Utilisation de données de terrain pour estimer les paramètres du rendement lors de la croissance et au moment de la récolte de la canne à sucre en Guadeloupe, à la Réunion et à Maurice.

Rapport d'activité de VCAT du 1er novembre 2003 au 31 décembre 2004.

Stéphanie Catsidonis

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Pierre Todoroff qui m'a accueillie en Guadeloupe et qui m'a guidée et conseillée durant cette période au Cirad-Guadeloupe. Je le remercie également pour toutes les nouvelles connaissances qu'il m'a apportées. Je le remercie enfin pour son amitié.

Je tiens à remercier Martin Carbel qui m'a accompagnée tout le temps sur le terrain et qui m'a aidée à recueillir toutes les données de terrain dont je dispose. Je remercie aussi beaucoup Nadia Lubin pour m'avoir accompagnée également sur le terrain. Je la remercie aussi pour sa gentillesse et son amitié.

Je tiens à remercier Agnès Bégué du Cirad-Montpellier pour les conseils qu'elle m'a apportée. Je le remercie pour ses conseils, sa gentillesse et son soutien.
Je remercie Anne Pellegrino pour les conseils qu'elle m'a apportée notamment pour l'utilisation des nouveaux logiciels. Je le remercie aussi pour son soutien.
Je tiens à remercie Pascal Degenne du Cirad-Montpellier pour ses conseils et son aide.
Je remercie les personnes de l'INRA Duclos qui ont participé à mes travaux en me donnant des conseils ou en me prêtant du matériel.
Je remercie le CIRAD-EMVT de m'avoir permis d'utiliser leur matériel afin de mener à bien mes expériences.

Enfin je tiens à remercier toute l'équipe du Cirad Guadeloupe pour son accueil et la bonne ambiance qui régnait sur la station.

SOMMAIRE

Introduction 1

I-Présentation générale 2

1-Présentation de la canne à sucre 2
2-Présentation de la zone d'étude 3

II.Deuxième partie : Matériels et méthodes 5

1-Mesures biologiques 5
a-Présentation des parcelles mesurées 5
b-Fréquence des mesures : 6
c-Données récoltées sur le terrain 6
2-Etude de la profondeur des sols 12
a-Présentation des parcelles étudiées pour l'étude de profondeur de sol 12
b-Données récoltées sur le terrain 13
3-Traitements des données 14
a-Les données de profondeur 14
b-Les données satellitaires et GPS 15
c-Relations entre les données 15
4-Carte de la canne restée sur pied après la récolte 2004. 16

III- Résultats 18

1-Etude de la biomasse 18
a-Estimation de la biomasse au cours du temps. 18
b-Estimation du rendement à la récolte 25
Conclusions partielles : 29
2-Etude de la richesse en sucre. 30
a-Relations entre le Brix et la richesse en sucre 30
b-Etude de la richesse au cours du temps. 31
b-Estimation de la richesse à la récolte : 35

Conclusions 38

Annexe 1 : Les principaux acteurs de la filière canne en Guadeloupe: I
Annexe 2: Coordonnées des placettes étudiées et mesurées par GPS II
Annexe 3 : Protocole d'extraction de la chlorophylle III
Annexe 4 : Carte des points de mesures des parcelles étudiées IV
Annexe 5: Carte de profondeur de sol des trois autres parcelles étudiées V
Bibliographie VII

Introduction

Ce rapport s'inscrit dans le projet SUCRETTE mis en place par le CIRAD en collaboration avec Spot image et financé par le ministère de la recherche. Ce projet a été mis en place dans un contexte d'amélioration de la production de la canne à sucre ainsi que d'amélioration de la gestion des quotas de récolte en Guadeloupe. Il a été mis en place sur trois sites pilotes que sont la Réunion, Maurice et la Guadeloupe. Ses objectifs principaux sont :

La mise à jour du parcellaire cannier et l'évaluation des nouvelles réglementations
Le suivi de la campagne de récolte
Les prévisions de rendement par une meilleure prise en compte de la variabilité spatio-temporelle du développement de la canne.

Ce système est basé sur un SIG parcellaire, couplé à un modèle de production et à une base de données agro-météorologiques, alimenté en temps quasi-réel par des séries temporelles d'images satellitaires (Bégué et al., 2002).

Ce rapport d'activité s'inscrit dans la troisième partie de ce projet à savoir la prévision des rendements et le suivi du développement de la canne par images satellites.
Nous présenterons succinctement les caractéristiques de la canne à sucre ainsi que les conditions agro-climatiques de la zone d'étude. Dans un deuxième temps, les matériels et méthodes employés seront décrits.
Nous présenterons dans cette partie la méthode employée pour effectuer la carte des cannes sur pied en fin de récolte 2004 demandée par la DAF.
Ensuite nous nous attarderons sur les résultats obtenus pour finir enfin par une conclusion et la présentation de perspectives d'étude.

Les résultats présentés dans ce rapport traiteront principalement des données récoltées en Guadeloupe, mais il sera également présenté les résultats obtenus pour les trois autres sites d'étude.

I-Présentation générale

1-Présentation de la canne à sucre

En Guadeloupe, l'étude s'est faite sur l'exploitation de Gardel, qui représente une superficie de 927 ha de canne. La surface totale de canne en Guadeloupe (Basse-Terre, Grande-Terre et Marie-Galante) représente 11 500 ha. Elle représente environ 50% de la production agricole de la Guadeloupe et la deuxième activité agricole de Guadeloupe après la banane. Les principaux acteurs de la filière "canne" guadeloupéenne sont listés en annexe 1. A l'échelle mondiale, la canne est cultivée sur 19,6 millions d'hectare. La **Figure 1** illustre la répartition de la sole cannière en Guadeloupe, sur laquelle est également repérée l'exploitation de Gardel.

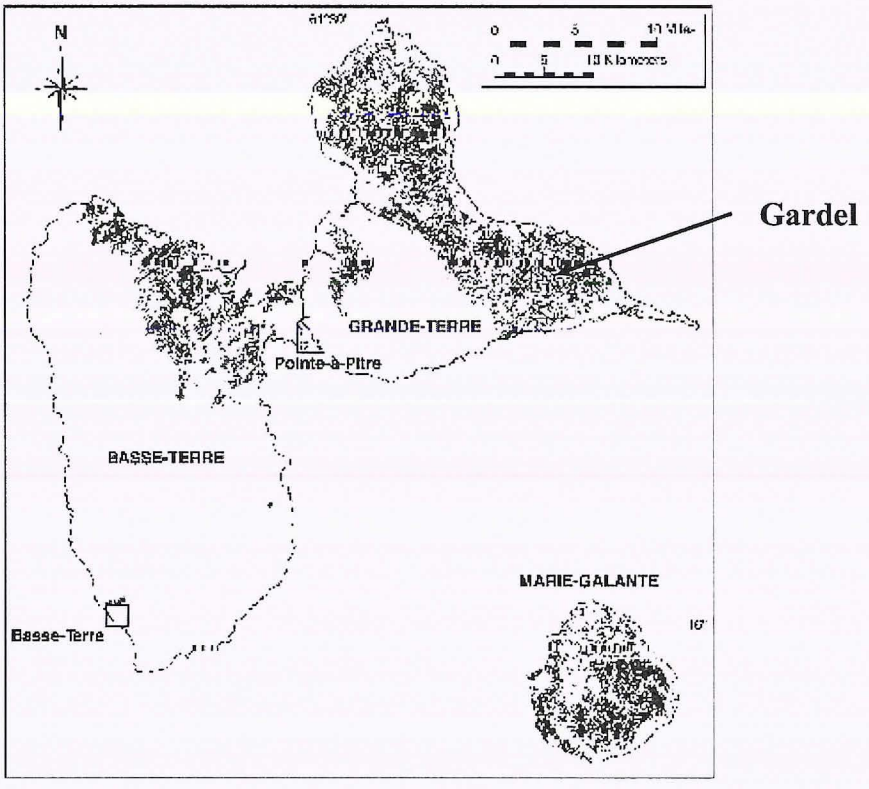


Figure 1 : Carte de la sole cannière et emplacement de l'exploitation de Gardel (Source : G. Lainé, 2000).

La canne est une culture pluriannuelle dont le cycle dure de 4 à 10 ans , selon le lieu, la variété, les maladies ... Elle a un enracinement vigoureux et résiste aux parasites du sol ainsi qu'aux maladies des racines. Elle est généralement cultivée en monoculture. C'est une bonne conservatrice des sols qui s'enrichissent en général au fur et à mesure des récoltes grâce aux racines et aux résidus de récolte.
Le cycle recommence jusqu'à ce que le rendement agricole soit jugé insuffisant et que l'on procède à une nouvelle plantation par bouturage.
Le potentiel de la canne est de l'ordre de 80 à 100 tonnes de tiges contenant 14 % de saccharose par hectare et par an. La richesse en sucre peut varier d'une tige à l'autre et du pied au sommet.

La canne se conserve très peu après la récolte, entre 24h et 48h. Elle produit à la récolte de gros tonnages. Une bonne logistique est donc indispensable à la récolte, puisque les usines ont une certaine capacité de traitement et que les cannes coupées ne se conservent pas.
La canne est peu exigeante en traitement mais elle a besoin d'eau et de chaleur pour ses phases végétatives de croissance. Pour obtenir de bons résultats, elle doit recevoir de 2000 à 3000 millimètres de pluie durant sa croissance. Au delà de 3000 mm, la canne a des difficultés à mûrir. Il lui faut pourtant un froid relatif ou bien de la sécheresse pour que le saccharose s'accumule dans les tiges.

Les facteurs climatiques ont un effet dominant sur la canne, qu'il s'agisse de sa physiologie ou des phases de son cycle.

2-Présentation de la zone d'étude

Les caractéristiques agro-climatiques de la zone de Gardel sont celles qui prévalent sur la majeur partie de la Grande-Terre : sols argileux gonflants (vertisols) et très fort variabilité inter-annuelle de la pluviométrie, avec une saison sèche plus marquée de janvier à juin. La Figure 2 expose la pluviométrie des années 2003 et 2004, comparées à la moyenne des valeurs de la pluviométrie calculée entre 1988 et 2004.

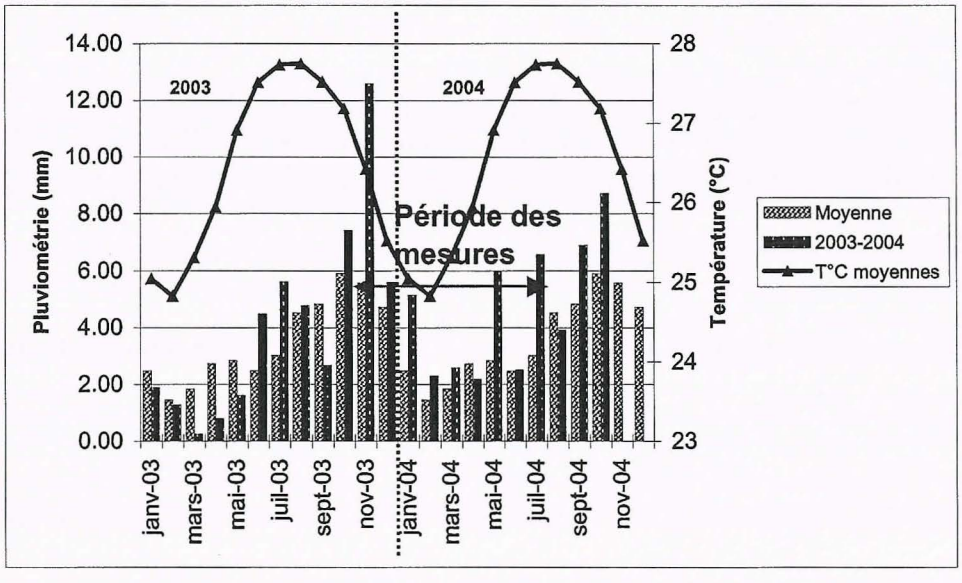


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Gardel de 2003-2004.

Nous pouvons remarquer que l'année 2003 fut une année sèche alors que 2004 présente des valeurs de pluviométries élevées.
Par ailleurs, nous avons indiqué sur la graphe la période où les mesures ont été faites (de novembre 2003 à juin 2004).

Sur le graphe, seules les températures moyennes sont représentées car nous n'avons pas pu obtenir les données journalières après juin 2003. Mais la température évolue de manière

relativement constante d'une année sur l'autre. En effet, l'action tampon des masses océaniques maintient la température moyenne entre 20°C et 30°C.
La saison sèche, ou « carême », s'étend de janvier à mai et la saison humide, ou « hivernage », de juin à décembre. Les cyclones se manifestent en général entre juillet et octobre.

Du point du vue du relief, Gardel se situe en Grande-Terre dont la roche mère est calcaire et qui est constituée de "mornes" ou collines peu élevées. Le point culminant de 135 m d'altitude se situe au "Morne L'Escale".

Les sols de Grande Terre sont des vertisols à argiles gonflantes (montmorillonite) qui les rendent compactes et leur confèrent une propriété d'adhérence (en période humide) ainsi que des propriétés de gonflement-retrait. En saison sèche, ils présentent de larges et profondes fentes de retrait. Ils se rencontrent dans les régions caractérisées par une alternance de saisons contrastées, sèches et humides.

