

Optimisation de la fertilisation azotée à la Société Sucrière du Cameroun : doses, mode d'apport par type de sol et utilisation d'engrais à libération contrôlée

B. Yana Yana¹, S. Latrille Debat^{1*}, T. Viremouneix²

¹ SOSUCAM, BP 857, Yaoundé - Cameroun

² SOMDIAA, 39 rue Jean-Jacques Rousseau, 75001 Paris - France

*slatrille@sosucam.somdiaa.com

Résumé

Confrontée à l'augmentation du coût des engrais minéraux et dans un souci de respect de l'environnement, la SOSUCAM cherche à optimiser sa stratégie de fertilisation azotée par l'ajustement des apports aux besoins des plantes et par la réduction des pertes par volatilisation.

Des essais ont ainsi été mis en place sur les principaux types de sols identifiés sur l'exploitation. Ils visent à déterminer les doses optimales d'azote à apporter et l'intérêt du fractionnement de l'urée. La réduction des pertes par volatilisation est recherchée par l'expérimentation d'engrais Multicote® à libération contrôlée.

Les résultats sur trois cycles de récolte montrent que sur sols jaunes hydromorphes, l'apport fractionné d'urée améliore son utilisation par la canne (augmentation du rendement en sucre de 8 à 15%). La dose optimale est d'environ 120 unités d'azote (UN) par hectare. Sur sols rouges profonds, la dose optimale avoisine 90 UN par hectare et l'intérêt du fractionnement est limité. Les sols gravillonnaires valorisent mal les apports non fractionnés supérieurs à 60 UN par hectare, mais répondent favorablement aux doses élevées jusqu'à 120 UN/ha si l'apport est fractionné. Quel que soit le type de sol, une consommation de luxe est observée à des doses supérieures à 120 UN par hectare.

Les engrais azotés à libération contrôlée sur six à huit mois améliorent le rendement en sucre de 20 à 70% en canne vierge par rapport à l'urée classique. Sur sols gravillonnaires le gain est de 5 à 20%. Mais en repousse, lorsqu'ils sont épandus en période pluvieuse, la performance de ces engrais diminue à cause de leur susceptibilité au lessivage. En milieu industriel, Multicote 39 0 0 (libération sur six mois) a donné en vierge un gain de rendement en sucre extractible de 20%, avec une dose d'azote réduite de 25 %.

Les engrais à libération contrôlée semblent constituer une alternative économique à la réduction des pertes d'azote. En repousse par contre, ils sont exposés au ruissellement, d'où l'intérêt, en période pluvieuse, de les enfouir.

Mots clés : volatilisation de l'azote, fractionnement, engrais à libération contrôlée, dose optimale, types de sol

Introduction

La fertilisation azotée est primordiale pour la canne à sucre, mais coûteuse (Building, 2008). D'après Von Uexkull (1989), les sols ferrallitiques désaturés (caractéristiques de la SOSUCAM) ont des besoins en azote élevés. Les pluies abondantes et agressives, le pH faible et la pauvreté en bases échangeables favorisent les pertes d'azote par ruissellement et par lixiviation (Viremouneix, 2010 ; Von Uexkull, 1989). Les pertes par volatilisation suite à l'épandage d'urée sur sol nu après récolte et en saison sèche sont conséquentes, pouvant

atteindre 20 % de l'azote épandu (MSIRI, 2005). Afin de réduire ces pertes et de mieux valoriser les quantités apportées, un mode d'apport fractionné de l'urée a été mis en place. De plus, suite à la hausse brutale du prix des engrais en 2008, le pôle de recherche agronomique de la SOSUCAM s'est lancé dans l'expérimentation de doses optimales de fertilisation, intégrant la variabilité des sols. Une autre voie de réduction des pertes est en cours d'étude, utilisant des engrais à libération contrôlée sur quatre, six et huit mois. Ils sont censés procurer aux plantes une meilleure satisfaction de leurs besoins dans le temps, tout en réduisant les pertes par volatilisation, les grains d'urée étant encapsulés dans plusieurs couches de polymères. Les résultats attendus sont une hausse des rendements et une réduction de la pollution des nappes. Les essais mis en place montrent des résultats encourageants.

Matériels et méthodes

Fertilité des sols et stratégie actuelle de fertilisation à la SOSUCAM

Les analyses réalisées à la SOSUCAM décrivent des sols à faible pH (4,4 à 5,2) à faible capacité d'échange (2,5 méq/100 g) et à faible teneur en azote total (inférieure à 0,12 %) (Viremouneix, 2012). Ces sols sont pauvres et acides (Figures 1 et 2). La stratégie de fertilisation consiste à apporter sous forme d'urée, de MAP (et/ou de phosphate de roche) et de KCl, les éléments fertilisants suivants (Tableau 1) :

Tableau 1. Doses de fertilisation actuelles moyennes à la SOSUCAM

	Eléments fertilisants (Kg/ha)			Engrais appliqués (Kg/ha)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	urée	MAP	phosphate de roche	KCl
canne vierge	91,4	69	150	168	133	200-400	250
Repousses	101	23	150	200	45	-	250

Les normes internationales préconisent 1,2 à 1,4 kg de N/ha/TC produite (MSIRI, 2005; Haifa, 2011). Afin de moduler la dose d'azote au potentiel parcellaire, le pôle agronomique de la SOSUCAM mène des études de doses d'azote sur les différents types de sol du domaine.

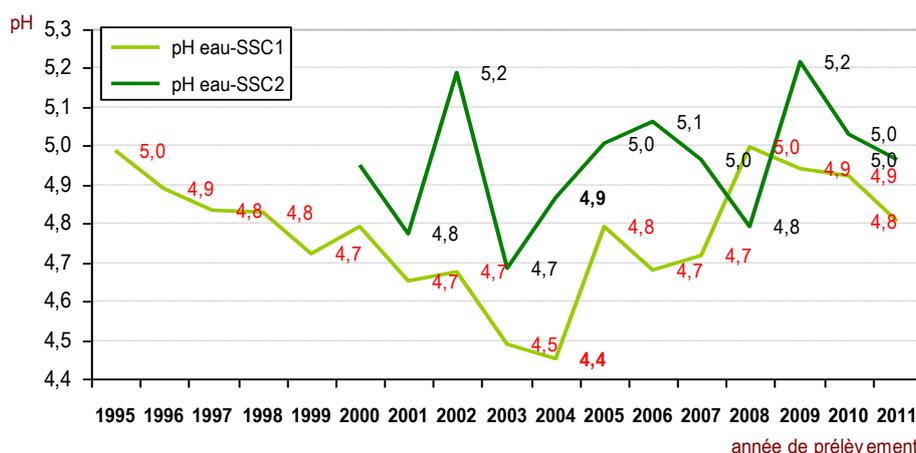


Figure 1. Evolution du pH des sols à la SOSUCAM¹ (Source Viremouneix, 2012)

¹ SSC1 (SOSUCAM 1) : domaine d'origine de SOSUCAM situé à Mbandjock, versant Sud-Ouest du mont Angouma

SSC2 (SOSUCAM 2) : deuxième domaine de SOSUCAM situé à Nkoteng, Nord et versants Sud-Est du mont Angouma

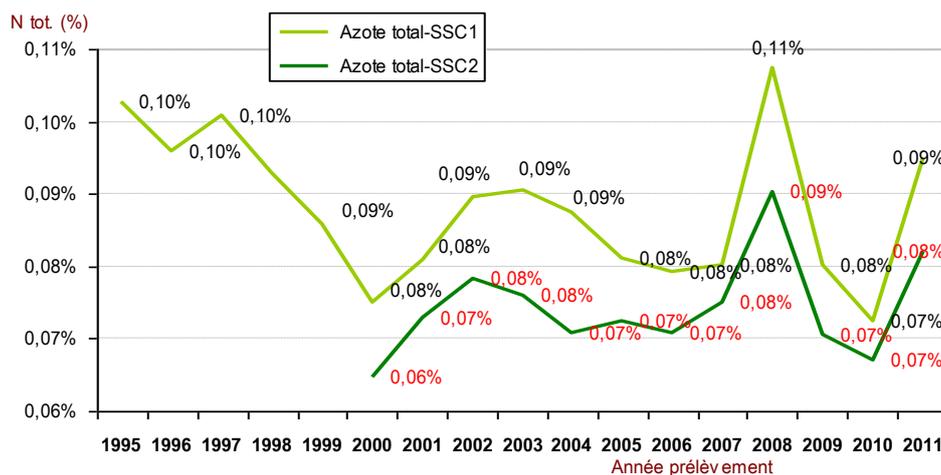


Figure 2. Evolution de la teneur en azote des sols à la SOSUCAM (Source Viremouneix, 2012)

Etudes multi-locales des courbes de réponse à l'azote

L'objectif est de déterminer l'optimum économique et technique d'apport azoté à la canne à sucre dans les principaux types de sols du domaine, à savoir : sols rouges profonds, sols gravillonnaires et sols jaunes (hydromorphes). Les essais sont conduits en culture pluviale.

Dans quatre essais en split-plot, six doses d'urée sont testées comme facteur principal (en combinaison avec des doses standards de MAP et de KCl). Le facteur secondaire est le mode d'apport (fractionné ou non). Dans le cas du fractionnement, la moitié de la dose d'urée est épandue lors de la plantation ou directement après la récolte (cas des repousses) ; et l'autre moitié trois mois après, au retour des pluies. Pour l'application unique, la totalité de l'urée est épandue à la plantation ou après la récolte, en repousse.

Le tableau 2 présente les caractéristiques des différents essais. Les quantités de MAP et de KCl apportées sont invariables et sont de 133 Kg/ha de MAP en canne vierge et 45 Kg/ha en repousse et de 250 Kg/ha de KCl en canne vierge comme en repousse.

Tableau 2. Variables expérimentales et dimensions des essais de doses croissantes d'azote

Essais (types de sol)	Facteur principal	Facteur secondaire		
	Dose d'azote (UN / ha)	Fractionnement	Nombre de répétitions	Surface totale essai
1-Sol rouge profond	30 (T1)		05	1,27 ha
	60 (T2)			
2-Sol gravillonnaire	90 (T3)	2 apports (S1)	03	0,7 ha
	120 (T4)	1 apport (S2)		
3-Sol jaune hydromorphe	150 (T5)		05	1,12 ha
	180 (T6)			

Pour tous les essais la surface unitaire totale d'un plot est de 100m², et la surface pesée de 72m².

La dose de 90 unités d'azote (UN) par hectare est la norme actuellement préconisée et appliquée sur les parcelles de SOSUCAM.

Pour l'analyse de la richesse 27 cannes sont prélevées par plot élémentaire de manière aléatoire et représentative sur les trois rangs centraux à raison de 9 cannes par rang.

Essais d'engrais azotés à libération contrôlée

Plusieurs types d'engrais à libération contrôlée existent : les inhibiteurs de minéralisation, l'azote organique de synthèse et les engrais enrobés. L'enrobage est une membrane de résine semi-perméable permettant une libération progressive de l'azote par diffusion (Lecocq, 2010). La durée de libération dépend uniquement de l'épaisseur d'enrobage et de la température. Les avantages de ces engrais sont nombreux : meilleure satisfaction des besoins progressifs de la plante en éléments minéraux, réduction du nombre d'épandages, limitation des pertes par lixiviation et par volatilisation. Ils polluent donc moins les nappes et respectent mieux l'environnement (Lecocq, 2010).

