d'une repousse 2 mais calculés sur la base de l'analyse de l'échantillon de sol 0-15 cm prélevé en C1R1.

Il est nécessaire de s'assurer que la dose d'azote est homogène pour toutes les PE.
Précisément :

- **si il y a un nombre limité (4 ou 5) de PE avec un conseil différent des autres PE, alors appliquer le conseil le plus fréquent à toutes les parcelles ;**
- **si la répartition entre conseils différents est moins nette, faire une moyenne pondérée : $(n_{PE} \times \text{conseil } N^{\circ}1 + n_{PE} \times \text{conseil } N^{\circ}2 + \dots + n_{PE} \times \text{conseil } N^{\circ}x) / n_{\text{total PE}}$ avec n_{PE} le nombre de parcelle élémentaire concernées.**

Outre en R0 et R1, les apports de P et K pour les modalités minérales sont font PE par PE selon les indications de Serdaf®.

6. Apport de fertilisation complémentaire

4.1 Complémentation en N

Pour éviter des effets d'appauvrissement trop importants sur le long terme (14 ans), certains traitements seront tournants (Tableau 1) parmi les modalités minérales :

- 0 Xsp avec 0,9 Xsp
- 0 Xp avec 0,9 Xp
- 0,5 X avec 0,75 X.

Pour les traitements organiques ne recevant pas d'apport de mafor certaines années, une complémentation azotée peut être envisagée en fonction des résultats. Si un décrochage des performances de la culture est constaté, un apport de 50 % des besoins pourra se faire sous forme minéral.

4.2 Autres complémentations des modalités organiques

Tous les traitements organiques sont complémentés en P et en K si nécessaire. Ces apports phosphoriques et potassiques seront calculés à partir de la fourniture du sol (Serdaf®, analyse Cirad) et de la quantité de ces éléments contenue dans les mafor ainsi que leurs coefficients d'équivalence engrais (Guide de la fertilisation organique à La Réunion, 2006 ; autres sources). L'objectif est de ne pas rendre ces éléments limitant afin que la canne réponde correctement à la fertilisation azotée. Cette complémentation sera calculée après réception de l'analyse des mafor afin de connaître précisément les teneurs de chaque mafor en éléments P et K.

Il est à noter qu'une fertilisation organique basée uniquement sur la satisfaction des besoins de la canne à sucre en azote conduit parfois à une sur-fertilisation en phosphore, les mafor pouvant être riches en cet élément. Cette sur-fertilisation ne devrait pas poser de problèmes pour l'étude de l'azote. Le seul risque est une augmentation de la teneur en P des sols et des risques de pollution des eaux en cas d'érosion mais de façon micro-locale (Trochard R., 2014, communication personnelle). De plus ces parcelles peuvent intéresser d'autres travaux de recherche, focalisés sur le devenir du phosphore.

7. Provenance des mafor

Les mafor suivantes ont un seul producteur possible :

- écumes de sucrerie : sucrerie de Bois-rouge (Sainte-Suzanne) (Tereos) ;
- compost de déchets verts : station de compostage du Port (Le Port) (TCO) ;
- boues de station d'épuration granulées chaulées : station d'épuration de Grand-Prado (Sainte-Marie) (Véolia) ;
- engrais organique de Camp Pierrot : station de Grand-ilet (Salazie) (SAS Camp Pierrot) ;
- fientes de poules pondeuses granulées : usine de la plaine des cafres (Le Tampon) (Valavie) ;
- digestats de méthanisation de vinasses : distillerie de Beaufonds (Saint-Benoit) Distillerie Rivière du Mât).

Les deux mafor restantes sont approvisionnées avec le producteur le plus proche du site d'essai :

- lisier de porcs ;
- litière de volailles.

Pour un site donné, cet approvisionnement se fera toujours chez le même éleveur sauf cas de force majeure (désistement de l'éleveur, incompatibilité des calendriers essais-élevage,...).

Cette différence de traitement est motivée :

- pour certaines mafor, une production concentrée sur un ou deux sites donc centralisée ;
- et d'autres, une présence plus diffuse sur le territoire.