Ces propriétés de gonflement bouleversent les notions classiques de porosité des sols pour l'eau et pour l'air, le comportement vis-à-vis de l'eau et le travail du sol.

II.Deuxième partie : Matériels et méthodes

1-Mesures biologiques

a-Présentation des parcelles mesurées

La période de mesures à débutée le 25 novembre 2003 et s'est achevée le 08 juin 2004.

Le travail se base sur un ensemble de parcelles regroupant des variétés, des âges et des stades différents. Les variétés étudiées sont la B82139, la B80689 et la CO6415. Le jeu de données que nous avons sélectionné est deux parcelles en « canne plantée », un premier rejeton, trois parcelles en deuxième rejeton, une parcelle en troisième rejeton et trois parcelles en quatrième rejeton. Parmi les différents rejetons, nous disposons de parcelles ayant été récoltées précocement ou tardivement.
Neuf parcelles sont ainsi suivies jusqu'à leur date de coupe. La Figure 3 présente les parcelles sélectionnées pour les mesures biologiques.

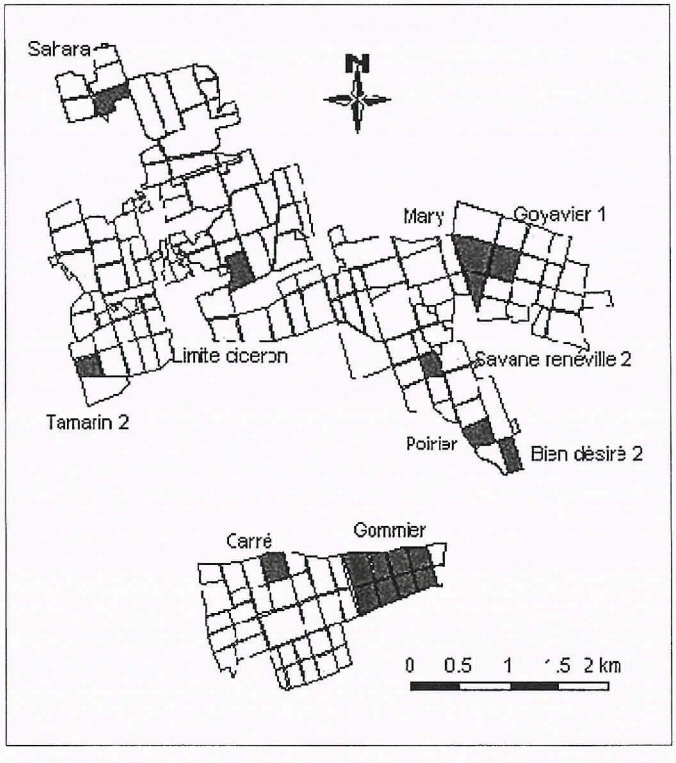


Figure 3: Localisation des parcelles sélectionnées pour les mesures biologiques.

Le Tableau 1 récapitule les caractéristiques agronomiques de chaque parcelle suivie.

Tableau 1: Caractéristiques agronomiques des parcelles suivies pour l'étude de biomasse.

Nom parcelle	Variété	Cycle 03-04	Date de coupe 2003	Date de coupe 2004	Durée du cycle 03-04 (j)	Nb de mesures
Bien désiré 2	B 82139	4e rejeton	26/04/2003	23/06/2004	424	7
Carré	B 80689	1er rejeton	25/03/2003	30/04/2004	402	6
Gommier	B 80689	CP	23/04/2002	31/03/2004	708	2
Goyavier 1	B 80689	2e rejeton	05/04/2003	16/04/2004	377	6
Limite Ciceron	CO 6415	4e rejeton	31/05/2003	08/07/2004	404	5
Mary	B 82139	2e rejeton	30/06/2003	27/07/2004	393	8
Poirier	B 80689	2e rejeton	25/06/2003	29/07/2004	400	8
Sahara	CO 6415	3e rejeton	30/04/2003	09/06/2004	406	6
Savane renéville 2	B 80689	CP	18/04/2002	19/03/2004	701	2
Tamarin 2	B 82139	4e rejeton	12/06/2003	03/06/2004	357	7

Sur chaque parcelle, trois placettes sont étudiées. Ces placettes sont choisies au hasard mais correspondent à une zone homogène de la parcelle. Cette zone est matérialisée au sol par une bande de chantier de 3m de long. Les inter rangs font en moyenne 1,50 m ce qui correspond à une zone d'étude de 4,5 m². Le rang, sur lequel la bande de chantier est posée, est matérialisé en bordure de champs.
Il est important de noter que l'emplacement des placettes où les mesures agronomiques ont été effectuées ont été repérées par GPS.

En effet, le but des mesures est de relier les caractéristiques agronomiques des cannes avec les données des images satellites. Il faut donc pouvoir repérer avec précision le lieu de ces mesures sur les images. Le GPS utilisé est un GPS différentiel TRIMBLE Pathfinder Power. Les coordonnées des placettes sont présentées dans l'annexe 2.

b-Fréquence des mesures :

Les premières mesures ont été effectuées fin novembre 2003. Les deux premières séries de mesures sont espacées de 15 jours car dans cette période les pluies sont encore importantes et la croissance de la canne est forte. Ensuite, dès janvier 2004, les séries de mesures sont espacées d'un mois ce qui permet entre deux séries de traiter les échantillons. Des difficultés ont été rencontrées au cours des mesures. Les parcelles en cannes plantées ont été rapidement versées. Elles ont été abandonnées rapidement, d'où le nombre de mesures faible pour ces parcelles. Par ailleurs, les autres parcelles n'ont pas le même nombre de mesures pour ces mêmes raisons, mais aussi parce qu'elles n'ont pas été récoltées à la même date.

c-Données récoltées sur le terrain

Au niveau des placettes, des mesures non destructives et destructives sont effectuées. Seules les mesures non destructives seront recueillies au niveau des 4,5 m², les autres étant recueillies à proximité (dans le rang d'à côté). La zone d'étude totale est alors d'environ 10 m². Le Tableau 2 récapitule l'emplacement des mesures selon leur effet sur la canne.

Tableau 2 : récapitulatif de l'emplacement des mesures effectuées au champ.

Mesures non destructives sur les 4,5 m²	Nombre de tiges
	Nombre de feuilles vertes
	Hauteur TVD
	SPAD sur 15 feuilles F3
	Estimation du LAI
Mesures destructives par prélèvement de matériel végétal dans le rang d'à coté	Estimation du LAI
	Mesure du BRIX
	Teneur en eau des tiges
	Teneur en eau des feuilles
	Dosage de chlorophylle
	Dosage de l'azote des feuilles
	Analyses par les CTICS

Les mesures non destructives

❖ **Hauteurs des tiges, nombres de tiges et nombres de limbes verts.**

La hauteur des tiges est une mesure faite entre la base de la canne et le dernier ochréa visible. On mesure sur chaque placette la hauteur de toutes les tiges le long des 3m linéaires de rang. Sur ces 3m linéaires, le nombre de tiges est également compté. De même, le nombre de limbes verts jusqu'au TVD est compté pour les cannes au niveau des 3 m linéaire.

❖ **SPAD**

On sélectionne sur chaque placette au hasard 15 feuilles F3 (3e feuille développée à partir du dernier ochréa visible. Sur chacune d'elle, 3 mesures de SPAD sont effectuées au niveau du tiers médian de la feuille.
Le lecteur SPAD est un chlorophyllemètre qui fonctionne par transmittance. Il évalue la transmission de la lumière émise par une diode au travers de la feuille. Les longueurs d'onde utilisées sont 650 et 940 nm, soit dans le rouge et l'infrarouge (Minolta Co. Ltd 1989).
L'information obtenue par le chlorophyllemètre est un nombre sans unité. Il s'agit d'une valeur arbitraire qui devient source d'information lorsqu'elle est comparée à un témoin. La précision de la mesure est de 0,1 (unité SPAD) et les mesures classiquement retrouvées varient de 0 à 50 unités SPAD. Les valeurs obtenues sont proportionnelles au taux de chlorophylle (Scheppers et al., 1992) (Dwyer et al. , 1994) (Smeal et al., 1994) (Westcott et al. , 1995).
La Figure 4 présente le SPAD ainsi que son mode d'utilisation.

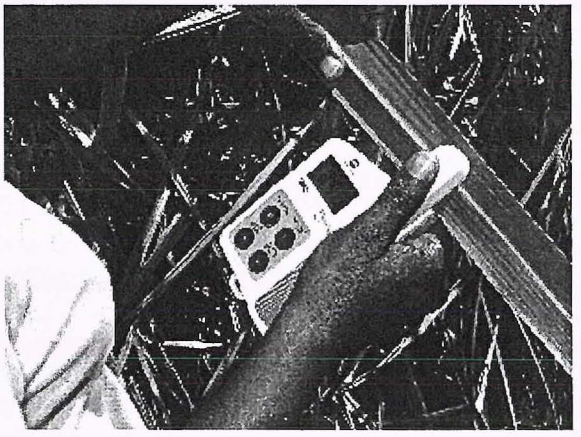


Figure 4 : Prise de mesure avec le SPAD 502.

Il se présente sous forme de pince. Un côté de la pince émet la lumière alors que l'autre côté est doté d'un récepteur de 2x3 mm. La lumière transmise au récepteur est convertie en signaux électriques analogiques puis en valeurs numériques. On effectue au préalable une mesure d'étalonnage à vide. Ensuite seulement on introduit une feuille dans la pince pour obtenir une valeur correspondant à sa teneur en chlorophylle.

❖ **mesures de LAI (Leaf Area Indice)**

- LAI en croissance

On effectue des mesures de surface foliaire pour suivre l'évolution du LAI (Leaf Area Indice). Pour cela, trois tiges primaires sont sélectionnées au hasard sur les 3m linéaire. La longueur et la largeur de tous les limbes verts jusqu'au dernier ochréa sont mesurées. La hauteur des tiges est aussi notée. Le but de ces mesures est d'établir la relation entre LAI et hauteur des tiges afin d'estimer par la suite cet indice foliaire par une simple mesure de hauteur de tiges.
La surface d'une feuille est déterminée par la relation :

$$\boxed{s = 0{,}7 \times L \times l}$$ Martiné J.F. (2002)

Où L est la longueur de la feuille
Et l la largeur de la feuille

La somme des surfaces foliaires est calculée pour chaque tige ce qui permet de calculer ensuite une moyenne de la somme de la surface foliaire sur les trois tiges.
Connaissant le nombre de tiges sur 3m et ayant mesuré la distance inter-rang (de ±1,5 m), nous calculons le nombre de tiges par m².

$$\boxed{LAI = \frac{(NxS)}{4{,}5}}$$

Où N est le nombre de tiges sur les 3m
S est la moyenne des surfaces foliaires des 3 tiges (m²)
4,5 est la surface d'étude que représentent les 3 m linéaire (m²)

Au début de la campagne de mesure, le LAI est mesuré de façon non destructive sur 3 cannes des 3 m linéaire. A partir du mois de mars 2004, celles-ci deviennent trop hautes pour être mesurées. On coupe alors les tiges pour mesurer les feuilles. Les mesures de longueur et largeur sont effectuées sur 3 cannes prélevées à proximité du rang. Ces cannes sont ensuite utilisées pour d'autres analyses.

- Relation hauteur / surface foliaire

Après la récolte, un suivi de la hauteur des cannes et de leur surface foliaire est entrepris pour obtenir la relation entre la surface de limbes verts totaux de chaque tige d'une part et d'autre part le produit Hauteurjusqu'au dernier ochréa visible / tige (m) x Nombre de limbes verts jusqu'au TVD / tige. (Martiné J.F., 2004).
Pour établir cette courbe, nous utilisons les mesures effectuées en croissance ainsi que celles effectuées après la récolte. Pour ces dernières, 9 tiges sont sélectionnées au hasard dans la parcelle. Aucune moyenne n'est effectuée et les neuf valeurs sont traitées individuellement. Il y a donc une différence d'échantillonnage entre les deux parties de la courbe.

❖ **Observations**

Au niveau de chaque placette, des observations et commentaires sont également enregistrés tels que:

la quantité de paille au sol
la quantité de feuilles mortes sur pied
facilité de pénétrer dans la parcelle jusqu'à la placette
quantité de cannes droites au niveau de la placette
humidité du sol
quantité de mauvaises herbes au niveau de la placette
homogénéité de la placette
homogénéité de l'environnement autour de la placette

Ces précisions sont notées pour voir si ces éléments sont distinguables sur les images satellites.
Par exemple, pour les parcelles versées, il est noté la date à laquelle ce phénomène s'est produit. Il sera tenté par la suite d'identifier sur les images satellites les lieux de verse, ce qui permettrait à terme de repérer rapidement les zones versées sur les images.

Les mesures destructives

Pour effectuer certaines mesures des prélèvements de matériel végétal sont nécessaires et sont effectués à proximité de la placette.