Urée enrobée

Urée classique granulée



Figure 3. Présentation de l'urée enrobée MULTICOTE® et de l'urée classique granulée

Trois engrais enrobés MULTICOTE® ont été testés sur deux types de sols. Il s'agit de :

- Multicote® (MC) 40 0 0 (libération sur 04 mois) ;
- MC 39 0 0 (libération sur 06 mois) ;
- MC 38 0 0 (libération sur 08 mois).

Les dispositifs mis en place en fonction des types de sols utilisés sont les suivants :

- **sur sol gravillonnaire** : un dispositif en blocs de Fisher à 07 modalités avec 05 répétitions, sur des plots de 100 m². Les modalités testées sont expliquées dans le tableau 3. La superficie totale de l'essai couvre 1,2 hectare (espaces de séparation et zones d'hétérogénéités inclus). La canne est plantée en rangs simples et la superficie pesée par plot est de 66,66 m² représentant les quatre lignes centrales (les lignes extrêmes sont exclues). 27 cannes sont choisies par plot pour l'analyse de richesse un jour avant la récolte ; à raison de 9 cannes par ligne sur trois lignes centrales.
- **sur sol rouge profond** : 10 modalités sur des plots de 388 m², sans répétition, sont comparées (tableau 4) et l'essai couvre 0,7 ha.
- **un essai en parcelle industrielle sur sol rouge profond**. Mis en place en mai 2011, il couvre 35,35 hectares et vise à confirmer l'efficacité de l'urée enrobée MC 39 0 0 par rapport à l'urée classique. Les traitements appliqués (en canne vierge) sont décrits dans le tableau 5. Chaque traitement est répété deux fois sur des carreaux de 1,5 à 3 hectares. Seul le témoin T0 occupe une superficie de 0,25 ha². A la récolte, la canne

² Ceci afin d'éviter de nuire à la production de la parcelle

de chaque carreau est entièrement pesée au pont bascule pour avoir le rendement. 27 cannes sont choisies de manière aléatoire et représentative dans chaque carreau pour faire l'analyse de richesse à la veille de la récolte.

Tableau 3. Modalités appliquées dans l'essai d'urée enrobée sur sol gravillonnaire

Modalités	% dose normale	Cycle	Unités de N/ha	Apports d'engrais azotés (Kg / ha)				
				Urée	MAP	Urée enrobée		
						4 mois	6 mois	8 mois
T0 (témoin)	100	CV	91	68	133	-	-	-
		R	101	200	45	-	-	-
T1	100	CV	91	-	133	192	-	-
		R	101	-	45	241	-	-
T2	75	CV	68	-	133	135	-	-
		R	76	-	45	178	-	-
T3	100	CV	91	-	133	-	197	-
		R	101	-	45	-	248	-
T4	75	CV	68	-	133	-	138	-
		R	76	-	45	-	183	-
T5	100	CV	91	-	133	-	-	202
		R	101	-	45	-	-	254
T6	75	CV	68	-	133	-	-	142
		R	76	-	45	-	-	188

Tableau 4. Modalités appliquées dans l'essai d'urée enrobée sur sol rouge profond

Modalités	% dose normale	Cycle	Unités de N/ha	Apport azoté (Kg / ha)				
				Urée 46%	MAP	Urée enrobée		
						4 mois	6 mois	8 mois
T0	100	CV	91	68	133	-	-	-
		R	101	200	45	-	-	-
T1	100	CV	91	-	133	192	-	-
		R	101	-	45	241	-	-
T2	75	CV	68	-	133	135	-	-
		R	76	-	45	178	-	-
T3	50	CV	46	-	133	78	-	-
		R	51	-	45	115	-	-
T4	100	CV	91	-	133	-	197	-
		R	101	-	45	-	248	-
T5	75	CV	68	-	133	-	138	-
		R	76	-	45	-	183	-
T6	50	CV	46	-	133	-	80	-
		R	51	-	45	-	118	-
T7	100	CV	91	-	133	-	-	202
		R	101	-	45	-	-	254
T8	75	CV	68	-	133	-	-	142
		R	76	-	45	-	-	188
T9	50	CV	46	-	133	-	-	82
		R	51	-	45	-	-	121

Tableau 5. Modalités de fertilisation comparées dans l'essai d'urée enrobée en parcelle industrielle

Modalités	Apport azoté (Kg / ha)								KCl Kg/ha
	UN/ha	% dose normale	MC 39 0 0	% apport en N	Urée	% apport en N	MAP	% apport en N	
T0	14	15%	-	-	-	-	125	100%	250
T1	91	100 % *	140	60%	50	25%	125	15%	250
T2	114	+ 25%	140	48%	100	40%	125	12%	250
T3	68	-25%	140	80%	-	-	125	20%	250
T4	91	100 % *	-	-	170	85%	125	15%	250
T5	114	+25%	-	-	217	88%	125	12%	250
T6	68	-25%	-	-	118	80%	125	20%	250

(*) : Dose normale : 100%

Résultats

Les résultats des essais de doses croissantes et de modes d'apport d'azote et des essais d'engrais azotés à libération contrôlée sont présentés dans cette partie.

Essais de doses croissantes et de modes d'apports d'azote

Ces essais sont suivis sur trois types de sols représentatifs à la SOSUCAM : sol gravillonnaire, sol jaune hydromorphe et sol rouge profond.

Sol gravillonnaire

Trois récoltes ont été évaluées : la canne vierge (CV) à 11,4 mois, la première repousse (R1) à 11,8 mois et la deuxième repousse (R2) à 12,2 mois.

Au seuil de signification de 5%, l'analyse de variance du rendement agricole n'a montré aucune différence significative entre les traitements en canne vierge, contrairement aux résultats observés en R1 et R2.

En repousse, le rendement augmente avec la dose d'urée jusqu'à 120 UN/ha puis a tendance à chuter au-delà de cette dose (Figure 4). Le fractionnement améliore l'utilisation de l'azote à partir de 90 UN/ha. Avec l'épandage unique, l'optimum de rendement est atteint à 60 UN/ha (85 TC/ha en R1 et 70 TC/ha en R2). En épandage fractionné en revanche, l'optimum de rendement est atteint à 120 UN/ha (87 TC/ha en R1 et 80 TC/ha en R2).

On note un rendement élevé à 30 UN/ha fractionnés (S1T1), puis celui-ci chute avec 60 UN/ha (S1T2) et remonte avec des doses supérieures. Cette performance de la plus petite dose d'azote pourrait être liée aux hétérogénéités du sol, notamment au niveau de la 3^e répétition du traitement S1T1. A partir de la R1 la performance de S1T1 reste supérieure à celle de S1T2 mais diminue par rapport aux autres traitements (Figure 4).

Aucune différence statistique n'est décelée sur la richesse. Mais une légère tendance à la baisse apparaît lorsque la dose d'azote en mode fractionné augmente, ce qui pourrait s'expliquer par le retard de la maturation induit par les apports d'azote.

Le rendement en sucre varie significativement en fonction des traitements, surtout en repousse. En R2, les doses fractionnées de 120 et 150 UN/ha donnent le meilleur rendement

sucrier : 12,08 et 12,71 TSE³/ha. Une baisse importante est observée à la dose de 180 UN/ha, en épandage unique ou fractionné (Figures 5 et 6).

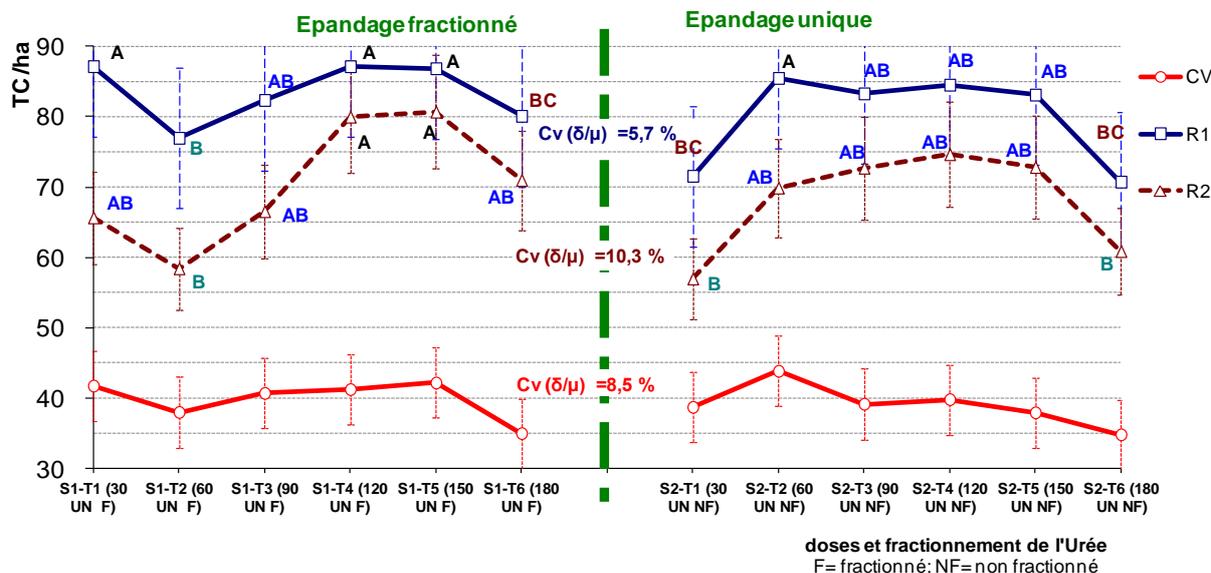
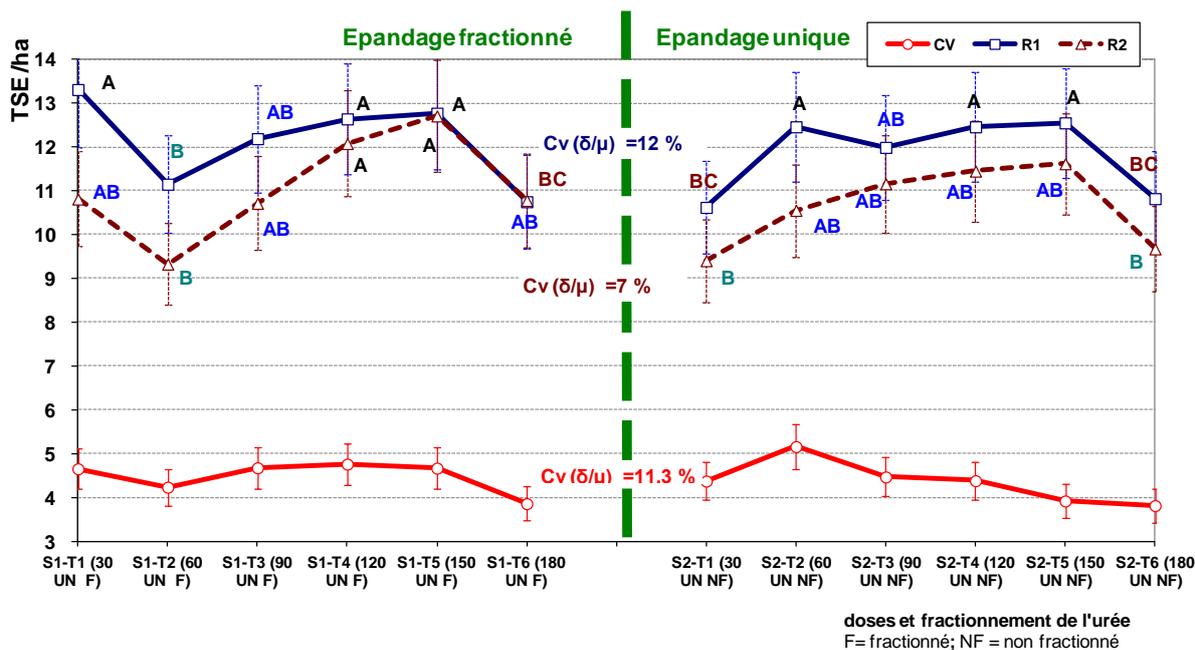