Lorsqu'une seule source de mafor est sollicitée pour plusieurs parcelles d'essai, un effet « site » pourra être identifié.

Les résultats obtenus pour le lisier de porcs et le fumier de volailles n'auront qu'une valeur locale et évalueront la variabilité des coefficients pour un type de produit organique pour plusieurs lieux de production.

8. Dispositif

Deux cycles successifs de canne à sucre d'une durée unitaire de sept ans sont prévus. Le délai de réponse des matières organiques justifient ces deux cycles. La durée retenue pour un cycle est celle préconisée à La Réunion pour le renouvellement des souches.

La canne est récoltée à maturité aux alentours de 12 mois de culture. Pour des raisons techniques et d'organisation, les dates de coupe pour chacun des sites ne pourront être proches. Ceci aura pour conséquence un effet saison dont il faudra tenir compte dans l'analyse des résultats.

Chacun des sites comprend 3 blocs avec au maximum 24 traitements. Les blocs constituent les répétitions nécessaires à l'analyse statistique des résultats.

Les blocs sont disposés par les teneurs croissantes d'azote dans le sol. Ainsi, le premier bloc comporte les PEs à faible teneur en N, les secondes à moyenne teneur et le troisième à fortes teneurs. Ce choix est justifié par :

- la forte hétérogénéité des sols réunionnais impliquant bien souvent de nombreux gradient dont il est impossible de tenir compte dans leur totalité ;
- par les délais de réponses du laboratoire dont la capacité de traitements des échantillons est inférieure aux impératifs d'installation ;
- l'étude étant portée sur l'azote, il a été décidé d'établir les blocs ainsi en demandant au laboratoire de prioriser les analyses d'azote.

Dans chaque bloc, les traitements sont disposées au hasard mais de sorte que deux d'entre eux mitoyens sur le premier bloc ne se retrouvent pas côte à côte sur les deux autres blocs².

La surface des PEs dépend des contraintes techniques. Elles feront au minimum 75 m². Les dimensions peuvent évoluer pour s'adapter au site expérimental. En fonction des possibilités de terrain, des allées plus ou moins larges sont mis en place pour faciliter la distinction entre PE et la circulation des agents. Non obligatoire, les bordures plantées en canne font entre 3 et 5 m de large. Cette largeur est modulable en fonction des disponibilités de l'espace. La surface totale d'une parcelle expérimentale est estimée à 1,2 – 1,5 ha.

² Référence méthode réseau PRO

9. Protocole expérimental

8.1 Matériel

L'équipement pour la préparation de sol en vue de la plantation est celui utilisé par l'exploitation où est implanté l'essai (son propre équipement ou celui d'un prestataire de service). Il sert aux opérations suivantes : labour, travail superficiel du sol, ouverture des sillons... Il peut être complété d'un réseau d'irrigation.

Ce matériel lourd, sera complété par du petit matériel d'expérimentation (Cf. Modes opératoires (MO)).

8.2 Itinéraire technique

8.2.1 Préparation du sol

La parcelle d'essai est implantée sur un précédent canne à sucre n'ayant reçu aucune fertilisation organique ou sur-fertilisation minérale au cours du cycle précédent.

Avant et après le travail du sol, les PEs (PE) seront piquetées afin de réaliser l'échantillonnage de sol de chacune d'elle (Cf. MO1).

Plusieurs passages de disques mi-lourds sont réalisés afin de dessoucher la culture précédente et de préparer le sol à une plantation. Cette intervention peut se faire avant ou après l'échantillonnage du sol.

Après l'épandage de la fumure organique (voir ci-dessous), un dernier passage de disques est réalisé pour enfouir la matière organique imitant le déport.

Si le sol est compacté, un passage de décompacteur est effectué au niveau des futurs sillons de canne ou sur l'ensemble de la parcelle.

Enfin, la parcelle sera sillonnée en vue de la plantation.