❖ **Mesures de Brix**

Le brix est mesuré grâce à un réfractomètre manuel sur le terrain (type ATC-1). Il indique le taux d'impuretés dans une canne et est relié à la teneur en sucre. Le brix n'est qu'un indicateur. Il est en général plus élevé à la base de la canne en début de période de maturité. Le gradient tend à s'équilibrer au fur et à mesure que la maturité de la canne augmente.
Les mesures de brix n'ont un sens qu'à partir du moment où les cannes sont âgées d'environ 7 mois. (Oriol P., communiqué interne)

Pour ces mesures, on sélectionne 3 cannes primaires sur lesquelles on effectue des mesures de brix en bas, au milieu et en haut des tiges. On extrait quelques gouttes de jus de canne à l'aide d'une tige métallique en forme de gouttière. Celles-ci sont déposées sur le réfractomètre. Il suffit ensuite de lire la valeur du brix. Ces 3 étapes sont illustrées sur Figure 5 :

1.

2.

3.

1. Prélèvement de quelques gouttes de jus de canne grâce à une tige métallique en forme de gouttière.
2. Dépôt des gouttes prélevées sur le réfractomètre manuel
3. Lecture de la valeur du BRIX

Figure 5 : Etapes de prélèvements du jus de canne pour la détermination du Brix avec le réfractomètre.

❖ **<u>Mesure de la surface foliaire</u>**

Les trois cannes qui ont servies pour les mesures du brix servent également pour la relation entre la surface foliaire d'une part et d'autre part le produit entre la hauteur des tiges et le nombre de limbes verts.
La hauteur des cannes est donc mesurée. La longueur et la largeur de tous les limbes verts (au moins 50% de vert) sont mesurées.

❖ **Teneur en eau relative des tiges**

Les trois cannes ayant servis pour les mesures de surface foliaire et de brix sont ensuite utilisées pour la détermination de la teneur en eau relative des tiges. Cette mesure se fait pour le haut, le milieu et le bas de la tige. Pour cela, les tiges sont coupées en trois morceaux. Pour chaque lot de trois tiges, les parties hautes, milieu et basses sont rassemblées et sont pesées séparément. Celles-ci sont ensuite placées dans une étuve à 90 °C pendant 48h. Elles sont ensuite pesées en sec. La détermination de la teneur en eau relative se fait par la formule :

$$\text{TER} = 100 - \frac{MS \times 100}{MF}$$

où MS est le poids sec
MF est le poids frais

❖ **Teneur en eau des feuilles**

15 feuilles F3 sont prélevées au hasard autour de la placette. Ces feuilles sont coupées en trois parties de manière égale et seule la partie médiane est conservée. Une petite partie de cette partie médiane est mise de côté pour l'extraction de la chlorophylle.
Ces morceaux de feuilles sont pesés en frais puis placés en même temps que les morceaux de cannes dans l'étuve à 90°C pendant 48h. Le poids sec est pesé à la sortie de l'étuve. On détermine la teneur en eau relative de la même façon que pour les tiges.

❖ **Dosage de l'azote total des feuilles**

Une fois sorties de l'étuve, les feuilles sont coupées en petits morceaux et placés dans des sacs imperméables à la lumière. Sur ces échantillons, un dosage de l'azote total par analyseur élémentaire est effectué par l'INRA. Ces analyses ont pour but d'étalonner les mesures de SPAD.

❖ **Extraction et dosage de la chlorophylle**

Le dosage de la chlorophylle se fait sur les petites parties de feuilles prélevées au niveau du 1/3 médian des feuilles. Celle-ci peut se faire jusqu'à une semaine après le prélèvement du matériel végétal.(communiqué interne) Les échantillons sont conservés au réfrigérateur. Le protocole d'extraction de la chlorophylle a été élaboré par Fabre, D. (2003) et se trouve en. annexe 3.
Ce dosage vise à étalonner les mesures de SPAD car des mesures de SPAD sont faites sur les feuilles juste avant de les broyer et d'effectuer le dosage.

❖ **Mesures de richesse**

Sur une des trois placettes de chaque parcelle, quatre cannes sont prélevées et envoyées au CTICS[1] pour obtenir une mesure de la richesse en sucre de ces cannes. Le CTICS nous donne également des mesures de BRIX, du gâteau, du jus de la canne et de la pureté de ce jus. Cela donne un complément d'informations sur l'état et la maturité de la canne.

[1] Centre Technique Interprofessionnel de la Canne et du Sucre

2-Etude de la profondeur des sols

a-Présentation des parcelles étudiées pour l'étude de profondeur de sol

Sur les images satellites, certaines parcelles ont un aspect hétérogène. Afin d'estimer la participation de l'hétérogénéité de la réserve utile du sol à l'hétérogénéité de la croissance végétale, nous avons effectué des études de profondeur de sol.

En effet, les sols à argiles gonflantes sur calcaire corallien de la zone caraïbe montrent une très forte variabilité spatiale. (Cabidoche, 1985). Ils sont distribués en séquences courtes, de 10 à 200 m, comportant à un pôle des sols courts, riches en calcaire, de type rendzine, à l'autre des vertisols hydromorphes développés sur une argile gonflante profonde (4 à 5 m). Les smectites, argiles très gonflantes, prédominent dans la fraction argileuse.(Cabidoche, 1985).
Ces sols peuvent être simplifiés sous la forme d'une juxtaposition des smectites, et du calcaire, sous forme de sable, de graviers et de cailloux. (Cabidoche , 1985).
La Figure 6 localise les parcelles de mesure.

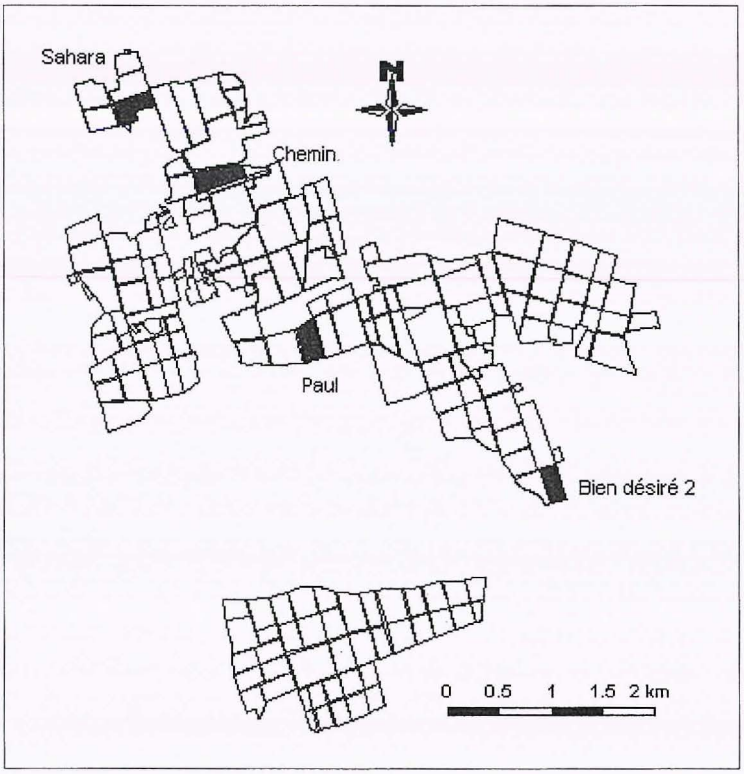


Figure 6 : Localisation des parcelles suivies pour l'étude de la profondeur du sol

Les caractéristiques de ces parcelles sont indiquées dans le **Tableau 3** :

Tableau 3 : Caractéristiques des parcelles sélectionnées pour les mesures de profondeur.

Nom parcelle	Homogénéité sur les images	Cycle 2003-2004	Superficie
Bien désiré 2	Oui	4e rejeton	5 ha
Chemin	non	GC	7,42 ha
Paul	non	PC	3 ha
Sahara	non	3e rejeton	6,45 ha

b-Données récoltées sur le terrain

La profondeur est déterminée par la méthode de résistivité électrique. Elle permet de définir la distribution des matériaux constitutifs des sols grâce à leur contraste de résistivité : 3 m pour l'argile gonflante contre 15 ô m pour le calcaire (Cabidoche, 1985).

La mesure de résistivité d'une couche de sol est obtenue en implantant 4 électrodes alignées A, M, N et B et en faisant passer un courant via les électrodes extrêmes A et B (Figure 7)

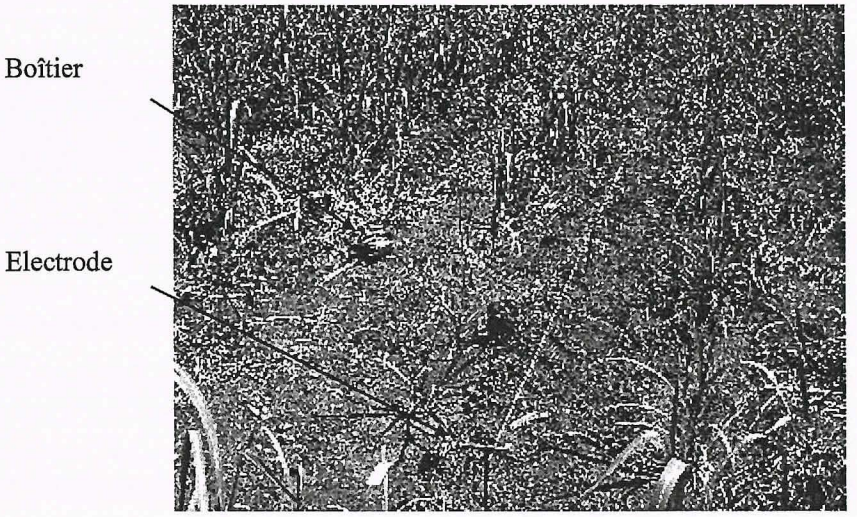


Figure 7 : Dispositif de mesure de profondeur du sol

Les électrodes M et N du milieu interceptent les lignes de courant entre A et B considérées comme étant les surfaces équipotentielles à des plans parallèles. (J.M. Remond 2002).

Dans la méthode de Wenner, où AM=MN=NB=a

$$= 2 \ .a.R$$

où est la résistivité lue
a est la distance en mètre entre les électrodes
R est la résistance de la couche en ohm

La résistance est lue directement sur le boîtier (Figure 8).

Figure 8 : lecture directe de la valeurde la résistance sur le boîtier

La valeur de a = 2m se révèle discriminante pour le détermination de la distance du socle corallien dans les vertisols de grande terre. (J.M.Remond 2002).
La détermination de la profondeur du sol s'effectuegrâce à la formule :

$$Z= 2-0,74\ln(-3)$$

Où z est la profondeur du sol en m

Nous décidons de caractériser chaque parcelle avec un quadrillage de 20m sur 20m.
On obtient donc un semis de point de profondeur. Chaque point de mesure est repéré par GPS, pour pouvoir ensuite mettre en relation les valeurs de NDVI avec les valeurs de profondeur déterminées.
Les cartes des points de mesures repérés par GPS de chaque parcelle sont présentées en annexe 4.

3-Traitements des données

a-Les données de profondeur

L'utilisation du logiciel Surfer permet d'interpoler les valeurs de profondeur de sol entre les mesures. Pour cela on utilise la méthode du Kriegeage.
On procède à une interpolation tous les 10 m pour que la taille du quadrillage obtenu corresponde à la taille des pixels de l'image satellite.

On obtient alors des cartes de profondeur de sol comme nous le montre la Figure 9.

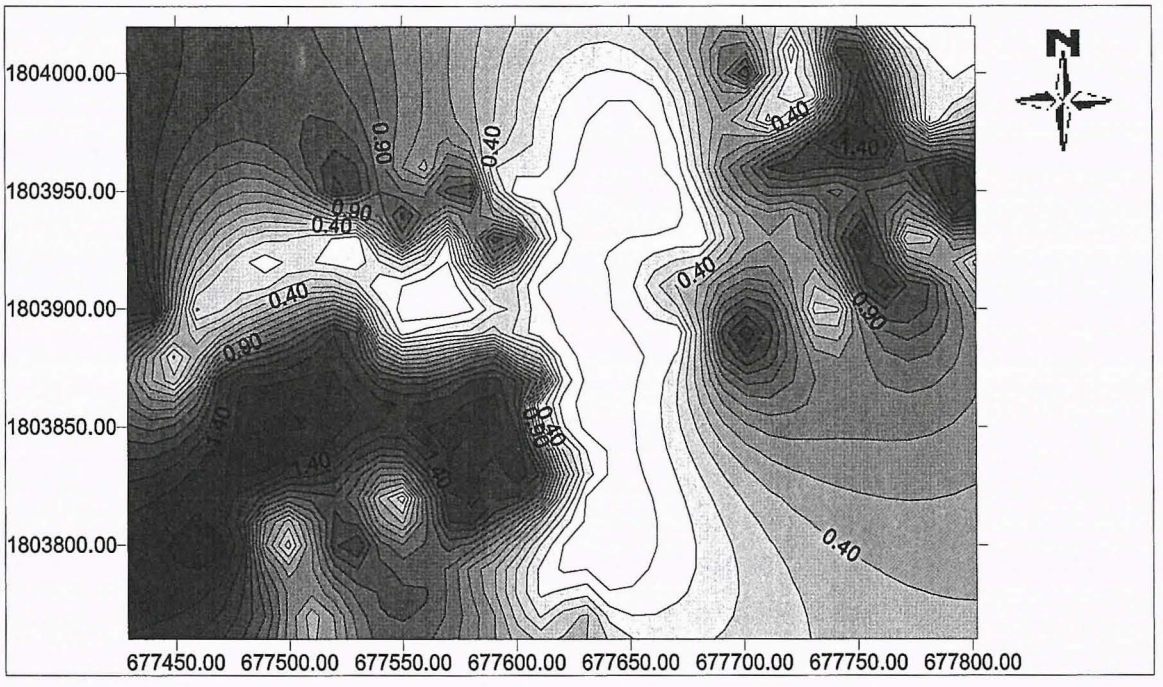


Figure 9 : carte de profondeur de sol de la parcelle Sahara en mètres.