Figure 4. TC/ha en fonction de la dose et du mode d'apport de l'azote sur sol gravillonnaire



N.B. : les valeurs suivies d'une même lettre (A, AB ...) ne sont pas statistiquement différentes au seuil de signification de 5%

Figure 5. TSE/ha en fonction de la dose et du mode d'apport de l'azote sur sol gravillonnaire

La figure 6 montre que l'effet positif du fractionnement (S1) sur le rendement en sucre est maintenu sur plusieurs années. De même, la dose de 120 UN/ha (T4) reste optimale au fil du temps. En outre, l'effet dégressif des apports supérieurs à 120 UN/ha se maintient, surtout avec la dose de 180 UN/ha.

³ SE (Sucre Extractible) : la formule est $SE = (\text{brix} \times \text{pureté} / 100) \times (1 - \text{poids du gâteau} / 500)$; TSE (tonnage de Sucre Extractible)-TSE = $(SE \times TC) / \text{ha}$ où TC/ha = Tonnage Canne récolté par hectare

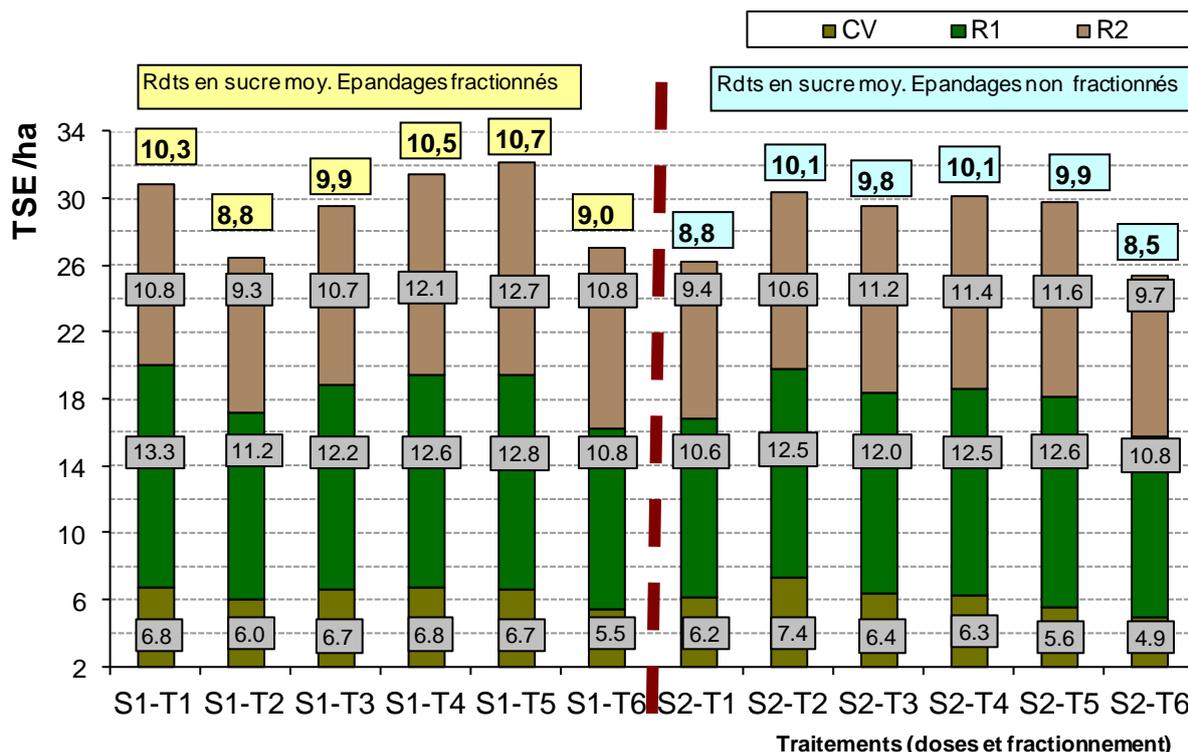
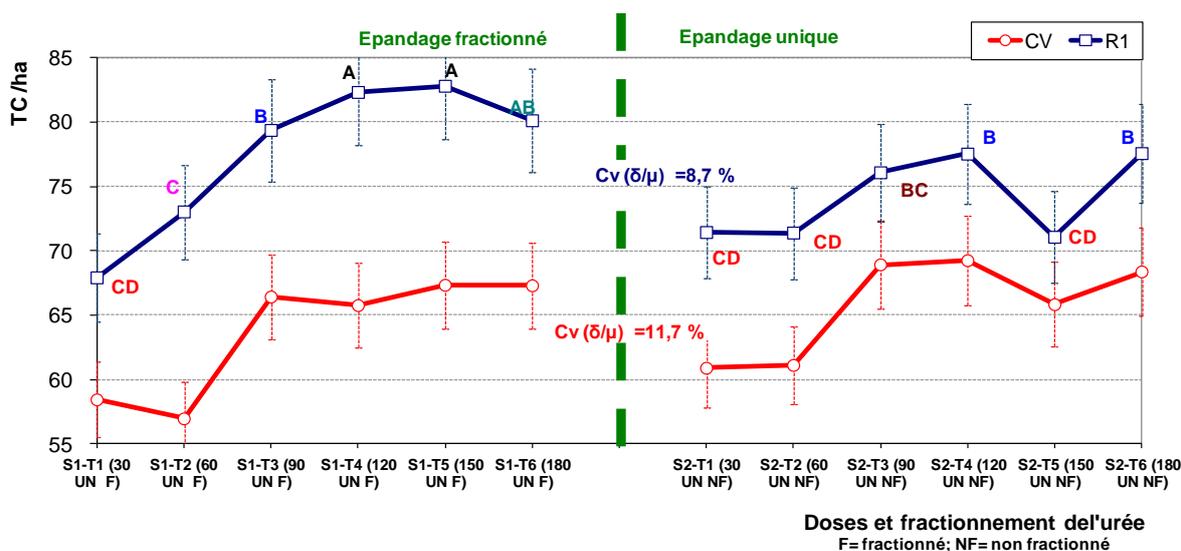


Figure 6 . Cumul TSE/ha en fonction de la dose d'azote et du mode d'apport sur sol gravillonnaire

Sol jaune hydromorphe

Deux récoltes ont été évaluées : en canne vierge et en première repousse.

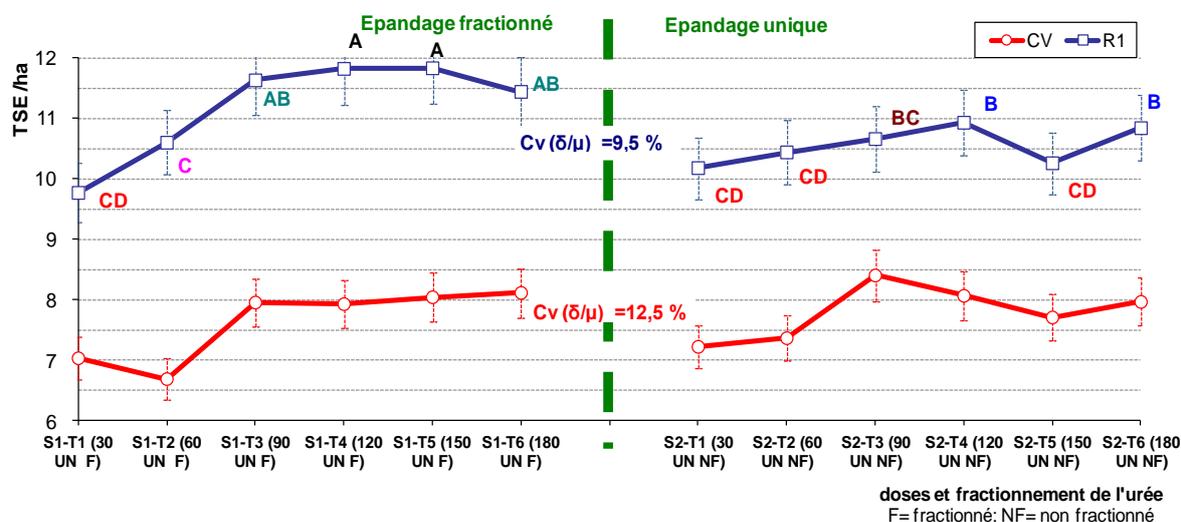
En canne vierge récoltée à 11,8 mois, les écarts de richesse ou de rendement agricole ne sont pas statistiquement significatifs, bien que les doses de 30 et 60 UN/ha, en mode fractionné ou non, donnent des résultats arithmétiquement inférieurs (< 63 TC/ha) aux autres traitements (67 à 71 TC/ha). En R1, récoltée à 11,5 mois, le fractionnement engendre un effet significatif sur le rendement à partir de 60 UN/ha. Le meilleur rendement est obtenu avec les doses fractionnées de 120 et 150 UN/ha : 82,3 et 82,8 TC/ha (Figure 7).



N.B. : les valeurs suivies d'une même lettre (A, AB ...) ne sont pas statistiquement différentes au seuil de signification de 5%

Figure 7 . TC/ha en fonction de la dose d'azote et du mode d'apport sur sol jaune hydromorphe

Aucune différence statistique n'est observée sur la richesse des cannes. Le rendement en sucre suit la tendance du rendement agricole (figures 8 et 9).