Ces différents passages d'outils seront entrecoupés de diverses opérations, qui nécessiteront chaque fois un piquetage des PE pour réaliser les épandages avec le plus de précision possible :

- un amendement calco-magnésien si nécessaire ;
- les mafor pour les traitements concernés.

8.2.2 Correction du pH – Apport de calcium

La correction du pH se fait selon les recommandations du laboratoire (Serdaf®).

Dans un premier temps, et dans la mesure où le bulletin Serdaf® est disponible en temps, il se fait à la plantation sur l'ensemble de la parcelle par rapport à l'analyse moyenne dans l'ensemble des PEs. Il est alors enfoui.

Il convient toutefois de surveiller l'équilibre calco-magnésien, possiblement perturbé par l'apport important de calcium pour certains traitements organiques. La gestion de l'amendement chaulant devra donc être évolutive en fonction de l'apparition ou non d'un déséquilibre. Cet amendement sera alors géré PE par PE en prenant en considération :

- le conseil de correction de Serdaf® ;

- la teneur en Ca de la matière organique considérée par la PE concernée ;
- les apports de Ca effectués avec le Physalg27® (Cf. §8.2.5 Fumure minérale).

Deux aspects concernent donc l'apport de calcium :

- la correction du pH (ci-dessous) pour laquelle un respect de la recommandation du laboratoire est réalisée PE par PE ;
- la compensation des exportations par la culture.

Ce dernier point vise à apporter le calcium, en plus et indépendamment de la correction du pH, pour limiter les exports hors de la PE. Ainsi, les doses sont calculée à partir de :

- l'estimation des exportations en fonction des objectifs de rendement (Pouzet et al., 1999. Evaluation des conseils en fertilisation pour les hauts rendements. Cirad et Chambre d'agriculture de La réunion). Dans cette étude, les besoins de calcium sont estimé à 36 kg·ha⁻¹;
- les apports effectués avec le Physalg27®.

8.2.3 Fumure organique (MO3)

A la plantation, les matières organiques sont épandues manuellement en surface. Elles sont réparties de manière homogène sur l'ensemble de la PE. Les mafor sont ensuite enfouies par un ou plusieurs passages de disques après retrait des piquets.

En repousse, les matières organiques sont épandues manuellement de façon homogène à la surface du sol lors du premier cycle de culture puis sur le paillis lors du second cycle de culture.

Au moment de l'épandage, les mafor sont échantillonnées (Cf. MO2). Si l'épandage s'étend sur plusieurs jours pour une même mafor, alors cette dernière sera échantillonnée pour chacun des jours.

Les résultats d'analyse des mafor pour l'année n servent aux calculs de doses pour l'année n+1. Pour la première année d'expérimentation, les valeurs utilisées pour le calcul de dose proviennent soit de la littérature, soit de bulletin d'analyse fournit par le producteur de la mafor considérée, soit d'analyse d'une expérimentation récente si le lieu de production de la mafor considérée est commun.

En considérant les informations précédentes, la dose pour l'année n+1 est gale à :

Dose_{mafor} = Bes N * C_{Bes} / (N_{mafor} * CE - N_{mafor}) avec :

- Bes N : besoin en azote déterminés par Serdaf® à partir de l'analyse moyenne des horizons 0-15 cm (kg/ha) en R0 et R1 puis résultats d'analyse de sol de l'année précédente PE par PE ;
- C_{Bes} : couverture des besoins comme déterminé par le protocole (Tableau 1) (%) ;
- N_{mafor} : teneur en azote de la mafor considérée en année n (kg/t de matière brute) ;
- CE - N_{mafor} : coefficient équivalent azote de la littérature.

Chaque matière organique est échantillonnée juste avant l'épandage pour connaître avec le plus de précision possible la composition d'azote des mafor réellement apportés et les compléments en P et K à apporter à la canne à sucre, le cas échéant.

8.2.4 Plantation de la canne

Après l'épandage des mafor et leur enfouissement, les sillons sont ouverts pour y disposer les boutures de canne à sucre. Les sillons font 15 à 20 centimètres de profondeur. Ils sont tracés dans le sens de la longueur de la parcelle ou de la pente voire des éléments topographiques particuliers (routes, ruisseaux, ravines...).