Les coordonnées sont en UTM 20.

Les autres cartes de profondeur se trouvent en annexe 5.

b-Les données satellitaires et GPS

Les mesures GPS sont faites sur le terrain grâce à un GPS différentiel Trimble PathFinder Power connecté à un carnet de terrain TSCe sous environnement Windows CE, avec une précision maximum de 10m.
Les mesures enregistrées par le GPS peuvent subir des corrections pour affiner le calcul de la position. Les corrections sont calculées par une station de référence située au CIRAD-CA, sur la station de Roujol (Petit-Bourg).
La station de référence enregistre les corrections différentielles pendant que le mobile enregistre ses positions. Corrections différentielles et positions du mobile sont toutes parfaitement horodatées. Ces positions sont corrigées en post-traitement avec le logiciel *Pathfinder Office*©(d3e électronique) et la précision obtenue peut atteindre 40 cm.

On exploite ensuite les données du GPS avec le logiciel de SIG Geoconcept©. Il permet de superposer les points GPS aux images satellites et de gérer les informations recueillies sur le terrain.

c-Relations entre les données

Toutes les données agronomiques et de télédétection seront traitées grâce au logiciel R©.
Ce logiciel permet d'écrire des programmes et de mettre en relation les variables entre elles.
Il permet également de faire des analyses statistiques et graphiques.(Paradis, E., 2000).

4-Carte de la canne restée sur pied après la récolte 2004.

Nous disposons de sept images satellites dont les caractéristiques sont indiquées ci-dessous dans le Tableau 4

Tableau 4 :Caractéristiques des images satellites

N°	Date	Satellite (capteur	Incidence R = (-)	Soleil (élévation)	Azimuth N	Qualité	Orientation N angle	Diff. Azimutale	Angle phase
1	04/01/2004	5 (1)	-2,2	45,9	151,0	OK	12,7	48,4	42,7
2	31/01/2004	4 (1)	13,4	50,2	146,9	Lignage Gardel	9,5	-132,6	49,7
3	01/03/2004	5 (1)	5,8	57,4	135,5	OK	12,9	-147,4	37,5
4	12/04/2004	5 (1)	-10,5	67,9	107,4	OK	12,6	4,9	11,7
5	27/04/2004	5 (1)	13,3	72,9	95,6	OK	13,2	-187,6	30,4
6	19/06/2004	5 (1)	-24,9	67,0	68,0	OK	12,2	-34,2	13,8
7	06/08/2004	4 (2)	-18,2	67,5	85	OK	8,5	-13,5	6,3

A partir de ces images, sept cartes de NDVI ont été créées en enlevant les nuages. A partir des cartes de NDVI, nous avons créé des cartes en repérant les parcelles récoltées des non récoltées.
Nous avons codé les pixels comme suit :

- les parcelles récoltées en 0
- les parcelles non récoltées en 2
- les nuages en 0

Ensuite, ces sept images sont multipliées deux à deux. Nous obtenons alors des images intermédiaires ayant comme valeurs de pixel : 0, 0,25, 1 et 4.

	0	0,5	2
0	0	0	0
0,5	0	0,25	1
2	0	1	4

Les valeurs des pixels issues de la multiplication sont recodées comme suit :

Valeurs pixel après multiplication	Recodées par
0,25	0,5
1 et 4	2

Ces images intermédiaires sont multipliées entre elles. Le résultat des multiplications est recodé et cela est effectué jusqu'à l'obtention d'une seule image de récolte.
Par contre, les prises des images sont irrégulières. Il existe deux périodes de deux mois où aucune image n'a été prise. De plus, l'image du 27 avril 2004 est très nuageuse. Donc une parcelle peut avoir été coupée entre le 12/04/04 et le 27/04/04 et ne pas être visualisée comme

coupée à cause des nuages. Comme l'image suivante est très espacée dans le temps, cette parcelle aura eu le temps de pousser et son NDVI aura dépassé le seuil de 0,45.

Nous avons donc décidé de faire trois cartes de récolte :

- du 04 janvier 2004 au 27 avril 2004
- du 27 avril 2004 au 19 juin 2004
- du 19 juin 2004 au 6 août 2004

De plus, pour ces deux longues périodes, nous avons déterminé les parcelles qui étaient cachées par des nuages. Nous avons vérifié que ces parcelles n'avaient pas été déjà récoltées grâce aux différentes cartes de récolte que nous avons établies. Si ces parcelles cachées par les nuages n'ont pas été détectées comme récoltées avant ou après, on les considèrent comme des parcelles indéterminées.
Après avoir analysé toutes les parcelles indéterminées, nous avons réuni les trois cartes de récolte en une seule.
Cette première partie est faite sous Idrisi.

L'image raster est exportée sous Imagine ainsi que le parcellaire. Par la fonction Zonal dans le menu Attributes, le logiciel calcule le pourcentage des pixels dans chaque parcelle. En effet, chaque parcelle possède un mélange de pixel. On effectue des requêtes qui visent à attribuer pour une parcelle le codage du pixel qui est représenté à 20% ou plus dans la parcelle. De ce fait, la classification, effectuée en premier au niveau des pixels, est alors étendue à la parcelle. La carte finale indique les parcelles récoltées, non récoltées et indéterminées.
Cette classification est finalement exportée sous Géoconcept pour la mise en page et la superposition sur l'image satellite en vraie-fausse couleur.

Cette image satellite en vraie-fausse couleur est réalisée en appliquant les coefficients suivants :

Rouge : 0,1 x XS3 + 0,9 x XS2

Vert : 0,3 x XS3 + 0,7 x XS1

Bleu : 1 x XS1

III- Résultats

Le but du projet sucrette est de gérer la culture de la canne par images et notamment d'estimer le rendement et la richesse de la canne par images satellites.
Pour cela, dans le suivi de ces paramètres, deux phases peuvent être distinguées :

Le suivi de la biomasse et de la richesse au cours du temps, ce qui permet de repérer des anomalies de croissance ou de suivre simplement la croissance de la canne

L'estimation des paramètres du rendement au moment de la récolte.

Pour ces deux types d'analyses, les données agronomiques ne sont pas traitées de la même manière.
Par ailleurs, nous ne traiterons pas ici les données issues des images satellites.
Le but des résultats présentés et d'étudier la relation entre d'une part certaines variables agronomiques et d'autre part les valeurs de richesse et de biomasse.
Les variables agronomiques utilisées sont des mesures simples qui paraissent caractériser l'état de la culture, et qui semblent pouvoir être liées aux informations satellitales. Il s'agit des mesures suivantes :

LAI
Spad
Azote (N)
Chlorophylle
Teneur en eau des feuilles (Ter F)
Teneur en eau des tiges (Ter t)

Des mesures précédentes ont été effectuées en 2003, par Guitton M.sur la Guadeloupe et notamment à Gardel. Des mesures semblables ont été faites à la Réunion pour les saisons 2001-2002 et 2002-2003. Nous avons voulu traiter le plus possible ces données ensemble pour s'affranchir du lieu, mais cela n'est pas toujours envisageable pour deux raisons essentielles :

Les mesures agronomiques ne sont pas tout à fait les mêmes sur les trois sites d'étude
Les protocoles de mesures sont différents d'une année à l'autre (pour la Guadeloupe).

Il sera précisé à chaque graphique quelles sont les données prises en compte.

1-Etude de la biomasse

a-Estimation de la biomasse au cours du temps.

Pour cela, nous avons utilisé les valeurs de matière fraîche et sèche récoltées tous les mois. Avec ces valeurs, nous avons calculé un indice sur le même modèle que le LAI mais en remplaçant la surface foliaire par le poids frais ou le poids sec déterminés après analyses, pour avoir une notion du rendement au cours du temps.
Nous avons calculé un indice de poids frais et un de poids sec selon la formule suivante :

$$\text{Indice poids : } \frac{SxN}{4,5}$$

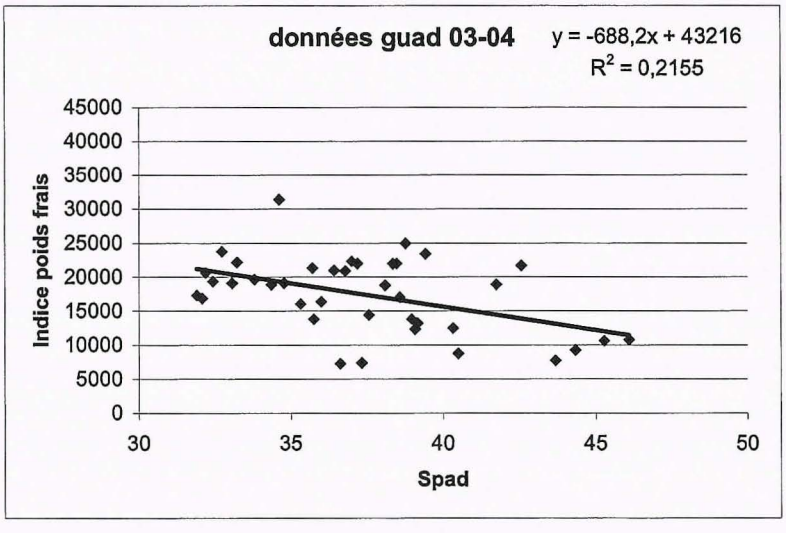
où S est la somme de poids (frais ou sec) des trois tiges analysées par parcelle
N est la nombre de tiges sur les 3 m linéaire
4,5 est la surface d'étude que représentent les 3m linéaire (m²)

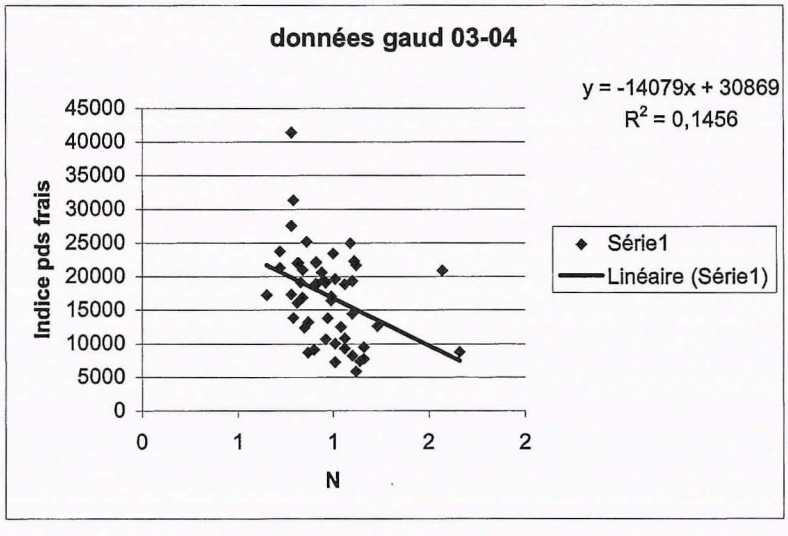
On obtient comme cela tous les mois une valeur de rendement en kg/m² que l'on peut mettre en relation avec les variables agronomiques mesurées au même moment.

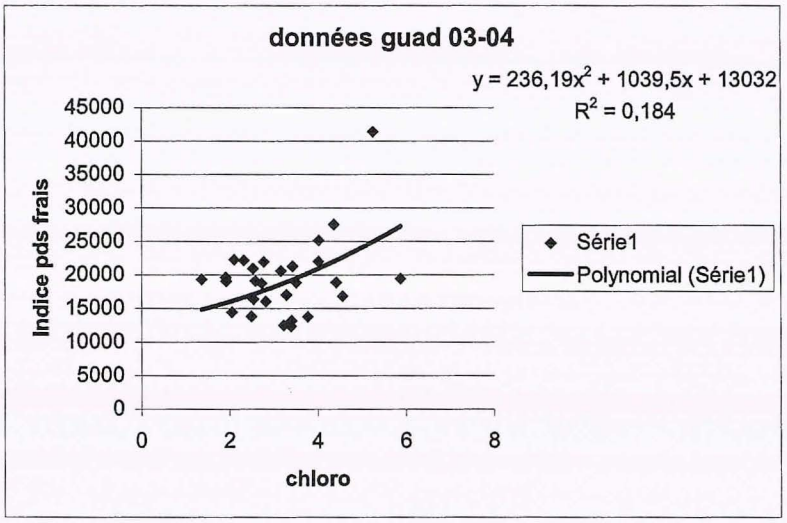
i-Relations avec les variables agronomiques seules

- **Indice poids frais :**

Nous ne présentons ici que les meilleures relations. Les autres courbes sont placées dans le recueil des graphes.
Les relations entre l'indice de poids frais et les variables agronomiques seules ne sont pas satisfaisantes.