N.B. : les valeurs suivies d'une même lettre (A, AB ...) ne sont pas statistiquement différentes au seuil de signification de 5%
Figure 8. TSE/ha en fonction de la dose et du mode d'apport de l'azote sur sol jaune hydromorphe

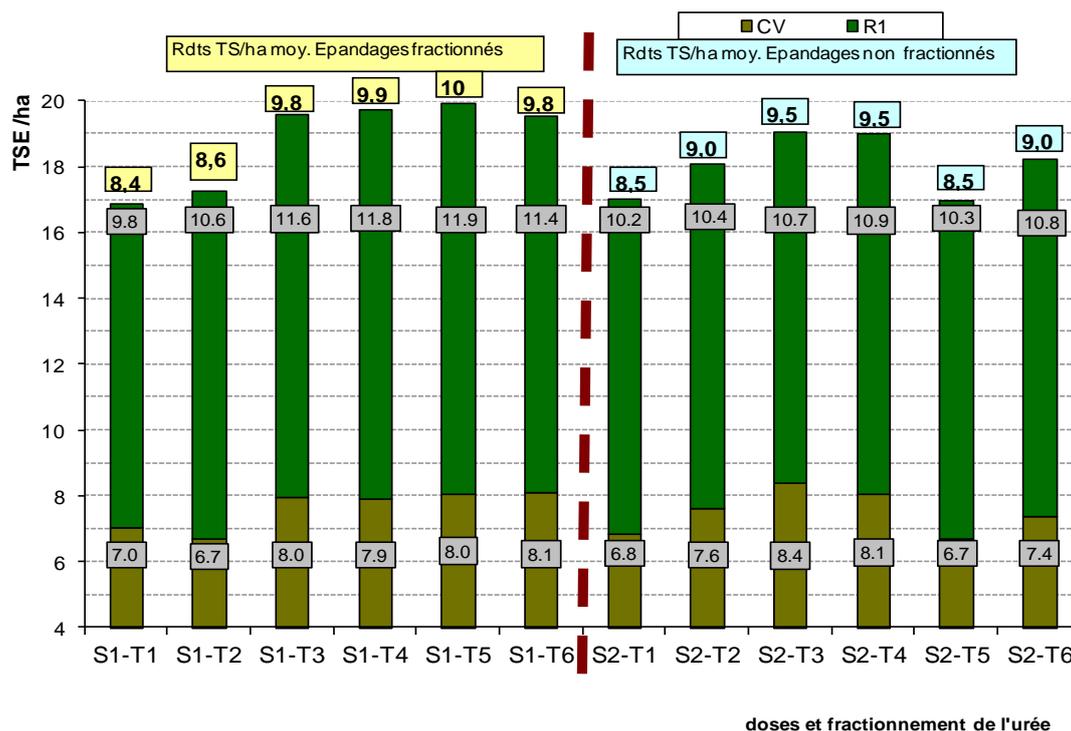


Figure 9 . Cumul TSE/ha en fonction de la dose d'azote et du mode d'apport sur sol jaune hydromorphe

On peut observer sur la figure 9 que sur deux cycles de récolte, le rendement en sucre cumulé reste en faveur du fractionnement des apports et classe 120 UN/ha comme la dose optimale.

Sols rouges profonds

La vierge à 12,9 mois, la R1 à 11,6 mois et la R2 à 12,1 mois sont évaluées.

Sur sol rouge profond, le fractionnement de l'azote semble procurer une amélioration du rendement agricole en canne vierge, mais ce rendement diminue en R1 et en R2. En vierge, l'apport fractionné de 180 UN/ha donne le rendement le plus élevé (119,5 TC/ha). La figure 10 montre qu'en repousse (R1 et R2), le fractionnement de l'urée n'apporte pas de supplément de rendement. La dose optimale est 90 UN /ha en un seul apport.

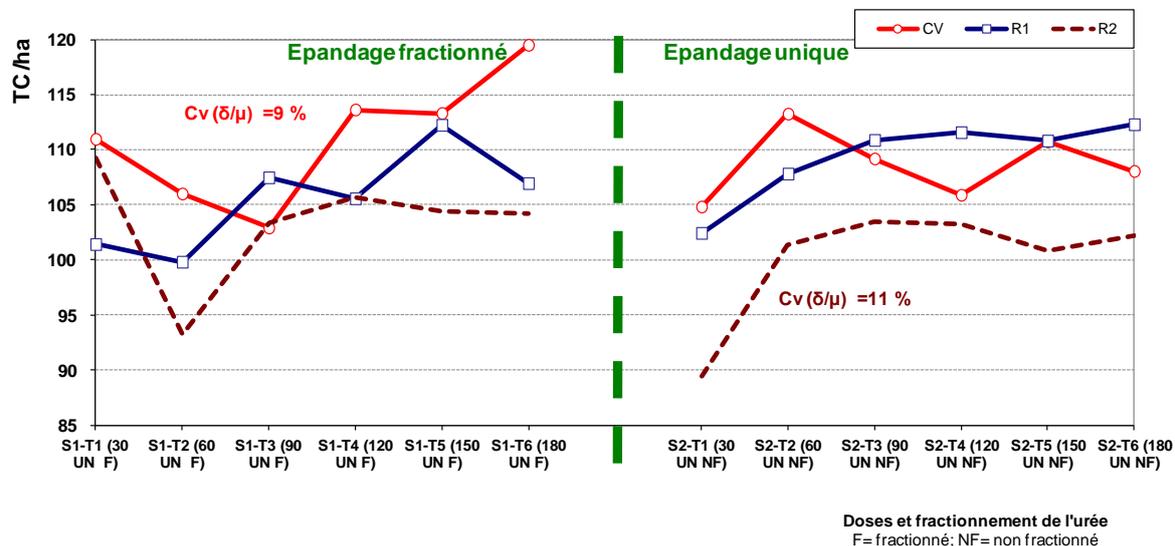


Figure 10 . TC/ha en fonction de la dose et du mode d'apport de l'urée sur sol rouge profond

Aucune différence statistique n'est observée sur la richesse. Le rendement en sucre suit la tendance du rendement agricole (Figures 11 et 12).

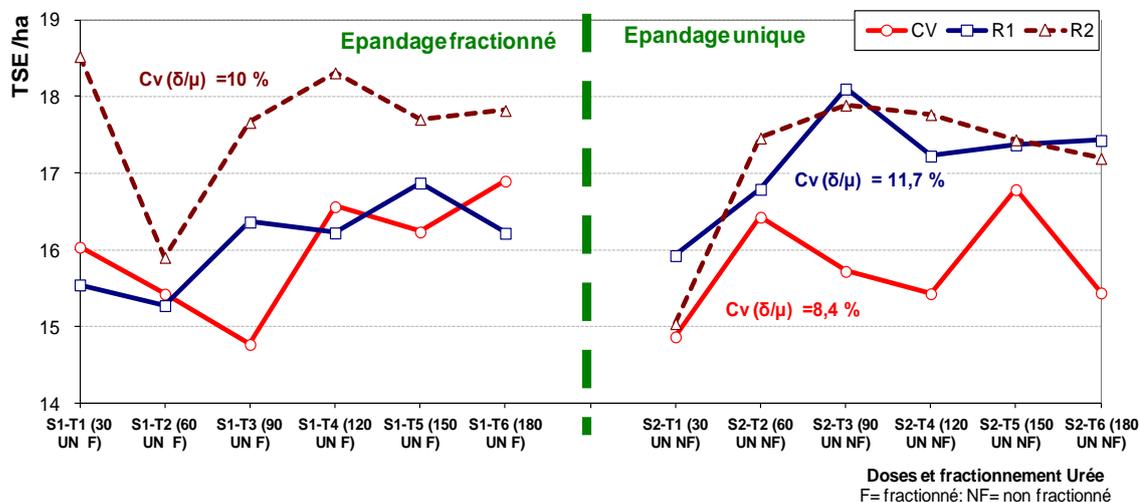


Figure 11 . TSE/ha en fonction de la dose d'azote et du mode d'apport sur sol rouge profond

L'observation de la figure 12 montre que pour un cycle de trois années de récolte, le fractionnement sur sol rouge profond, en topographie plane n'est pas nécessaire car ne permet pas d'améliorer le rendement. L'apport unique de 90 UN/ha semble optimal, tout apport supplémentaire d'azote semble improductif.

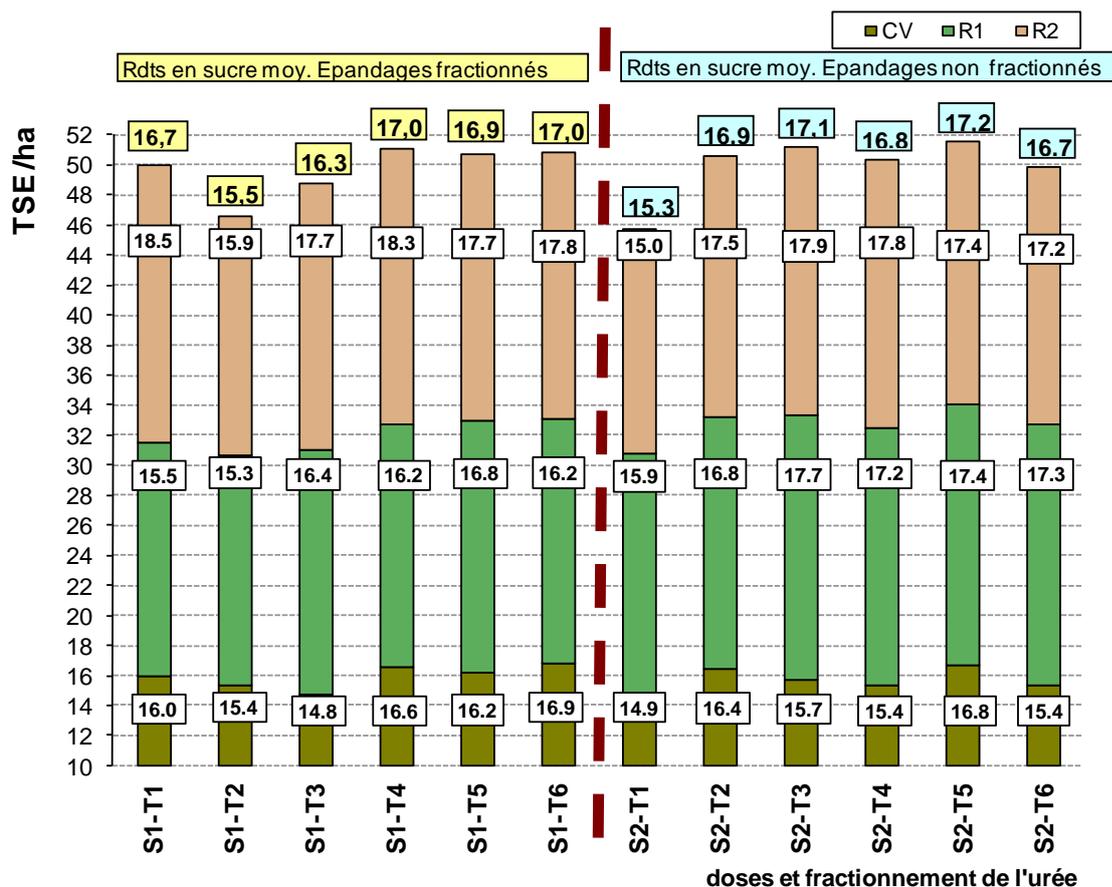


Figure 12 . Cumul TSE/ha en fonction de la dose d'azote et du mode d'apport sur sol rouge profond

Engrais azotés à libération contrôlée

Performances de l'urée enrobée sur sol rouge profond

Deux cycles de récolte sont analysés.

La superficie par traitement est de 388 m². Il n'y a pas de répétition ; donc les résultats ne peuvent être analysés sur une base statistique.