Les boutures, portions de tiges de canne de 3 bourgeons ou yeux, sont placées à plat dans le sillon, se chevauchant légèrement à raison de 15 yeux par mètre, soit environ 10 t de boutures par hectare. Cette quantité peut aussi être variable selon le contexte de l'essai (variété, écartement des sillons,...).

Avant la fermeture des sillons, une dose de 30 kg.ha⁻¹ de BETEL® (lutte biologique contre le ver blanc) est appliquée manuellement sur les boutures.

8.2.5 Fumure minérale

Les engrais minéraux sont appliqués manuellement dans le sillon à la plantation et en plein en repousse.

Traitements minéraux

Azote

L'azote minéral est apporté sous forme d'urée, forme azotée facilement disponible sur l'île. Cet apport est fractionné :

- avec 50 % de la dose apportée à la plantation ou dans le mois suivant la coupe en repousse ;
- et 50 % trois à quatre mois après plantation ou récolte.

Phosphore

La dose de phosphore est calculée à partir des besoins déterminés par l'analyse de sol effectuée avant la plantation pour R0 et R1. A partir de R2, les besoins sont considérés PE par PE avec les résultats de l'analyse de l'année précédente.

Le phosphore est apporté, principalement³, sous forme de Physalg27® en surface. A la plantation, il est apporté lors du second apport d'urée et en repousse au moment du premier apport d'urée. Attention, ce produit contient une teneur non-négligeable de calcium dont il faudra tenir compte.

Potassium

La dose de potassium est calculée à partir des besoins déterminée par l'analyse de sol effectuée avant la plantation pour R0 et R1. A partir de R2, les besoins sont considérés PE par PE avec les résultats de l'analyse de l'année précédente.

Le potassium est apporté, principalement³, sous la forme de chlorure de potassium (KCl). A la plantation, il est apporté lors du second apport d'urée et en repousse au moment du premier apport d'urée.

³ La forme de l'engrais peut varier en fonction des disponibilités du marché.

Calcium (Cf. §8.2.2 Correction du pH)

L'apport est réalisé sous forme de chaux magnésienne (CaO, MgO) enfoui à la plantation et en surface en repousse apporté au moment du second passage d'engrais.

Complémentation des traitements organiques

Les doses de mafor sont calculées pour compléter un certain niveau des besoins de la culture en azote (Cf. § 8.2.3 Fumure organique). En dehors de l'azote, elles apportent aussi les autres éléments en quantité variable qui dans certains cas nécessitent une complémentation minérale.

Ces complémentations sont dans la plupart des cas de figure calculées **PE par PE** sauf exceptions comme décrites dans les paragraphes suivants.

Azote

Au début de l'essai aucune complémentation azotée n'est programmée sur les modalités organiques. Selon le comportement de la culture sur certaines modalités où les apports ne se font pas annuellement, la décision pourra être prise d'apporter 50 % des besoins en azote sous forme minérale pour éviter les phénomènes d'appauvrissement du sol préjudiciables à l'essai. La dose d'urée apportée sera alors calculée sur la base des besoins obtenus à la PE et non pas sur un besoin moyen de l'ensemble de la parcelle d'essai.

Il sera manuellement au sillon sous forme d'urée.

Phosphore

Les doses complémentaires de phosphore sont calculées en fonction :

- des besoins de la canne **PE par PE** (excepté l'année de plantation où ce besoin est moyenné pour l'ensemble de la parcelle, et l'année en repousse 1) ;
- des teneurs dans les mafor associées à leurs coefficients d'équivalence engrais ;
- les apports organiques des années antérieures PE par PE.

Cet apport complémentaire est réalisé au moment du second apport d'urée concernant les modalités minérales lorsque l'analyse des mafor épandues est connue. Dans la mesure du possible, le phosphore est appliqué sous forme de Physalg27®. Attention ce produit contient une grande proportion de calcium dont il faudra tenir compte.