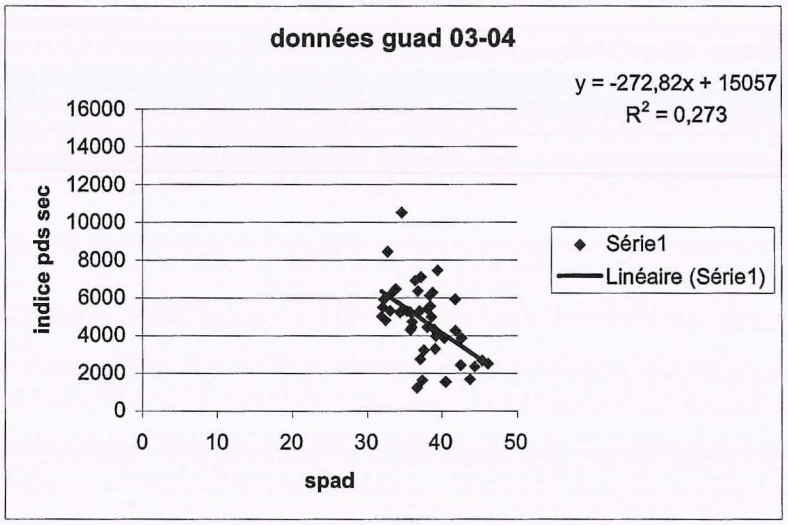


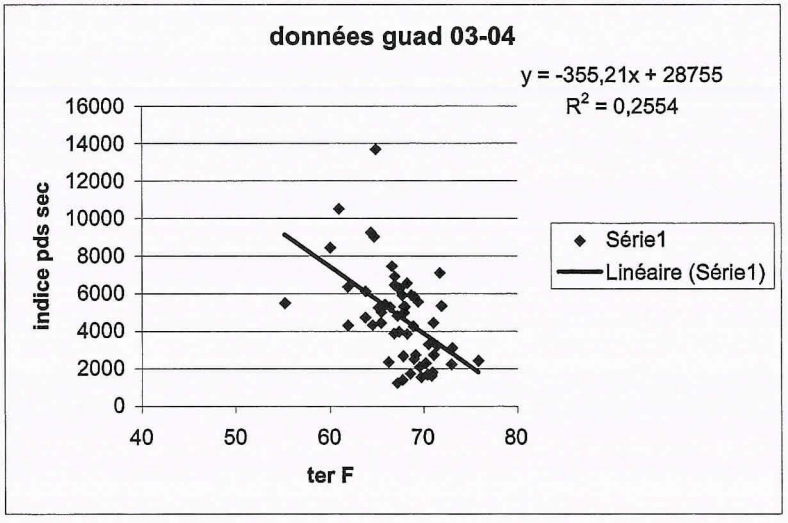


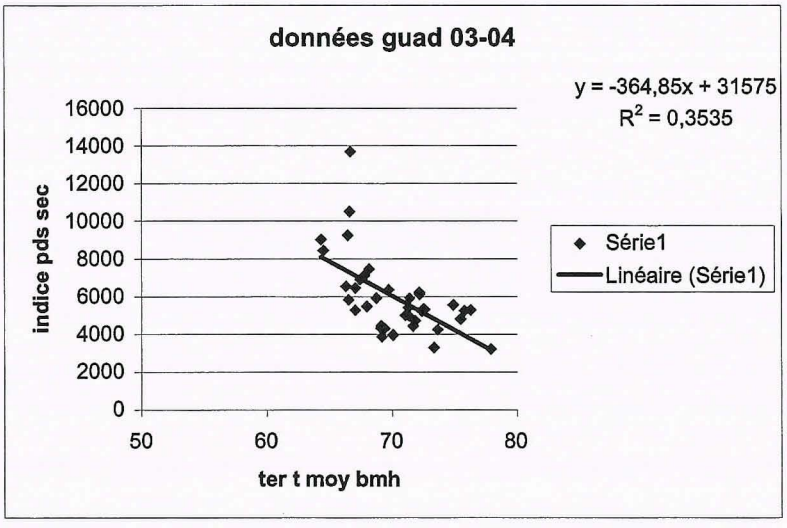


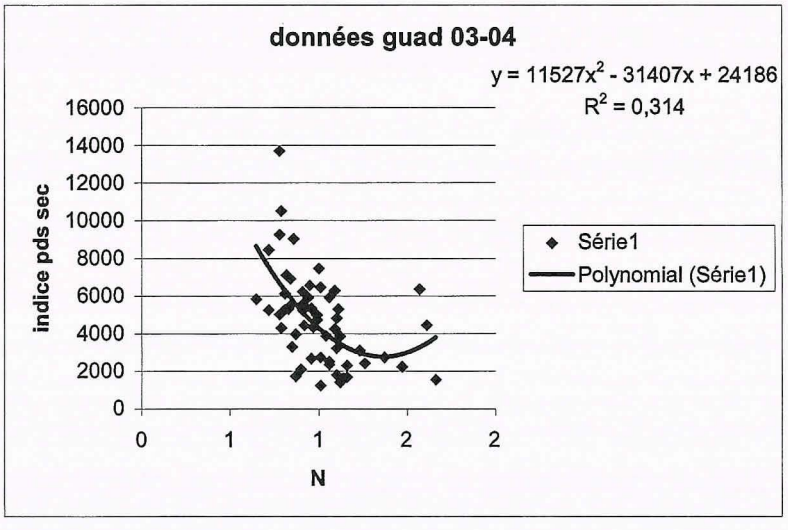
- **<u>Indice poids sec</u>**

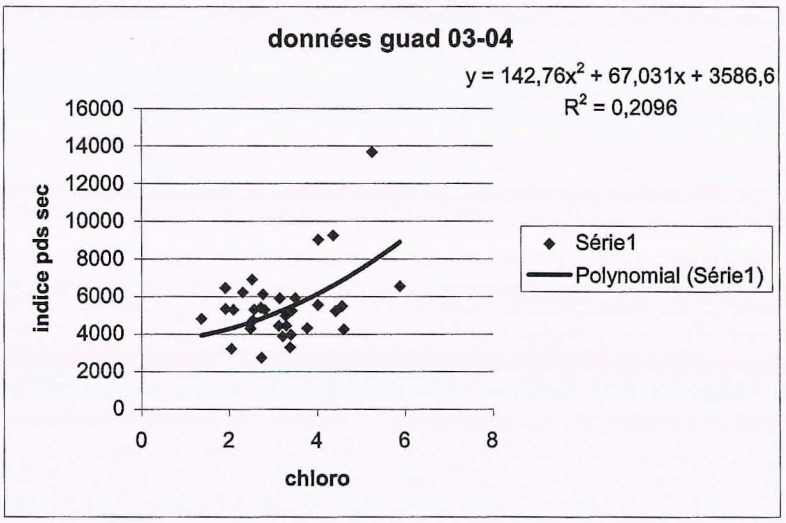
Les relations sont meilleures pour l'indice de poids sec.




données guad 03-04
y = -355,21x + 28755
R² = 0,2554
indice pds sec
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
40
50
60
70
80
ter F
Série1
Linéaire (Série1)


données guad 03-04
y = -364,85x + 31575
R² = 0,3535
indice pds sec
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
50
60
70
80
ter t moy bmh
Série1
Linéaire (Série1)


données guad 03-04
y = 11527x² - 31407x + 24186
R² = 0,314
indice pds sec
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
0
1
1
2
2
N
Série1
Polynomial (Série1)

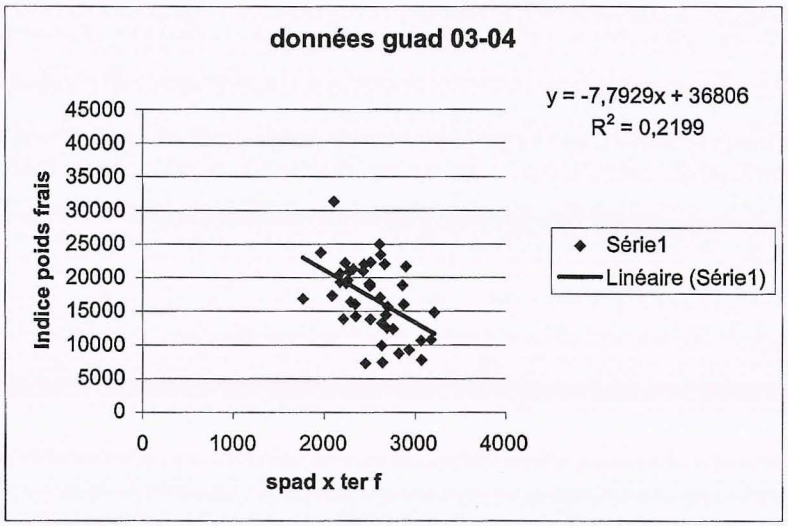


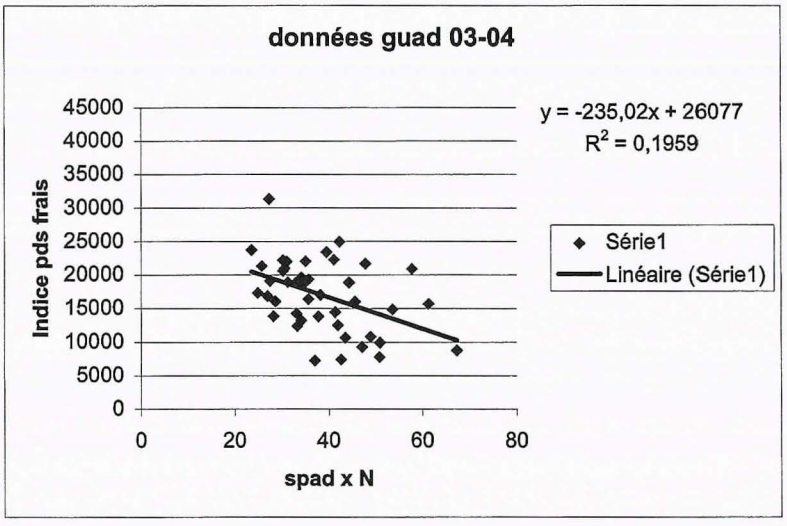
Pour ces deux indices de biomasse, les relations avec les données agronomiques seules ne sont pas satisafaisantes.

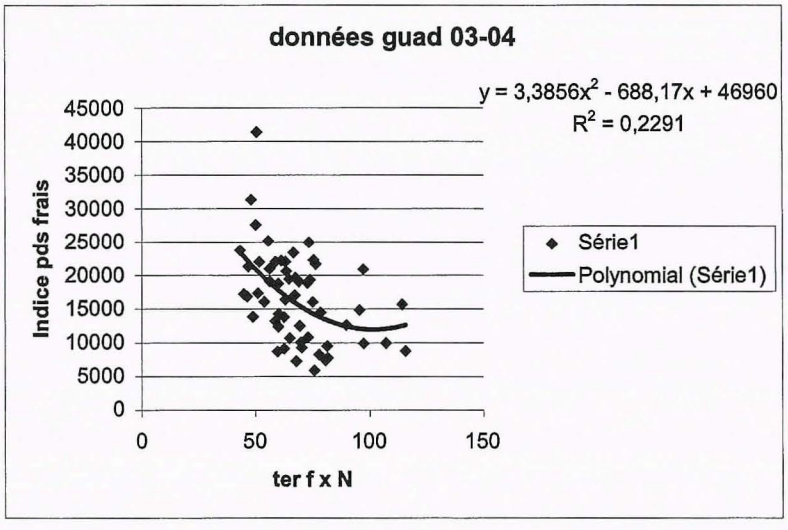
Nous avons donc mis en relation chacun de ces deux indices avec les données agronomiques multipliées deux à deux.

ii-Relations des indices de biomasse avec les données agronomiques multipliées entre elles :