En canne vierge, l'urée enrobée à 08 mois de libération donne les rendements agricoles les plus élevés (87 à 113 TC/ha), même à des doses réduites. Seulement, la dose réduite de 50 % ayant montré la meilleure performance en vierge, son rendement chute drastiquement en R1. Cette supériorité en vierge pourrait être favorisée par la richesse initiale de la parcelle expérimentale (absence de répétition). L'urée enrobée de 06 mois donne un rendement équivalent à celui de l'urée classique à la dose normale (66 TC/ha). L'urée enrobée de 04 mois reste légèrement inférieure à l'urée classique (53-64 TC/ha). En R1, la performance des engrais enrobés diminue et égale à peine celle de l'urée classique (Figure 13).

Sur le plan de la richesse, l'urée enrobée à libération sur 08 mois donne la meilleure teneur en SE%C en vierge avec la dose normale : 16,6 %. Cette richesse chute lorsque la dose est réduite de 25 % et de 50 % (respectivement de 15,3 % et 14,7 % en SE). En l'absence de répétition, cette différence au niveau des richesses est toutefois difficile à interpréter. Tous les autres traitements restent comparables (Figure 14).

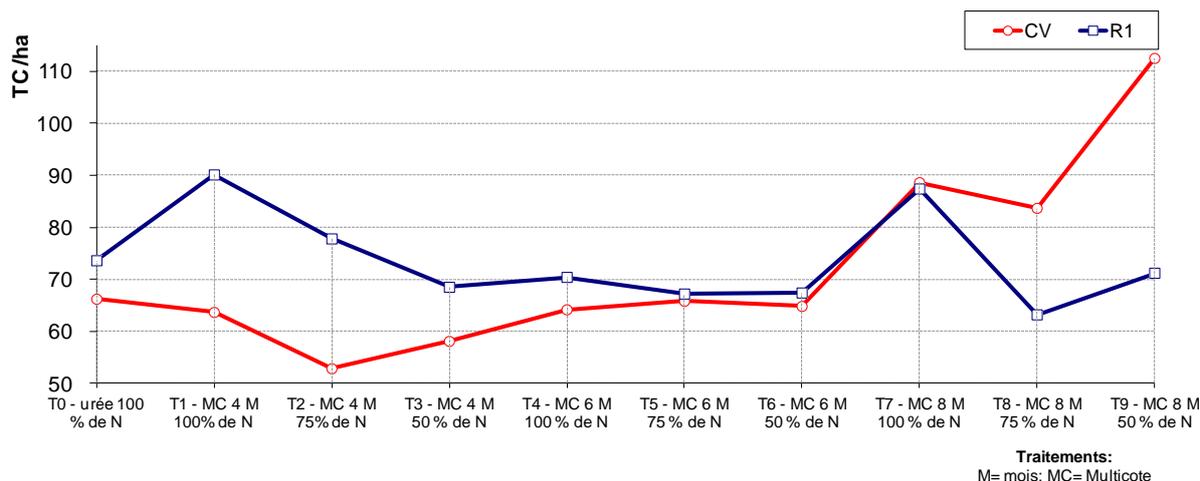


Figure 13 . TC/ha en fonction de la dose et du type d'engrais azoté sur sol rouge profond

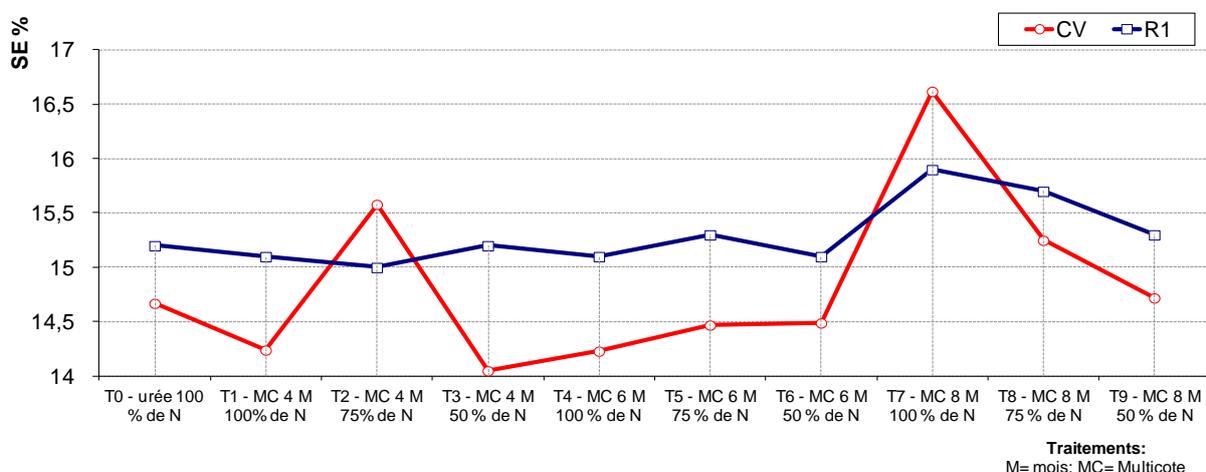


Figure 14 . SE% en fonction de la dose et du type d'engrais azoté sur sol rouge profond

Le rendement en sucre suit la tendance du rendement agricole (Figure 15).

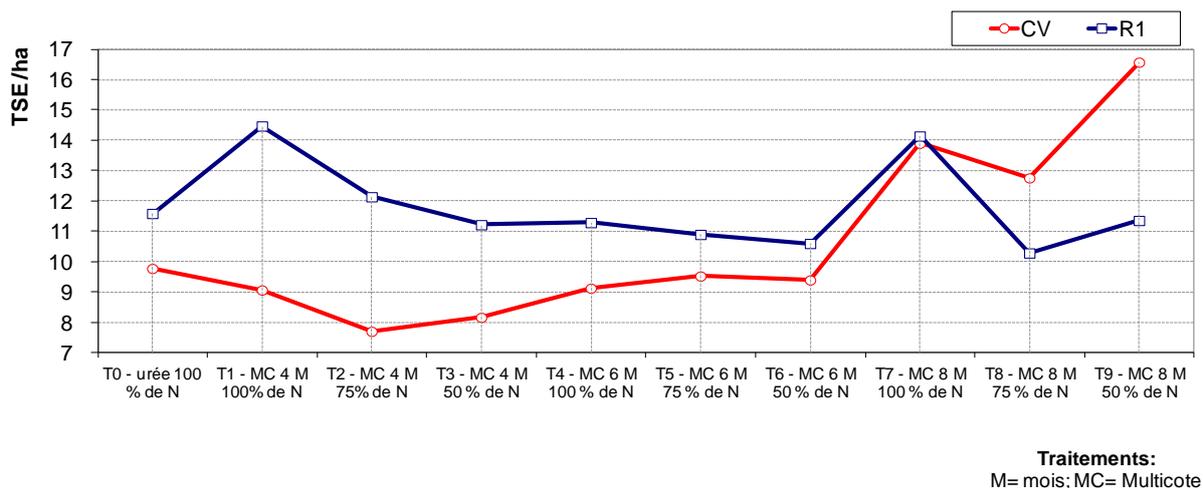


Figure 15 . TSE /ha en fonction de la dose et du type d'engrais azoté sur sol rouge profond

Performances de l'urée enrobée sur sol gravillonnaire

Six modalités réparties sur un plan expérimental en bloc de Fisher avec 05 répétitions sont comparées. Tous les engrais à libération contrôlée, même à dose réduite, donnent en vierge des rendements supérieurs à celui de l'urée classique. Toutefois, le coefficient de variation

élevé (14,9 %) dénote une faiblesse au niveau de l'essai. Un effet bloc a d'ailleurs été décelé et semble lié à la nature hétérogène du sol, révélée par les mesures de résistivité électrique. Ainsi, les blocs 4 et 5 sont les plus résistifs et présentent les rendements les moins élevés (tableau 6). En R1, tous les traitements sont équivalents (figure 16).

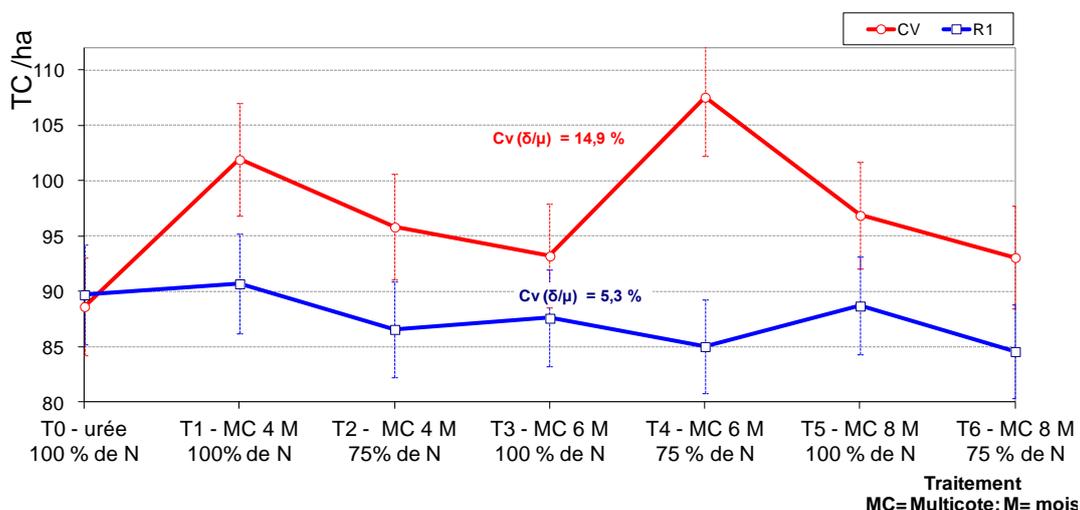


Figure 16 . TC/ha en fonction de la dose et du type d'engrais azoté sur sol gravillonnaire

Tableau 6 . Rendements agricoles en canne vierge par bloc de l'essai d'urée enrobée sur sol gravillonnaire

Traitement	bloc 1	bloc 2	bloc 3	bloc 4	bloc 5	moyenne
T0 - urée classique : 100 % de N	103,9	98,1	96,3	69,8	75,2	88,7
T1 - urée 4 mois 100% de N	99,9	106,7	117,5	81,5	104,1	101,9
T2 - urée 4 mois 75% de N	126,2	99,4	104,5	74,7	74,4	95,8
T3 - urée 6 mois 100 % de N	90,8	98,8	103,0	78,7	98,3	93,9
T4 - urée 6 mois 75 % de N	158,6	122,5	102,6	69,1	84,9	107,6
T5 - urée 8 mois 100 % de N	79,5	103,0	116,9	81,8	103,3	96,9
T6 - urée 8 mois 75 % de N	104,2	93,7	100,5	78,9	88,2	93,1
moyenne	109,0	103,2	105,9	76,3	89,8	96,8

La richesse des cannes est comparable pour tous les traitements, en canne vierge comme en R1. Le rendement en sucre suit la tendance du rendement agricole (Figure 17).