Si une modalité organique apporte davantage de phosphore que les besoins de l'année, cet apport est considéré pour les années suivantes et entre en considération dans la formule de calcul de la complémentation.

Potassium

Les doses complémentaires de potassium sont calculées en fonction :

- des besoins de la canne **PE par PE** (excepté l'année de plantation où ce besoin est moyenné pour l'ensemble de la parcelle, et l'année en repousse 1) ;
- des teneurs dans les mafor associées à leurs coefficients d'équivalence engrais.

Le potassium est appliqué sous la forme de chlorure de potassium (KCl) selon les disponibilités auprès des fournisseurs d'engrais.

Les apports des années précédentes par la mafor ne sont pas considérés étant donné que le potassium est très mobile, il est supposé que celui-ci ne se retrouve pas dans le sol d'une année

sur l'autre. Cette hypothèse demandera confirmation. Les teneurs en potassium seront donc à surveiller.

Calcium (Cf. §8.2.2 Correction du pH)

Comme pour les traitements minéraux, deux aspects concernent l'apport de calcium :

- la correction du pH (Cf. § 8.2.2. Correction du pH) pour laquelle un respect de la recommandation du laboratoire est réalisé PE par PE ;
- la compensation des exportations par la culture.

Ce dernier point vise à apporter le calcium, en plus de la correction du pH, pour limiter les exports hors de la PE. Ainsi, les doses sont calculée à partir de :

- l'estimation des exportations en fonction des objectifs de rendement (Pouzet et al., 1999. Evaluation des conseils en fertilisation pour les hauts rendements. Cirad et Chambre d'agriculture de La Réunion) ;
- les apports effectués avec le Physalg27® ;
- les apports effectués avec les mafor.

Ces apports sont réalisés sous la forme de chaux magnésienne (CaO - MgO) en surface quelques mois après la plantation.

Magnésium, Soufre et autres éléments :

Quelle que soit la nature des modalités (minérales ou organiques), ces éléments ne font pas l'objet d'une complémentation.

Il convient néanmoins de suivre leur évolution en cas d'apparition de carence. Toutefois le guide de la fertilisation de la canne à sucre à La Réunion (Fillols et Chabalier, 2007. Cirad-CTICS) indique qu'aucun cas de carence n'a été constaté sur l'île pour ces éléments. Il est aussi considéré qu'un certain nombre de ces éléments est apporté soit par la chaux magnésienne en correction du pH soit par les apports de mafor.

8.2.6 Entretien

L'entretien de la parcelle concerne principalement la maîtrise des mauvaises herbes par l'application d'herbicides que peuvent compléter des sarclages manuels.

- gestion des adventices :
 - le premier traitement est un traitement de prélevée pour lequel les herbicides seront choisis en fonction de la flore observée lors de l'année de culture précédente. Après ce traitement, celui ou ceux qui suivront seront appliqués en post-levée en fonction des espèces de mauvaises herbes observées ;
 - les herbicides seront appliqués avec un pulvérisateur à dos étalonné avant toute utilisation. L'application est la même sur l'ensemble du site d'essai considéré ;
 - sarclage manuel ou avec la débroussailleuse peut aussi se faire.
- autres traitements : il n'y pas de traitement fongicide ou pesticide sur la canne. D'éventuelles attaques de rats peuvent conduire à l'application d'un raticide localisé.
- irrigation :
 - présente sur certains sites seulement, elle est pilotée en fonction des besoins de la canne pour conduire à une satisfaction hydrique globale.

8.2.7 Récolte

La canne est récoltée à maturité soit 11-12 mois après la plantation/coupe. Cette coupe est réalisée par une coupe mécanique en canne longue (coupeuse Péï).

Il est effectué un prélèvement pour l'analyse des éléments absorbés, de richesse en sucres cristallisables, du taux de fibre et de la pureté du jus de canne et de matière sèche (MO5 et MO6). Ces prélèvements sont acheminés vers des centres du CTICS ou le laboratoire du Cirad.