- **Indice poids frais**

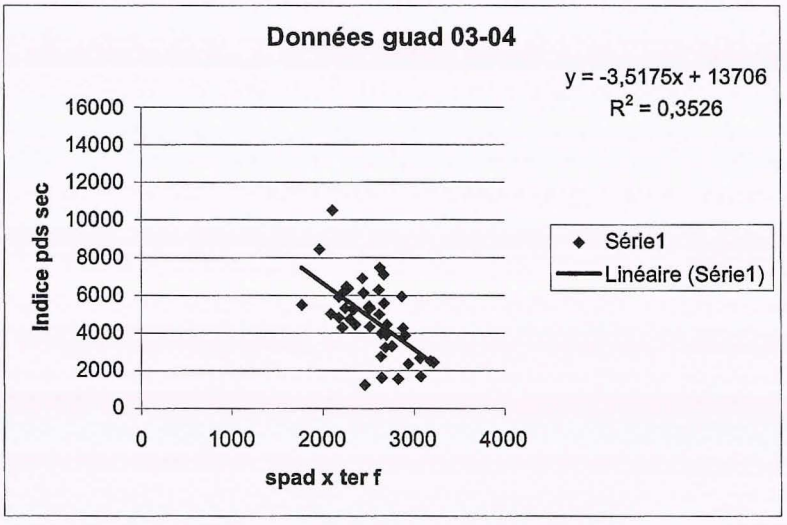


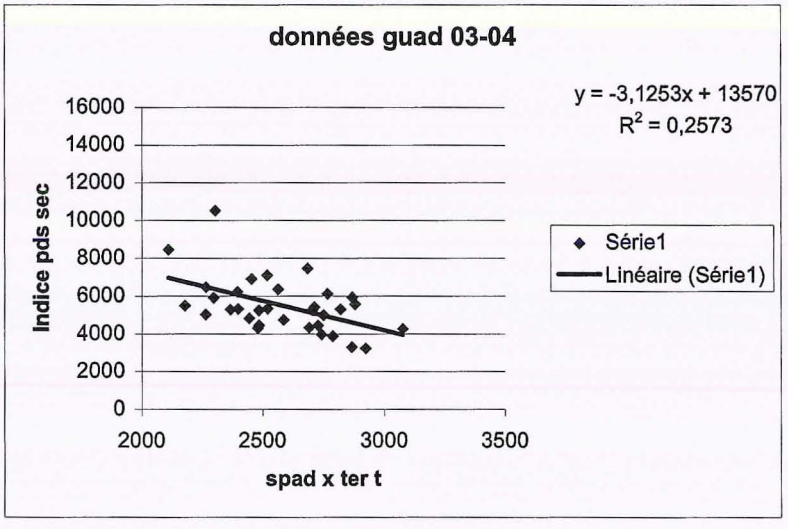


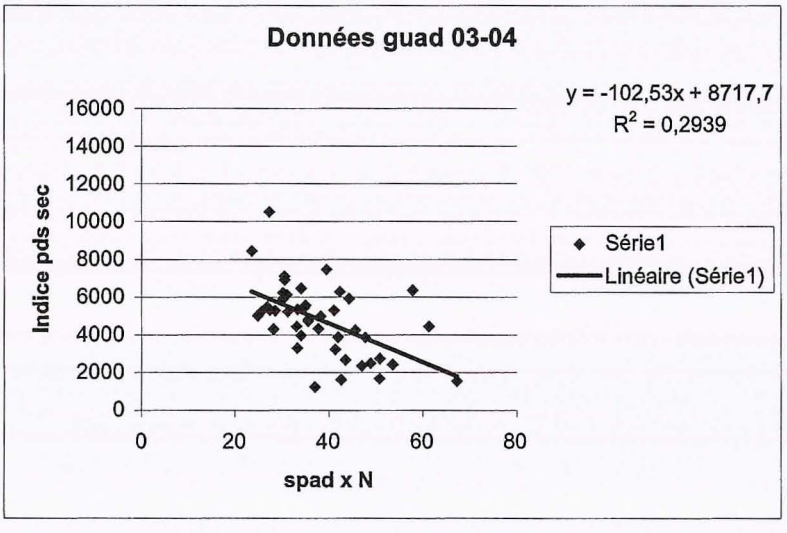


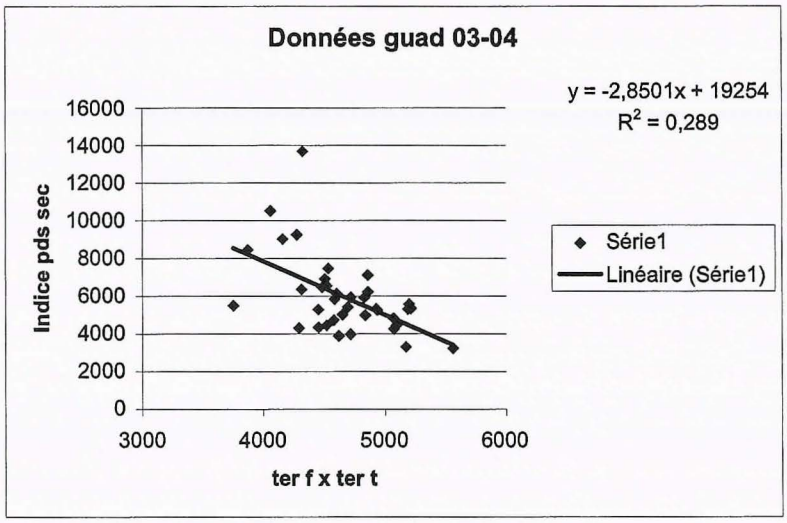
- **<u>Indice poids sec</u>**

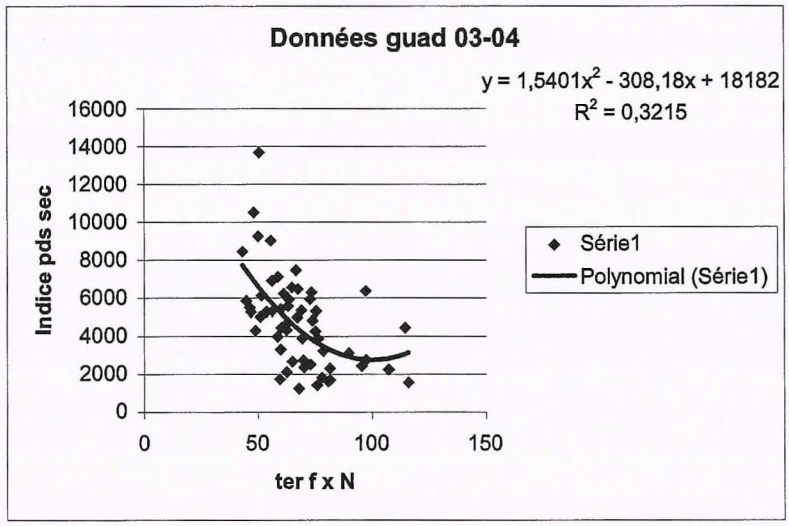
Là encore, les relations avec l'indice de poids sec sont meilleures.


Données guad 03-04
y = -3,5175x + 13706
R² = 0,3526
Indice pds sec
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
0
1000
2000
3000
4000
spad x ter f
Série1
Linéaire (Série1)


données guad 03-04
y = -3,1253x + 13570
R² = 0,2573
Indice pds sec
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
2000
2500
3000
3500
spad x ter t
Série1
Linéaire (Série1)


Données guad 03-04
y = -102,53x + 8717,7
R² = 0,2939
Indice pds sec
16000
14000
12000
10000
8000
6000
4000
2000
0
0
20
40
60
80
spad x N
Série1
Linéaire (Série1)





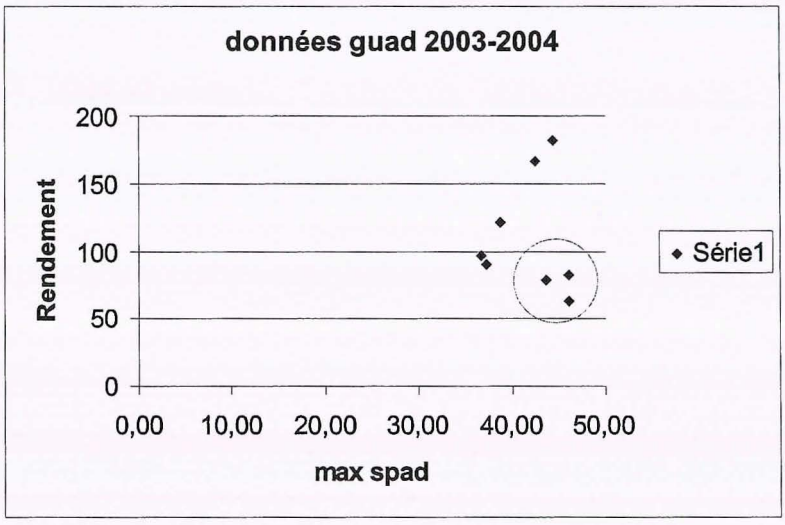
Les relations entre les indices de biomasse et la multiplication des variables agronomiques n'apportent pas plus de précisions.

Après avoir analysé l'évolution de la biomasse dans le temps, nous allons dans un deuxième temps analyser l'estimation de cette biomasse à la récolte, à l'aide des variables agronomiques.

b-Estimation du rendement à la récolte

i-Maximum des données agronomiques

Nous avons mis en relation la valeur de rendement à la récolte avec les valeurs maximum de chaque données agronomiques.



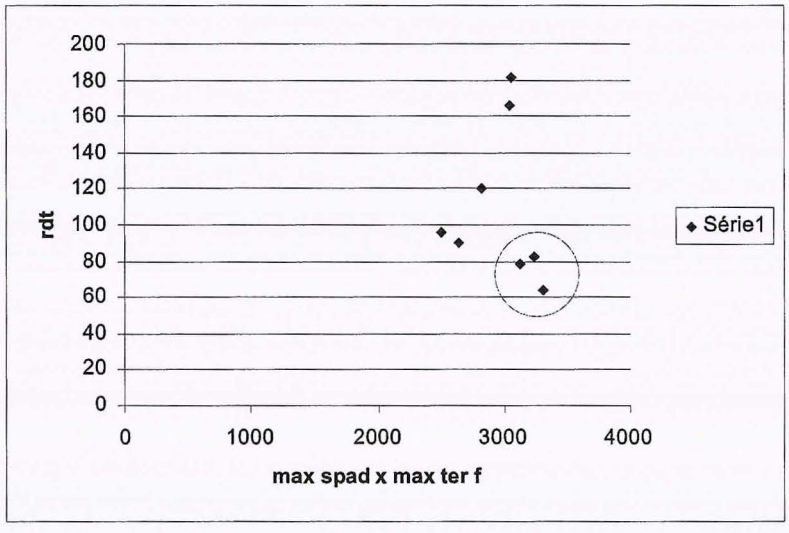
Cette relation pourrait être bonne mais trois parcelles ont des valeurs en dehors de la tendance. Il s'agit de :Tamarin 2, Sahara et Limite Ciceron.

Peut-être serait-il utile de vérifier sur le terrain ces données ?

Les autres relations ne sont pas du tout significatives.

Sur le même modèle que les analyses précédentes, nous avons tenté de mettre en relation les données de récolte avec la multiplication des maximum des données agronomiques.

ii-Multiplication des maximum des données agronomiques



De la même manière que précédemment, la courbe ci-dessus pourrait être significative, mais les trois parcelles précédemment citées se distinguent ici aussi de la tendance générale.

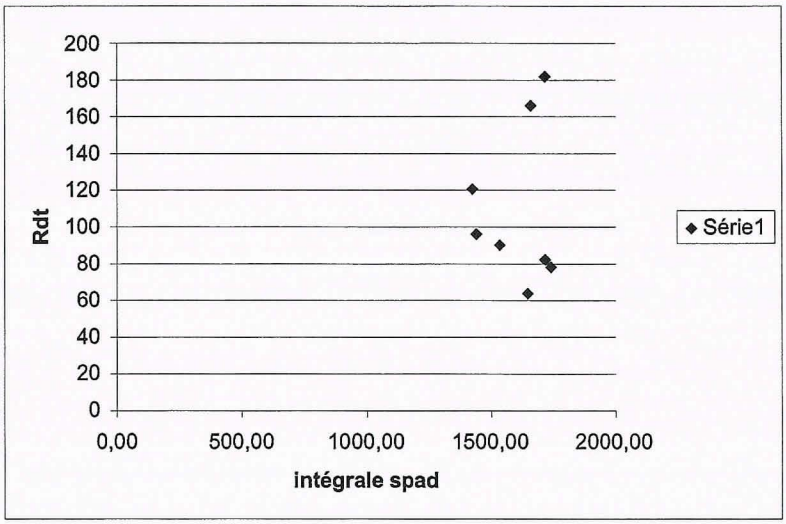
Une vérification s'impose.
Les autres relations ne sont pas significatives.

Etant donné que nous avons une valeur de biomasse à la récolte et plusieurs valeurs de données agronomiques au cours du temps, nous allons procéder à l'intégration des variables agronomiques sur le cycle.

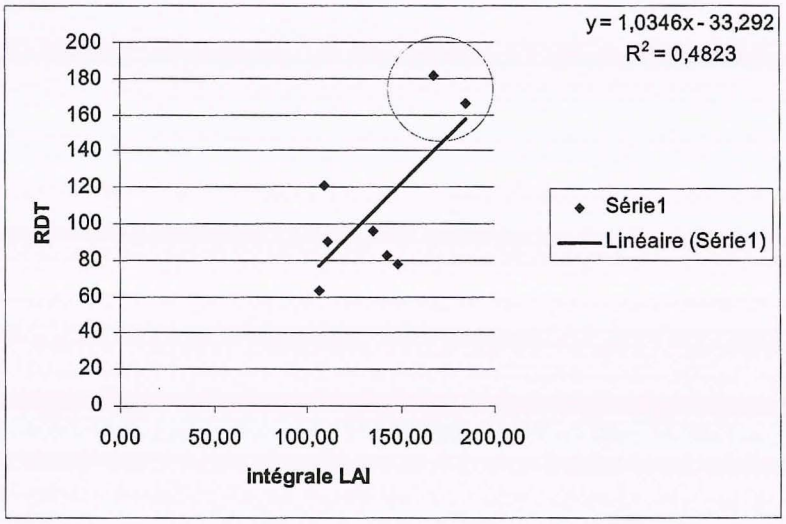
iii-Intégrales des données agronomiques

Dans un précédente étude (catsidonis, 2003) il avait été étudié la relation entre les valeurs de NDVI et la biomasse. L'évolution du NDVI au cours du temps montrait un maximum de cet indice au mois de décembre avec une phase d'augmentation des valeurs avant décembre et une phase de décroissance des valeurs après décembre. Il en avait été conclut que la végétation atteignait un maximum de croissance à la période du mois de décembre. Par ailleurs, dans cette étude, il avait été souligné qu'il est courant de penser que la biomasse est reliée à la phase de croissance alors que la richesse en sucre est reliée à la phase où la canne se dessèche, donc à la phase de sénescence de la canne.