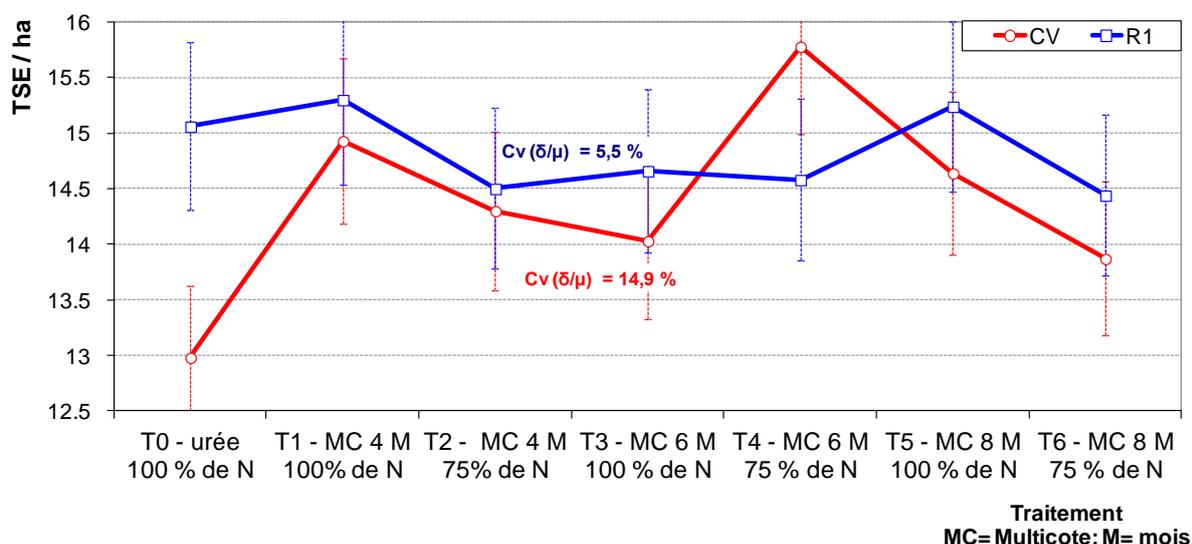


Figure 17. TSE/ha en fonction de la dose et du type d'engrais azoté sur sol gravillonnaire

Performances de l'urée enrobée en culture industrielle

Trois modalités à base d'urée enrobée sont comparées à trois autres modalités comportant uniquement de l'urée classique et/ou du MAP (Tableau 5, p.6).

Chaque traitement est appliqué sur deux carreaux de 1,5 à 03 hectares. La vierge a été récoltée à 12 mois d'âge et évaluée.

Le témoin (T0 : 14 UN/ha apportées par le MAP uniquement) et la dose réduite d'urée classique (68 UN/ha) donnent les rendements agricoles les plus faibles : 43,9 et 43,7 TC/ha. L'urée enrobée à 68 UN/ha donne le meilleur rendement agricole (65,4 TC/ha). A la dose normale, le rendement de l'urée enrobée est supérieur à celui de l'urée classique : 60,5 contre 55,3 TC/ha. Toutefois, avec l'urée enrobée, l'augmentation de la dose d'azote à plus de 68 UN/ha n'améliore pas le rendement, au contraire de l'urée classique, où l'augmentation du rendement est proportionnelle à la dose d'azote apportée (Figure 18). Il faut cependant noter que l'essai n'a que deux répétitions.

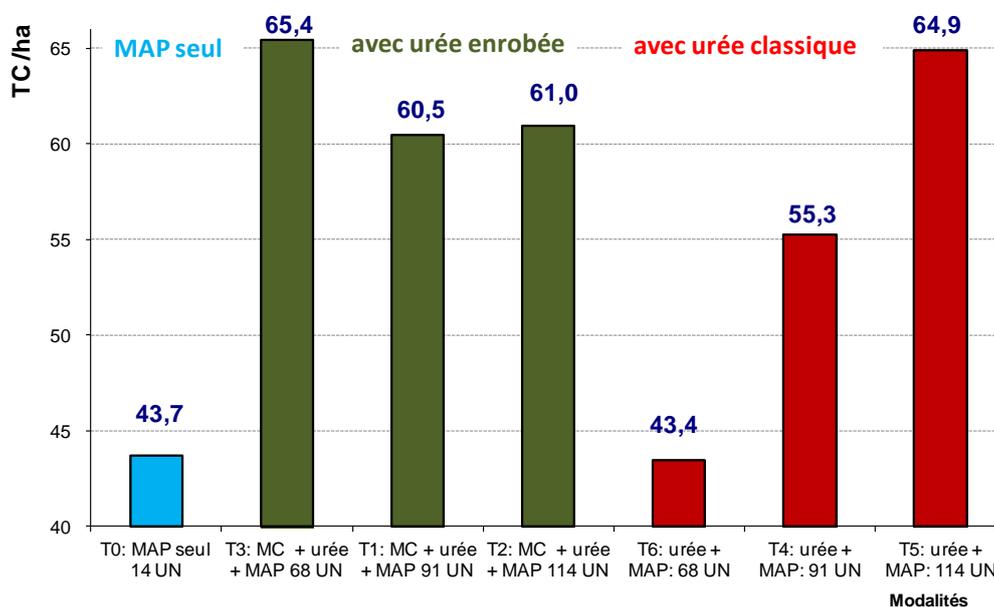


Figure 18. TC/ha en fonction de la dose et du type d'engrais azoté en milieu industriel

L'urée enrobée à la dose normale (T1) donne la meilleure richesse (17,14 %). Par contre, à la dose la plus élevée (T2 : 114 UN/ha) il donne la richesse la plus faible : 16,23 % (Figure 19).

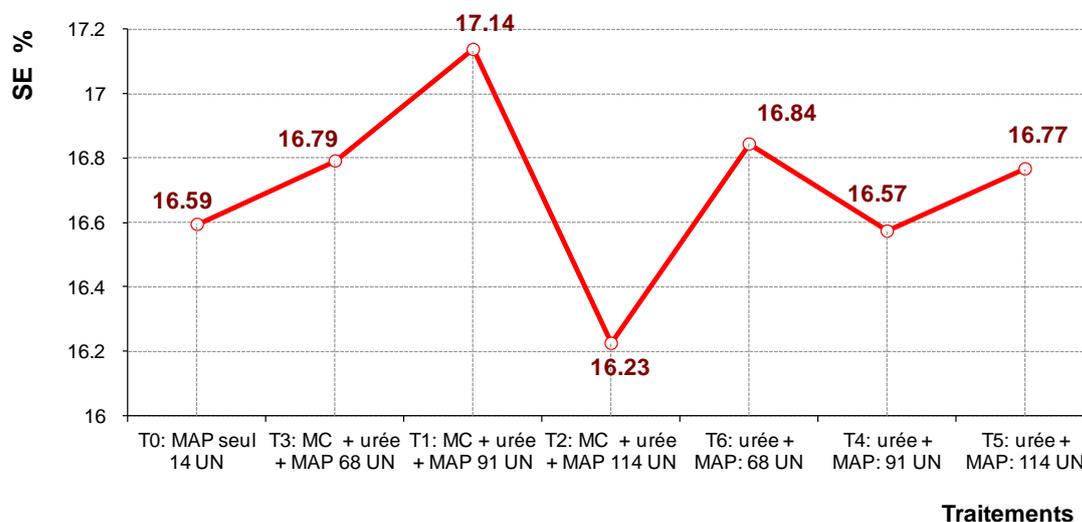


Figure 19. SE% en canne vierge en fonction de la dose et du type d'engrais azoté en milieu industriel

Le rendement en sucre suit la tendance du rendement agricole (Figure 20).

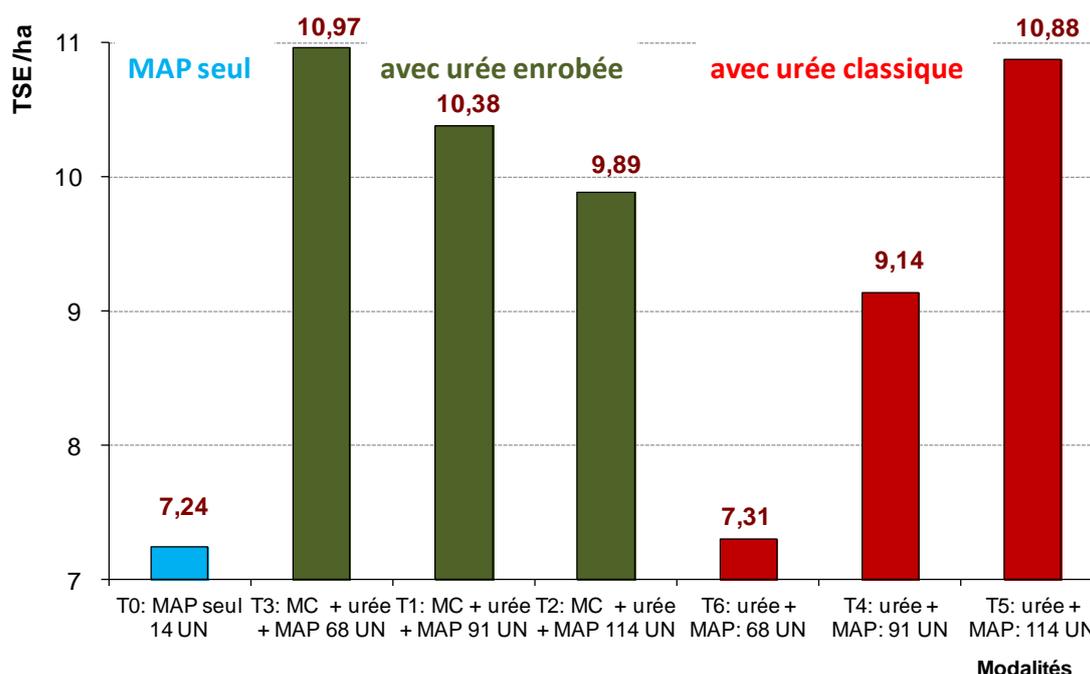


Figure 20. TSE/ha en fonction de la dose et du type d'engrais azoté en milieu industriel

Comparaison économique des modalités de fertilisation

Le tableau 11 et la figure 21 présentent une comparaison économique basée sur le coût des différents engrais azotés constituant les modalités étudiées, le rendement en sucre extractible et la marge bénéficiaire sur coûts directs générée par cette production.

Tableau 7. Comparaison économique des modalités de l'essai d'urée enrobée en milieu industriel.