La canne est pesée avec le peson d'eRcane (tracteur) (MO7) ensuite chargée et acheminée aux balances ou à l'usine par un prestataire. Grâce à la pesée de la production de canne de chaque parcelle, le rendement de celles-ci est calculé. En cas de pertes de rendement liées à l'expérimentation, le planteur sera indemnisé.

8.2.8 Gestion du paillis (MO8)

La gestion du paillis est variable selon les cycles de culture. Lorsque c'est le cas comme défini ci-après, le paillis est maintenu à hauteur de 15 t de MS/ha et doit couvrir la totalité du sol.

Le premier cycle, 0-7 ans, est conduit sans paillis, excepté deux traitements (T0p et 0,9Xp). La paille est retirée manuellement de chaque PE au moyen de crocs et râtaux. Celle-ci est repoussée dans les allées.

Le second cycle de culture, 7-14 ans, est conduit avec paillis exceptés les traitements T0sp et 0,9Xsp. Lors de ce second cycle de culture, le paillis est homogénéisé à la suite de la récolte, PE par PE.

8.3 Analyses

Les analyses prévues lors de l'essai sont décrites ci-après :

❖ Le sol (MO1) :

- analyse physico-chimique du sol : elle est effectuée à la mise en place de l'essai et annuellement pour connaître la teneur initiale du sol en certains éléments et en suivre l'évolution tout au long de l'expérimentation. A la plantation, cette analyse sert notamment de base au calcul à un éventuel amendement calco-magnésien et à celui de la fertilisation minérale et mixte des modalités (Laboratoire du Cirad Réunion). Elle est réalisée à raison d'une analyse/an/PE. Les résultats obtenus sont : pH_{eau} , pH_{KCl} , N, C, Passimilable, K, Ca, Mg, Na, CEC.

❖ Les mafor (MO2) :

Chaque mafor est échantillonnée au champ avant épandage. Cet échantillonnage permet de connaître les teneurs réelles épandues. Ces échantillons devront être homogènes et représentatifs de l'ensemble du produit. Cette analyse, hors ETM, porte sur : pH, MS, MO, N, C, P, K, Ca, Mg totaux. (Cirad Réunion) (1 mesure par an par mafor par jour d'épandage).

❖ La canne à sucre (MO4, MO5, MO6):

Les analyses réalisées sur les plantes sont toutes effectuées sur les trois rangs centraux des PE, les rangs extérieurs servant de tampon entre deux PE. Plusieurs types de mesures seront

effectués sur la canne pour suivre son développement, connaître sa teneur en certains éléments minéraux et sa qualité industrielle :

- diagnostic foliaire ou suivi de l'état nutritionnel de la plante au cours de son cycle : il est basé sur l'analyse de certains composants des feuilles pour vérifier la bonne alimentation de la plante et identifier de possibles carences (Cirad Réunion). Les prélèvements se font à 6, 8 et 10 mois. Une calibration SPIR (spectrométrie proche infrarouge) sera développée.
- détermination du rendement : le rendement est une variable essentielle sur laquelle nous basons notre raisonnement en comparant les différents traitements au traitement témoin (1 mesure par an par PE à la récolte) ;
- mesure de richesse, pureté du jus et de la fibre : cette mesure évalue la qualité industrielle de la canne à sucre, ce qui est déterminant dans notre étude puisqu'avec le rendement, elle détermine la rémunération des planteurs (Centre CTICS) (1 mesure par an par PE à la récolte) ;

Tous les échantillons des analyses sont conservés soit en sec soit congelés afin d'anticiper des analyses supplémentaires pour la suite du projet (granulométrie du sol, stabilité structurale du sol, suivi du tallage, suivi de l'élongation, analyses des ETM, évaluation des contributions aux CAU et Kep des racines et des feuilles sénescentes,...).