Sur ce même modèle, nous allons calculer une intégrale des variables agronomiques sur la période de croissance, à savoir avant le mois de décembre. Toutes les parcelles ne sont pas mesurées le même jour. Afin d'intégrer les variables agronomiques pour toutes les parcelles sur la même période, nous allons estimer les valeurs des données agronomiques aux dates définies pour l'intégration. Nous ne pouvons estimer la valeur d'une donnée agronomique qu'entre deux points de mesure. Il est difficile d'extrapoler cette valeur pour une date antérieure à la première mesure de cette variable. Après étude des dates de mesure, il est décidé d'intégrer les variables agronomiques entre le 09 décembre 2003 et le 20 janvier 2004. Les mesures de terrain ont commencé autour du 20 novembre 2003. Pour pouvoir intégrer sur une période intéressante, nous décidons de prendre en compte les valeurs jusqu'au 20 janvier 2004. La période d'intégration est alors de 42 jours.

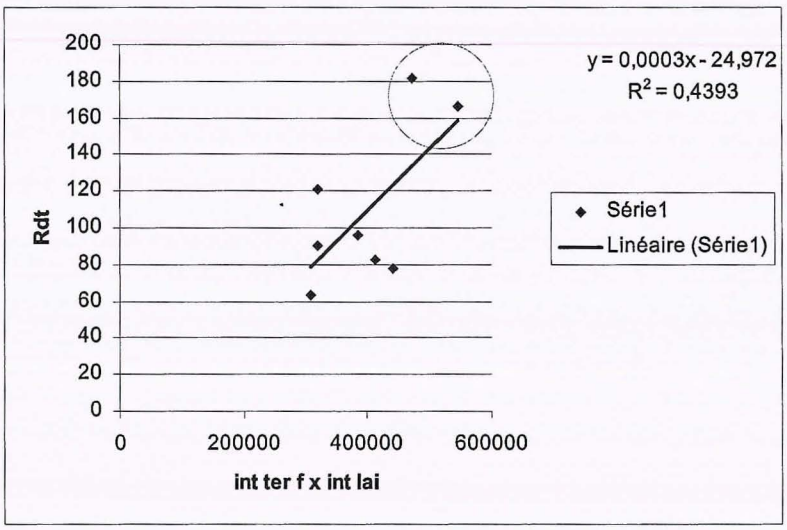


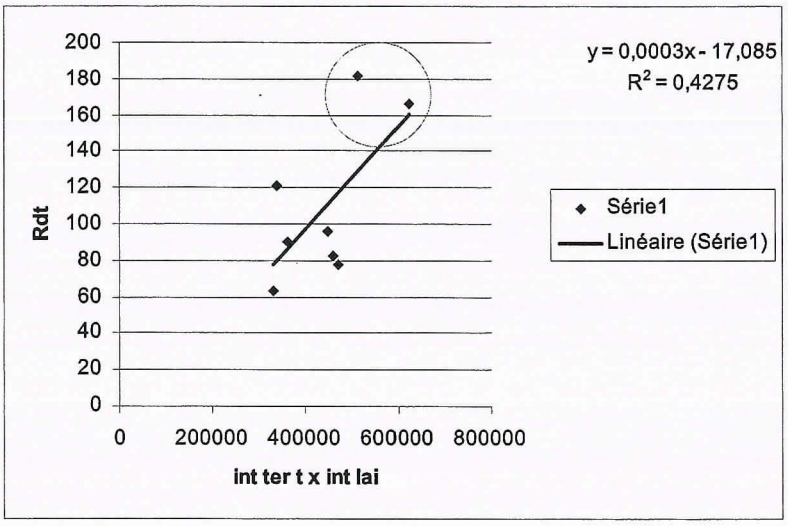
La relation ci-dessous, entre les valeurs de rendement et l'intégrale du LAI, pourrait être bonne sans les trois parcelles précédemment citées qui se distinguent ici aussi de la tendance générale.

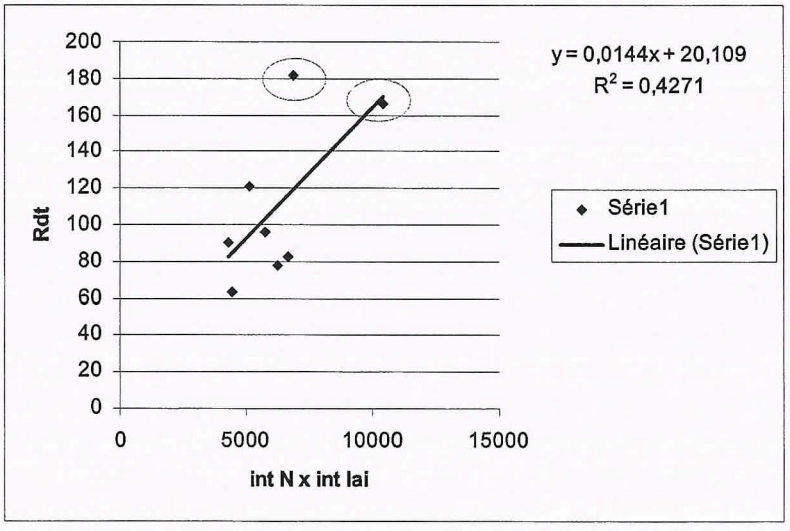


iiii-Multiplication des intégrales

Nous analysons ici la relation entre la valeur de rendement à la récolte et la multiplication deux à deux des intégrales des variables agronomiques.







Ces relations sont significatives mais sont tirées par deux parcelles. Il s'agit de « Bien désiré 2 » et « Goyavier 1 ». Il faudrait vérifier ces relations.

Conclusions partielles :

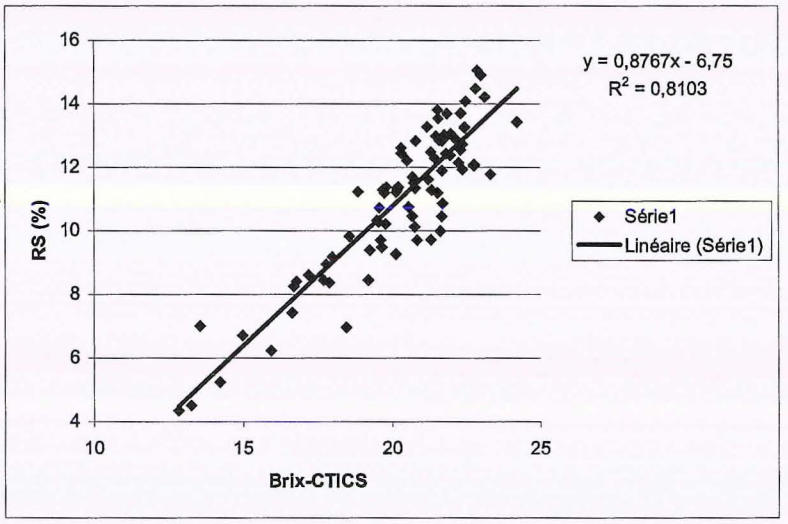
L'étude de la biomasse, quelle soit au cours du temps ou à la récolte ne nous a pas donné de relations satisfaisantes avec les variables agronomiques seules ou multipliées.
Nous avons souligné qu'il serait peut-être utile de vérifier sur le terrain certaines données.
Par contre, les relations entre le maximum des variables agronomiques et le rendement pourrait être bonnes mais des parcelles sortent de la tendance générale.
Enfin, les relations entre le rendement et les multiplications d'intégrales sont relativement bonnes, mais elles sont significatives grâce à deux parcelles.

2-Etude de la richesse en sucre.

De la même manière que pour la biomasse, nous avons étudié la richesse au cours du temps, ainsi qu'à la récolte, à l'aide des mêmes variables agronomiques.

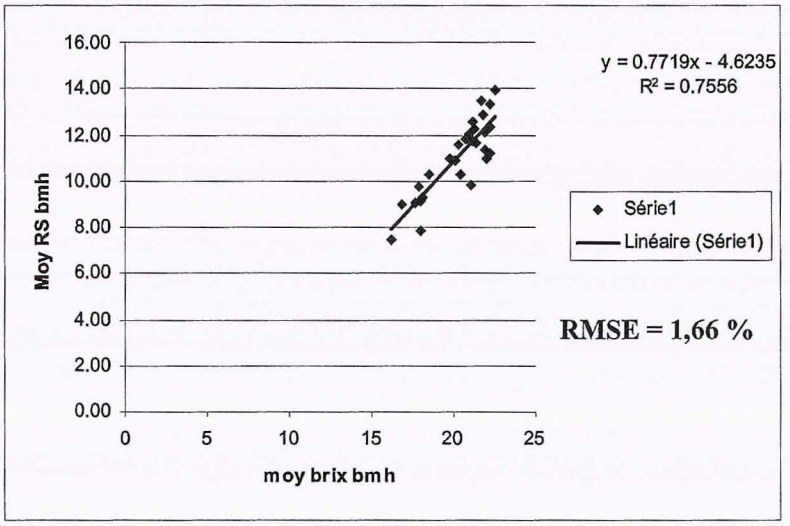
a-Relations entre le Brix et la richesse en sucre

Nous allons travailler avec les valeurs de BRIX issues des mesures du CTICS.
Tout d'abord, nous avons établi la relation entre le Brix mesuré au CTICS et les valeurs de richesse en sucre issues également du CTICS.



Cette courbe est issue des mesures effectuées au CTICS. Celles-ci ont été effectuées en distinguant les différentes parties de la tige (Haut/Milieu/bas). Donc les points représentés sur cette courbe sont un mélange des parties hautes, milieu et basses des tiges de canne.
Or ce qui nous intéresse par la suite c'est une estimation moyenne de la richesse dans toute la canne, et de surcro't d'une parcelle entière.

Nous établissons donc une courbe reliant la richesse moyenne dans une tige avec la valeur moyenne du Brix dans une tige. (Moy bmh = Moy bas/milieu/haut)



La relation est un peu moins bonne mais plus en accord avec les attentes de la télédétection. La relation reste tout de même très correcte.

b-Etude de la richesse au cours du temps.

i-Relations entre le Brix et les variables agronomiques seules.

Nous ne présentons ici que les relations les plus significatives. Les autres relations sont présentées dans le recueil des graphes. Nous en aurons besoin pour mettre en relation le NDVI avec les données agronomiques.

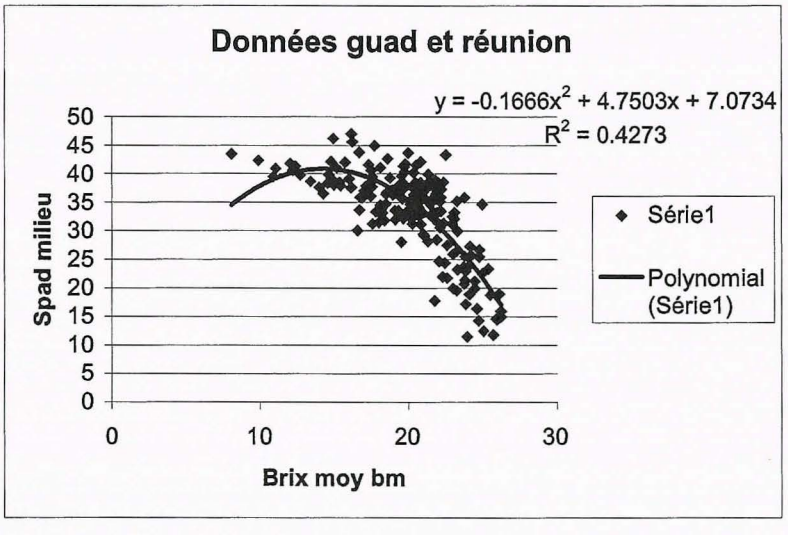
Pour intégrer les données de la réunion et celles de Guadeloupe 2002-2003 dans nos relations, nous devons travailler avec la moyenne du Brix bm (bas/milieu), car nous ne disposons pas des valeurs de Brix haut pour la Réunion, et la Guadeloupe en 2002-2003.

Nous allons présenter principalement les relations entre les valeurs de Brix moy bm et les variables agronomiques.

En effet, les valeurs de brix comme les valeurs de richesse en sucre mesuées à l'usine sont données pour l'ensemble d'un chariot. Il est donc préférable de travailler avec les données moyennes de brix et de richesse.

Il n' y a pas de relations directes entre la richesse et les variables agronomiques seules ni entre les combinaisons de variables agronomiques. Il faut donc passer par l'intermédiaire du brix pour estimer la richesse en sucre.