Modalités	UN/ha	MC 39 0 0		Urée		MAP		KCl	Coût engrais/ha (CFA)	coûts directs/ha	TOTAL Coûts directs	TSE /ha	% témoin	chiffre d'affaire (CFA/ha)	marge brute sur coûts directs (CFA/ha)	marge supplémentaire % témoin
		Kg/ha	% apport en N	Kg/ha	% apport en N	Kg/ha	% apport en N	Kg/ha								
T0: MAP seul 14 UN	14	0	0%	0	0%	125	100%	250	164 625	1 336 124	1 500 749	7,2	-21%	3 329 337	1 828 587	-31,0%
T3: MC + urée + MAP 68 UN	68	140	80%	0	0%	125	20%	250	256 465	1 336 124	1 592 589	11,0	20%	5 043 040	3 450 451	30,2%
T1: MC + urée + MAP 91 UN	91	140	60%	50	25%	125	15%	250	271 265	1 336 124	1 607 389	10,4	14%	4 771 376	3 163 987	19,4%
T2: MC + urée + MAP 114 UN	114	140	48%	100	40%	125	12%	250	286 065	1 336 124	1 622 189	9,9	8%	4 546 927	2 924 738	10,3%
T6: urée + MAP: 68 UN	68	0	0%	118	80%	125	20%	250	199 553	1 336 124	1 535 677	7,3	-20%	3 359 298	1 823 620	-31,2%
T4: urée + MAP: 91 UN	91	0	0%	170	85%	125	15%	250	214 945	1 336 124	1 551 069	9,1	0%	4 201 517	2 650 448	0,0%
T5: urée + MAP: 114 UN	114	0	0%	217	88%	125	12%	250	228 857	1 336 124	1 564 981	10,9	19%	5 001 271	3 436 290	29,6%

Les prix à notre disposition et utilisés pour cette analyse sont les suivants :

- Urée : 450 €/ tonne ;
- Multicote 39 0 0 : 1000€/tonne
- MAP : 800 €/tonne
- KCl 600 €/tonne
- sucre : 700 €/tonne

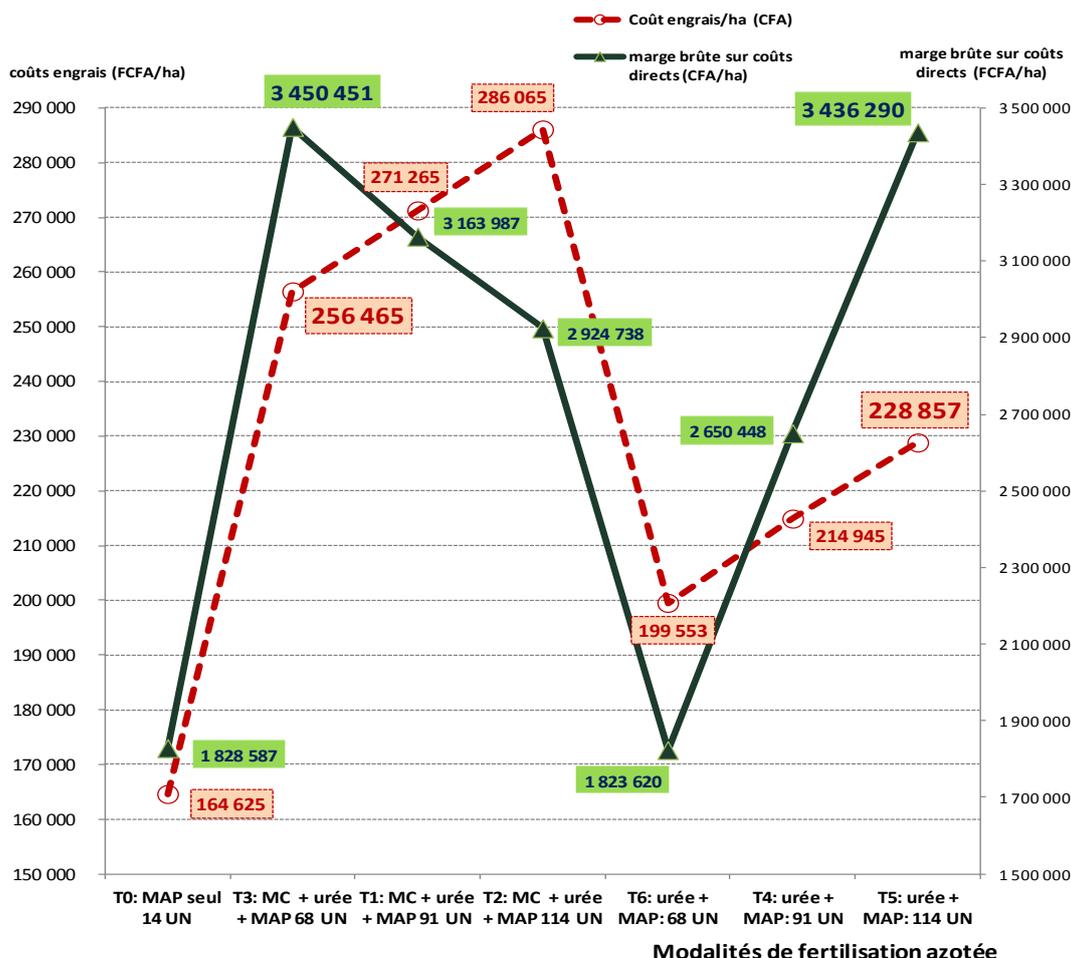


Figure 21. Données de comparaison économique de l'essai d'urée enrobée en milieu industriel : coûts d'engrais et marges sur coûts directs

Il ressort du tableau 11 et de la figure 21 que :

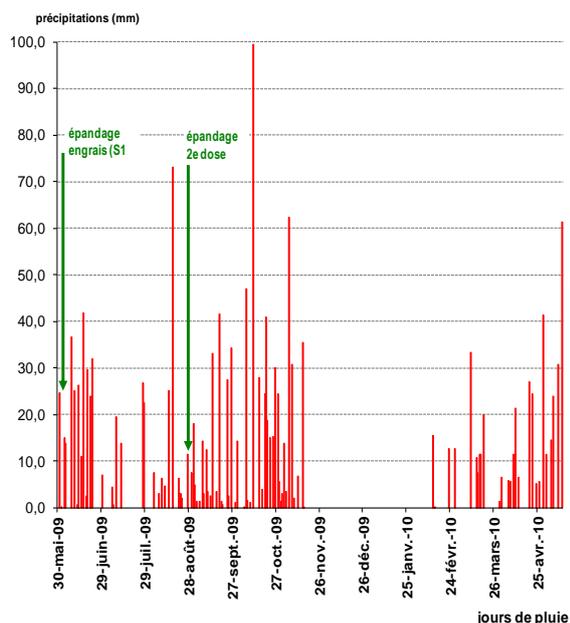
- l'urée enrobée coûte deux fois plus cher que l'urée classique. le coût de fertilisation en utilisant l'urée enrobée dans les modalités de cet essai est de l'ordre de 25% de plus qu'avec l'utilisation de l'urée classique ;
- le rendement et les bénéfices engendrés par l'utilisation de l'urée enrobée, compensent le coût de la fertilisation à l'hectare et induisent une marge supplémentaire par rapport au témoin (fertilisation avec l'urée classique 91 UN/ha) de : +30,2 % avec le T3 (68 UN/ha), +19,4% avec le T1 (91 UN/ha) et +10,3% avec le T2 (114 UN/ha) ;
- en augmentant la dose d'urée classique + MAP (T5) jusqu'à 114 UN/ha, la marge bénéficiaire obtenue est sensiblement égale à celle avec l'urée enrobée à 68 UN/ha (T3).

Discussions

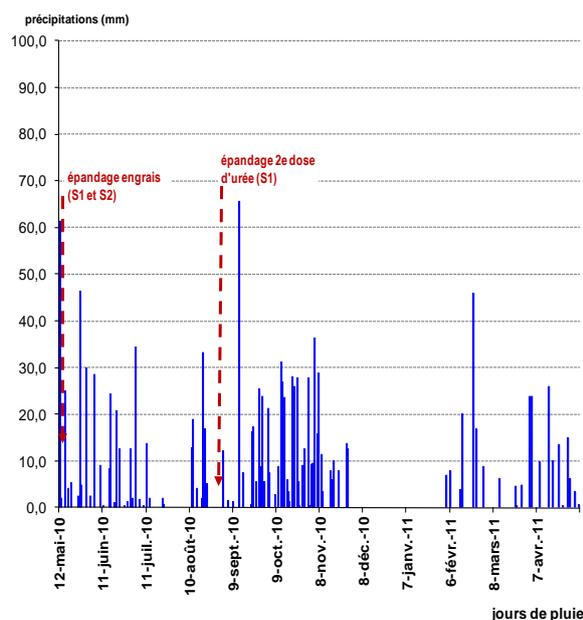
Doses optimales et mode d'apport d'azote par type de sol

Sur sol gravillonnaire, la dose de 120 UN/ha en apport fractionné a été la plus performante. La fumure ayant été appliquée en saison pluvieuse (Figure 22) sur un versant de pente, les résultats tendent à conforter notre hypothèse de départ de réduction des pertes par ruissellement en repousses grâce au fractionnement. Sur un plan purement économique, au regard de la performance relativement bonne de l'apport fractionné de 60 UN/ha, on peut

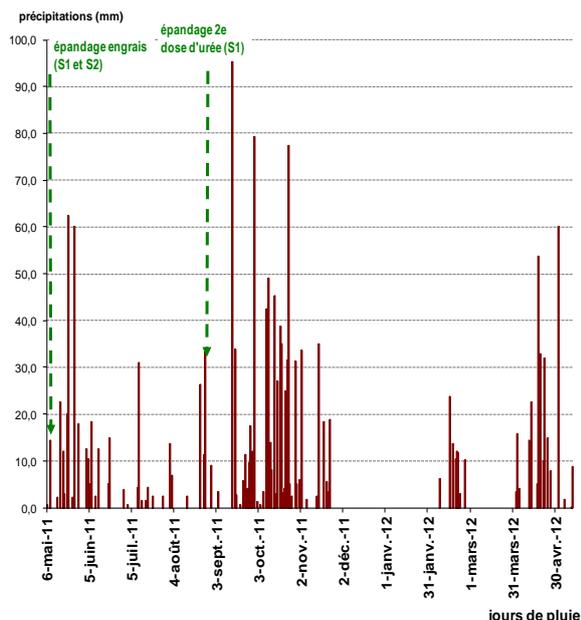
supposer qu'en situation de faible ruissellement (topographie plane), cette dose pourrait être satisfaisante sur des sols gravillonnaires.



(a) : Canne vierge



(b) : 1^{ère} repousse



(c) : 2^e repousse

Figure 22. Répartition des pluies sur l'essai de doses croissantes d'azote sur sol gravillonnaire

Sur sol jaune hydromorphe, la dose optimale se situe autour de 120 UN/ha. Le fractionnement de l'urée en période humide (Figure 23) montre un effet positif sur le rendement en repousse. Muhawenimana et Lauzon (2000) rapportent en effet que dans les sols à texture sableuse (similaires), le fractionnement permet de limiter la lixiviation de l'azote et par conséquent la pollution des nappes.