8.4 Observations

Outre les analyses citées ci-dessus, l'expérimentation prévoit d'effectuer plusieurs observations sur les parcelles :

- toutes les interventions sur les parcelles seront notifiées sur un cahier d'essai propre à chaque site. Y seront consignés également les éventuels aléas survenus sur le site. (carences, apparitions de maladies, de ravageurs, de parasites, développement d'adventices, phytotoxicité, état du sol, accidents climatiques,...) ;
- les données météorologiques de chaque site d'expérimentation seront collectées. Pour cela, le suivi sera fait sur le site de La Mare grâce à la station météorologique du Cirad implantée sur place. Pour les autres sites, les données seront de collecter auprès de la station de Météo France la plus proche ou par triangulation (Météor, Margouill@.net);
- le suivi des plantes adventices sera assuré, car l'apport de matière organique et le changement de pratique de fertilisation peuvent modifier les équilibres de l'agrosystème et générer des levées de dormances ou constituer des contraintes au développement de certaines plantes adventices. Ces relevés sont réalisés dans la mesure du possible avant les traitements herbicides.

D'autres suivis pourront être mis en place sur l'essai de façon ponctuelle comme des profils racinaires, des analyses d'ETM, des suivis de mesures physiques du sol (densité apparente, conductivité,...). Par ailleurs, aucune caractérisation de la matière organique (cinétiques de minéralisation,...) n'est initialement prévue dans le cadre de cet essai de développement. Cependant, elle pourrait être envisagée dans le cadre de collaborations avec d'autres organismes de recherche et technique qui seraient intéressés par ces questionnements.

Ce projet est un essai autour des matières organiques faisant appel à de multiples partenariats. Il a vocation à être support pour d'autres questionnements que ceux définis dans ce document.



Jean Paillat (eRcane), Virginie Van de Kerchove (Chambre d'Agriculture de La Réunion), Robert Trochard (Arvalis), Daniel Marion (eRcane - Cirad).



Annexe 1 : Observations / Suivi des parcelles

L'ensemble des interventions réalisées sur la culture (travail du sol, traitements, prélèvements-observations et remarques notables lors des déplacements de l'expérimentateur sur la parcelle suivi dédié uniquement une parcelle d'essai.

Le cahier reprendra les informations suivantes : nom de l'expérimentateur, coordonnées de l'exploitant, identifiant parcelle, coordonnées parcelle, altitude, coordonnées spatiales, un plan. Le tableau ci-dessous illustre les informations possible à recenser dans ce cahier de suivi.

échantillonnage..) ainsi que les est enregistré dans un cahier de

Date / Heure	Opération (Intitulé, type)	Objectif	Résultats obtenus	Conditions de réalisation (Temps, stade de la culture, portance sol,...)	Observations sur la culture (Carences, apparitions de maladies, de ravageurs, de parasites, développement d'adventices, phytoxicité, état du sol, accidents climatiques,...)
...

Annexe 2 : Description de la parcelle

(Réseau PRO ; COMIFER, 2000)

Coordonnées de l'exploitant :

Identifiant parcelle :

Coordonnées parcelle :

Altitude :

Plan :

Description de la parcelle (climat régional, topographie, dénomination pédologique, épaisseur de sol, drainage, irrigation, pente, exposition, pierrosité, structure, battance,...) :

Historique :

Ce tableau est à remplir avant la mise en place de l'essai. Connaître l'historique de culture peut permettre de comprendre certains résultats obtenus par la suite. Cet historique doit couvrir au minimum 5 ans de pratiques pour être valable (Réseau PRO).

Années	Cultures	Devenir des résidus de récolte	Rendement moyen (.ha ⁻¹)	Fertilisation minérale (N, P, K, Mg, Ca) (en kg.ha ⁻¹)	Fertilisation organique (types de produits, dose, date)	Faits remarquables (remembrement, drainage, défrichement, anciens brûlis, retournement de prairie,...)	Travail du sol (Type, profondeur,...)
n-1							
n-2							
n-3							
n-4							
n-5							
...							

NB : Une parcelle issue de la fusion de deux parcelles n'ayant pas le même historique ne peut pas être support à la réalisation d'un essai relatif au maïor (Réseau PRO)

Une parcelle ayant reçu un apport de matière organique dans les 5 années précédant l'installation de l'expérimentation ne peut être utilisée.