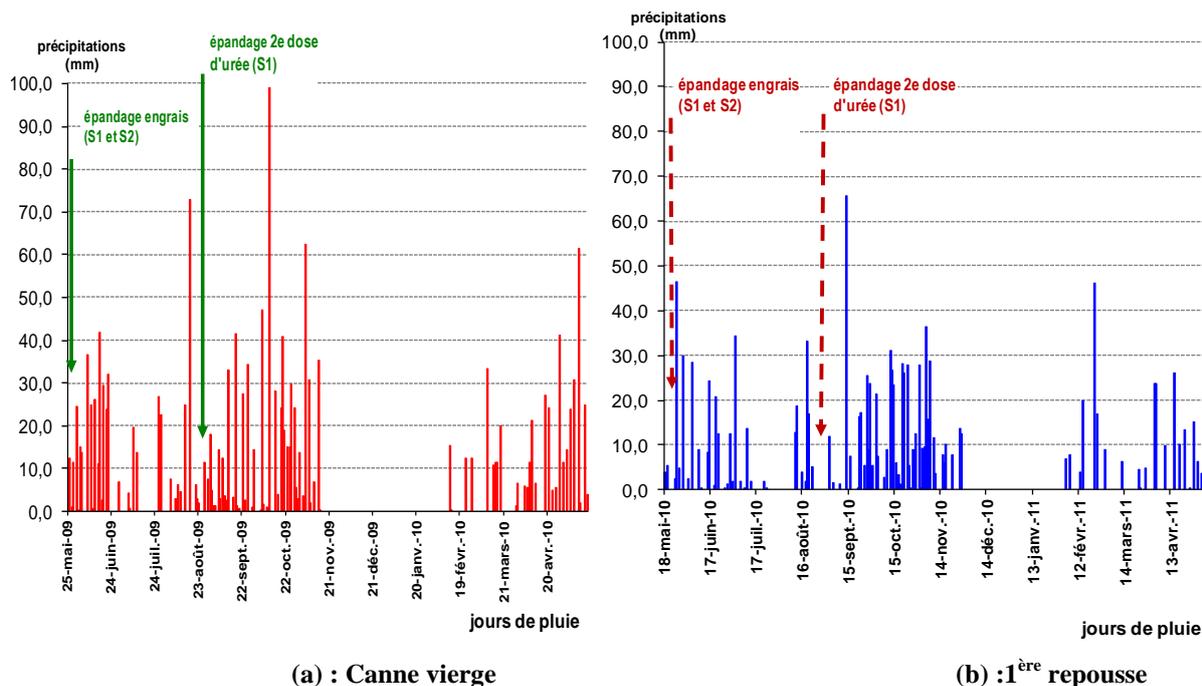
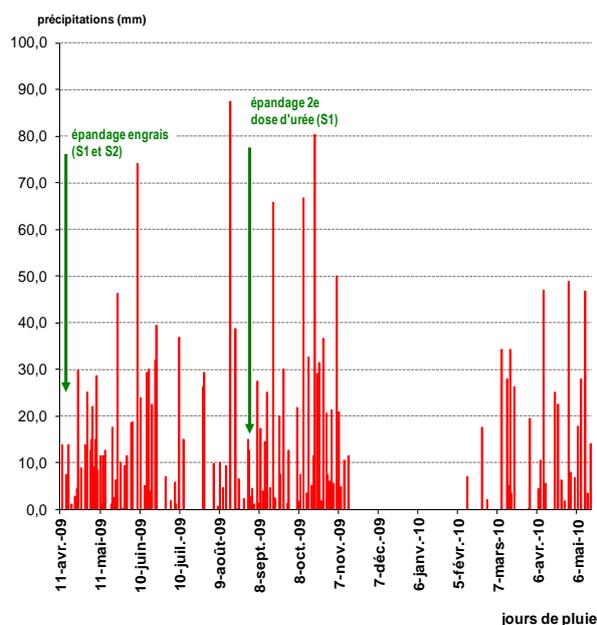


Figure 23. Répartition des pluies sur l'essai de doses croissantes d'azote sur sol hydromorphe

Sur sol rouge profond la dose de 90 UN/ha s'avère optimale. Le fractionnement semble ne pas montrer d'intérêt. L'essai, réalisé sur une zone relativement plate et en période humide (Figure 24), présente des conditions de faible ruissellement et de faible volatilisation, pouvant expliquer une bonne utilisation de l'urée en épandage unique. Fillols et Chabalier (2007) expliquent en effet qu'en l'absence de pente et de précipitation abondante, le fractionnement de l'azote sur les sols réunionnais n'est pas bénéfique. Le même constat est fait à Maurice (MSIRI, 2005). De plus, la deuxième fraction d'azote est apportée au mois d'août, durant la grande saison pluvieuse, ce qui entraîne un risque de lessivage, contribuant à réduire l'efficacité du deuxième apport.



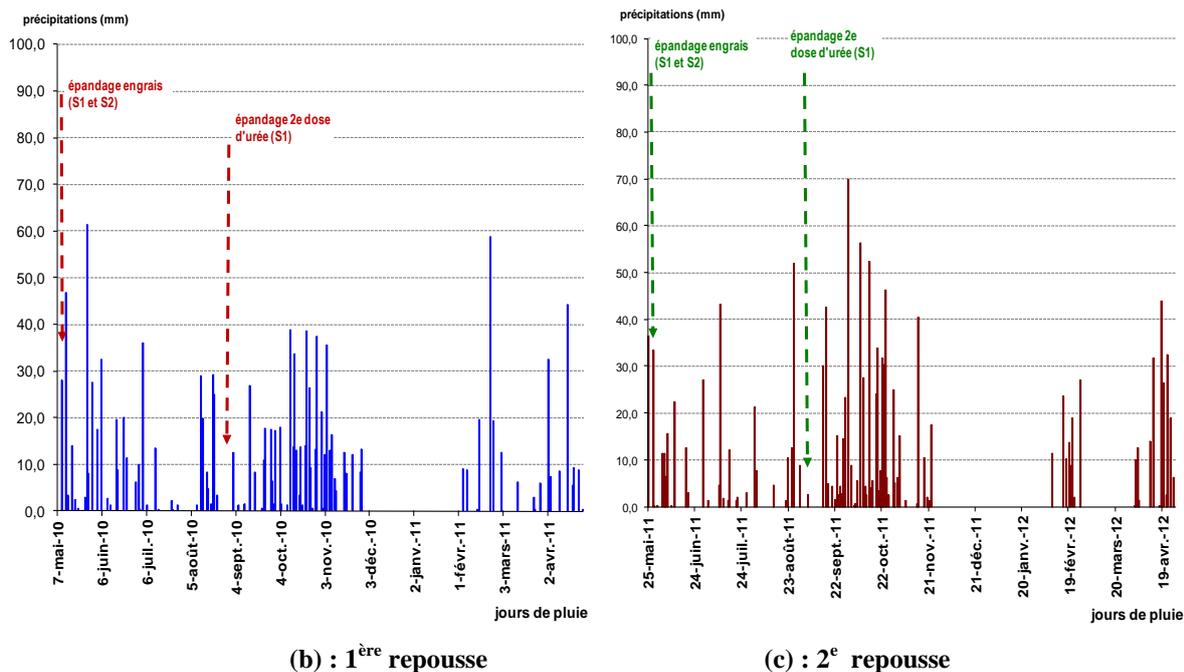


Figure 24. Répartition des pluies sur l'essai de doses croissantes d'azote sur sol rouge profond

Amélioration des rendements et diminution des apports d'azote par l'utilisation d'engrais à libération contrôlée

L'utilisation d'engrais azotés de 06 à 08 mois de libération permet de diminuer la dose d'azote de 25 % tout en augmentant les rendements de 20 % et la richesse de 1 à 3 %. En milieu industriel, l'augmentation du rendement TSE/ha obtenue est de 20%, malgré une diminution de 25% de la dose d'azote. Sur le plan économique, l'utilisation de l'urée enrobée est plus coûteuse et augmente les charges de fertilisation de 25% en moyenne. Mais le gain en rendement résultant de l'utilisation de cet engrais permet de compenser son coût et induit une marge bénéficiaire à l'hectare intéressante (de l'ordre de 30%). Des essais similaires menés sur la canne à sucre au Mexique ont montré que l'utilisation d'engrais enrobés MULTICOTE® permet de réduire les apports d'azote de 30% sans affecter le rendement (Haifa, 2009). L'urée enrobée à 08 mois de libération semble mieux satisfaire les besoins de la canne. En revanche, une dose supérieure à 90 UN/ha tend à diminuer la richesse et n'améliore pas le rendement agricole. La libération lente conduisant à une disponibilité tardive des quantités excessives d'azote, favorisant la croissance végétative au détriment de la maturation en sont la cause probable (Gros, 1979 ; Fillols et Chabalière, 2007). Il est donc important de déterminer la dose optimale à apporter, afin d'éviter la consommation de luxe et de maximiser les marges bénéficiaires.

Conclusion

Les essais de fractionnement et de doses croissantes d'azote permettent de déterminer un niveau d'apport optimal sur les types de sols représentatifs de la SOSUCAM. Le fractionnement accroît les rendements par une meilleure utilisation de l'azote :

- en période pluvieuse et sur terrains pentus ou sur sols à faible capacité de rétention (sols gravillonneux notamment) et/ou à texture sableuse (sols jaunes hydromorphe) : diminution des pertes par ruissellement et par lixiviation ;

- en période sèche : réduction des pertes par volatilisation ; sur sols rouges profonds et relativement « plats » cependant, aucun gain de rendement n'a été obtenu avec le fractionnement de l'urée en période humide.

La performance des engrais azotés à libération contrôlée sur une période de six à huit mois (urée enrobée) est démontrée :

- la dose peut être réduite de 25 % tout en améliorant le rendement et la richesse. Bien que le coût de l'urée enrobée soit élevé, sa performance permet de dégager des bénéfices intéressants, motivant son utilisation en sucrerie. ;
- en repousse, probablement à cause de la propension au ruissellement des engrais enrobés épandus en surface, leur performance est réduite. L'enfouissement par un binage pourrait conduire à une réduction de ces pertes, faisant ainsi de l'urée enrobée une solution économique à la limitation des pertes d'azote pour une agriculture rentable et plus respectueuse de l'environnement.

Références bibliographiques

Building, R.A. (2008). Cours d'Agronomie de la canne à sucre, Module Sols et Fertilisants : 26-50. Regional Training Center. Maurice. 50 p.

Fillols, E., Chabalière, P.F. (2007). Guide de la fertilisation de la canne à sucre à la Réunion. 62-63. CIRAD. 76 p.

Gros, A. (1979). Engrais: guide pratique de la fertilisation, 7e édition. La maison rustique. Paris. 143 p.

Haifa. (2009). Multicote Agri has been used successfully on sugar cane. Ingenio azucarero. El Grullo, Jal. Mexico. http://haifa-group.com/products/plant_nutrition/controlled_release_fertilizers/. Page consultée le 22 mai 2012.

Haifa. (2011). Using the right fertilizers in order to provide the sugarcane necessities. http://haifa-group.com/SVTemplate/Usercontrols/knowledge-center/recommendations/field_crops. Page consultée le 22 mai 2012.

Lecocq, B. (2010). Fertilisation: qu'attendre des nouvelles formes d'azote ? Relations Cultures No 99: 16-20.

MSIRI. (2005). Fertilization of sugar cane. Recommendation sheet No 149.

Muhawenimana, A. et Lauzon, L. (2000). Utilisation rationnelle de l'engrais azoté dans la culture de la pomme de terre par des applications fractionnées de l'azote. Fiche technique, Publications VU No 37. CPVQ-québec.

Viremouneix, T. (2010). SOSUCAM : présentation de l'environnement de production : 1-4.

Viremouneix, T. (2012). SOSUCAM : analyse des sols, évolution campagnes.

Von Uexkull, H.R. (1989). Emploi rationnel des engrais sur les sols acides en zones tropicales humides. Bulletin FAO Engrais et Nutrition végétale No 10. 56p. Rome.