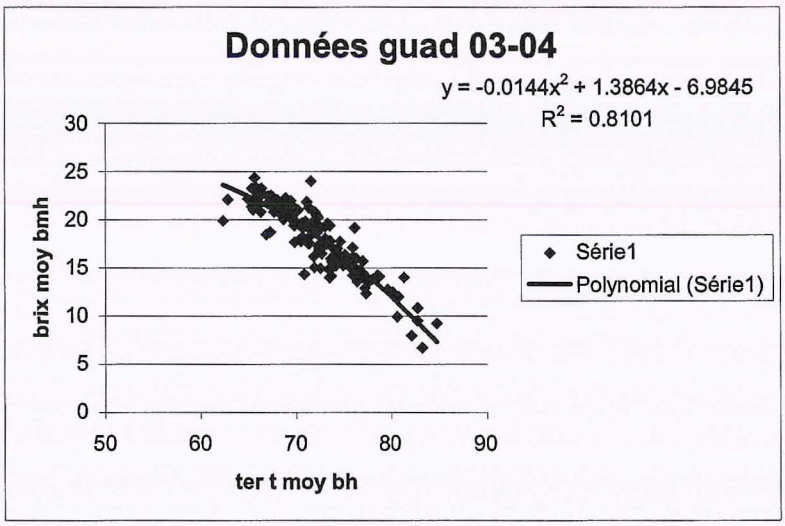
Les relations les plus significatives entre le brix et les données agronomiques sont les suivantes :



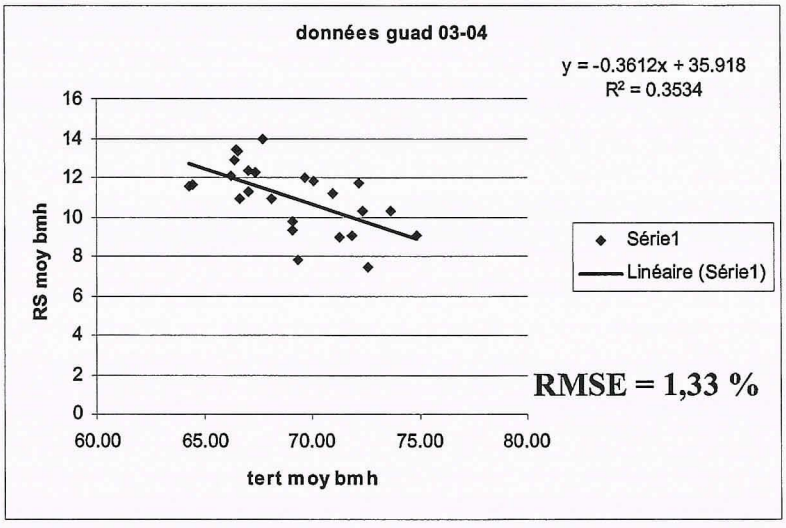
Les données de Guadeloupe 2003-2004 sortent du lot . Les valeurs de spad sont plus élevées et vont jusqu'à 50unité spad environ.
Mais l'année 2003-2004 a été très pluvieuse, par rapport à l'année 2002-2003, comme nous avons pu le voir sur le diagramme ombrothermique.
Cela pourrait expliquer ces fortes valeurs de spad.

Les premiers traitements effectués par Pellegrino A. en 2004, entre le Brix et les variables agronomiques, suggéraient une relation entre le brix et le spad. La relation est bonne pour les données de la Réunion et les données de Guadeloupe 2002-2003. Mais l'ajout des données de Guadeloupe 2003-2004 rends la relation beaucoup moins significative du fait de fortes valeur de Spad.

Grâce au logiciel R nous avons mis en relation les valeurs du brix des différentes parties de la canne avec les données agronomiques. Les résultats ont montré que la variable agronomique qui est le mieux en relation avec le brix est la teneur en eau des tiges. Il n'y a pas de variable agronomique concernant le couvert qui soient en relation avec le brix. Il n'est pas certain que les données agronomiques concernant les tiges soient décelables par images satellites. Par contre les données de teneur en eau des tiges n'ont pas été récoltées pour la réunion ni pour la Guadeloupe en 2002-2003. Il serait donc intéressant de vérifier si ces relations sont vérifiées à la réunion et pour d'autres années en Guadeloupe.

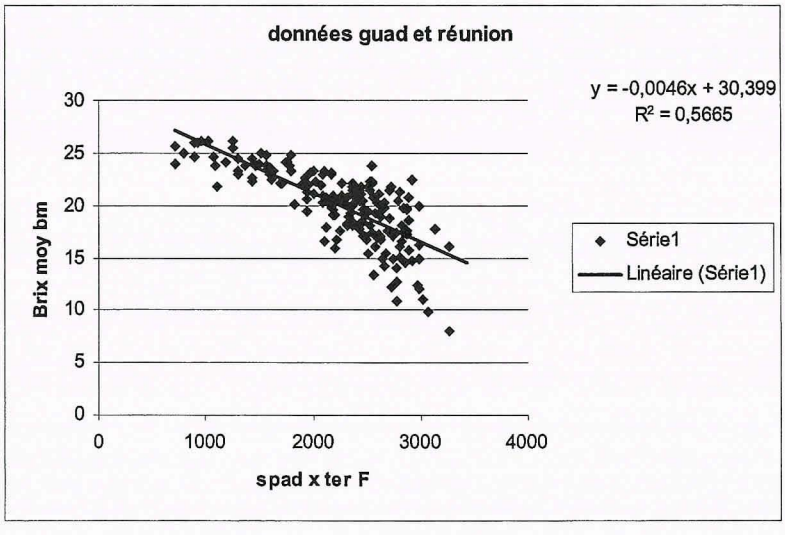


Comme nous avons vu qu'il existe une bonne relation entre la valeur moyenne du brix et la valeur moyenne de la richesse, nous pouvons envisager de relier la valeur moyenne de la teneur en eau des tiges avec la richesse moyenne.

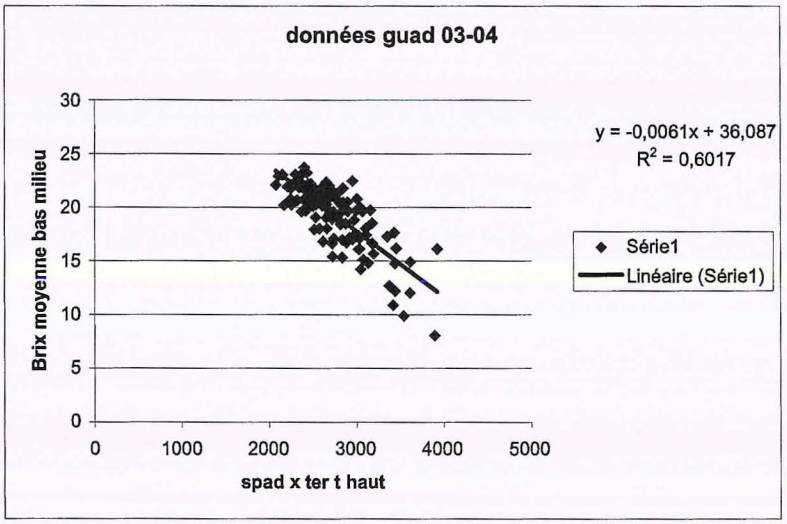


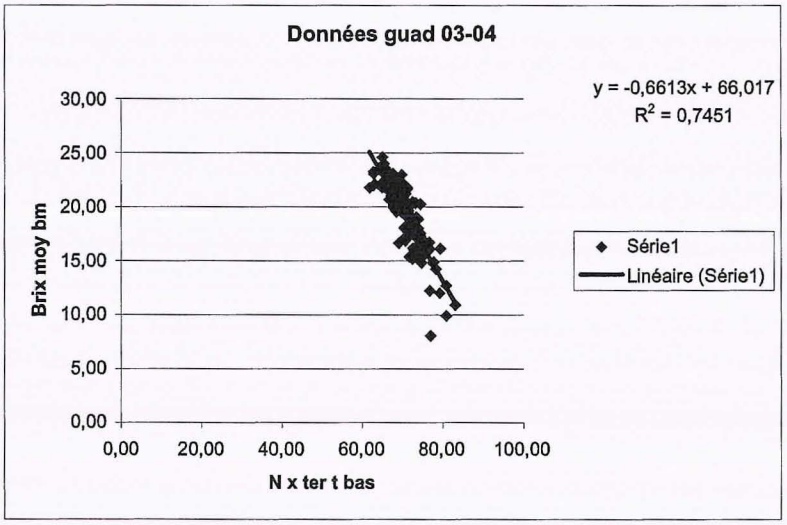
Cette relation entre la valeur moyenne de la richesse et la valeur moyenne de la teneur en eau des tiges est assez dispersée.
La relation entre le Brix et les autres variables agronomiques ne sont pas significatives.
Nous allons maintenant procéder à la relation entre les valeurs moyennes du Brix et la multiplication des variables agronomiques.

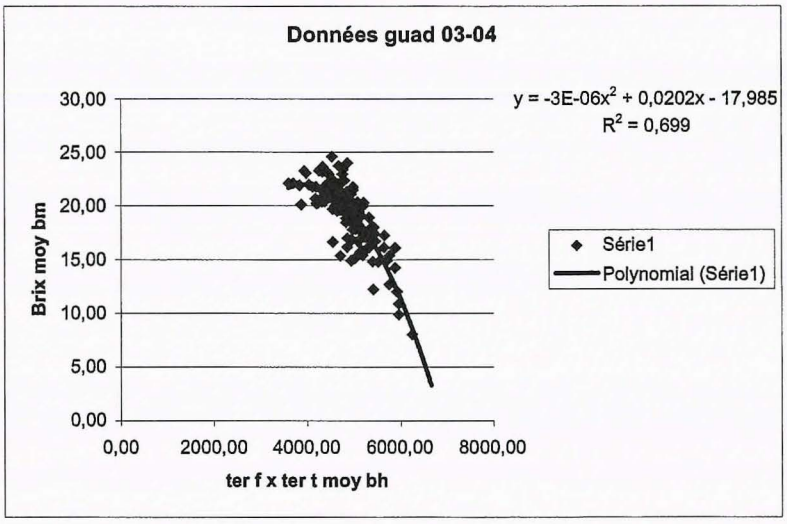
<u>ii-Relations entre les valeurs de brix et la multiplication des variables agronomiques.</u>



Cette relation ci-dessus est assez bonne et concerne des variables agronomiques du couvert de la canne. Ces variables agronomiques sont en effet celles qui seraient le plus facilement identifiables par images satellites.







Ces trois graphes présentent des relations très bonnes, mais cela concerne la variable agronomique de la teneur en eau des tiges. Cette variable n'est pas une variable de couvert de la canne et nous ne savons pas si elle sera facilement quantifiable par images satellites.

Nous voyons que la RS est en bonne relation avec la teneur en eau des tiges. Il serait intéressant de travailler avec un autre indice de végétation où le canal MIR remplacerai le canal rouge. En effet, le MIR est plus sensible à la quantité d'eau.

c-Estimation de la richesse à la récolte :

i-Relation entre le brix et les intégrales seules

Pour cela, nous allons procéder à des séries d'intégrales de données agronomiques. Cette fois-ci la période d'intégration se situera entre janvier et la dernière date de mesure des données agronomiques commune à toutes les parcelles. Nous avons décidé d'intégrer les valeurs entre le 1er janvier 2004 et le 15 mars 2004. Seules les valeurs de chlorophylle seront intégrées du 15 février 2004 au 15 mars 2004 car nous n'avons pas de mesures en janvier.
Pour certaines parcelles, des données agronomiques manquent.

Le tableau suivant récapitule les variables agronomiques intégrées, leur période d'intégration et les parcelles utilisées.

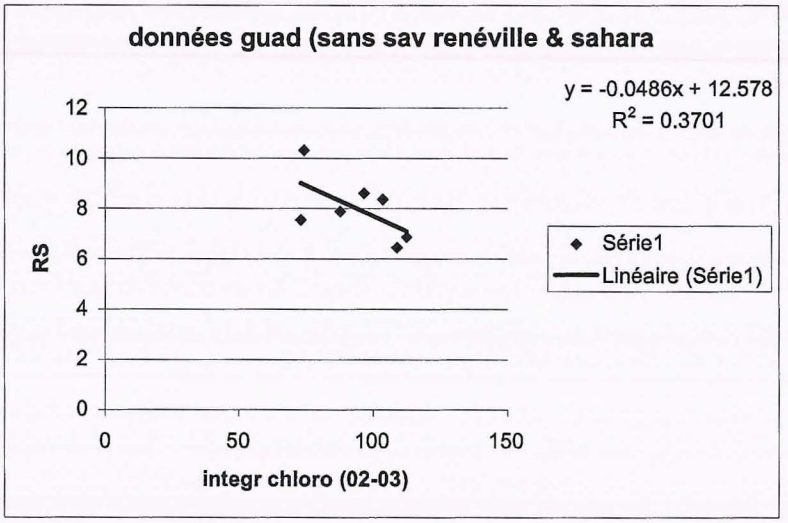
Tableau 5 : Tableau récapitulatif de la période d'intégration des variables agronomiques pour l'étude de la richesse en sucre à la récolte.

	Période d'intégration				
Mesures Agronomiques	15/12/03	14/01/04	15/02/04	15/03/04	Parcelles manquantes
Spad					
Ter feuille					Limite Ciceron
Ter tige					
Azote					
Lai					
Chlorophylle					Savane renéville - Sahara

Nous mettons en relation les intégrales seules avec la valeur de la richesse à la récolte. Ensuite la relation entre la richesse et la multiplication des intégrales deux à deux sera testée.

Nous ne disposons pas de valeur de Brix à la récolte. Nous pouvons seulement mettre en relation les valeurs de richesse avec les intégrales. Il aurait été intéressant de mettre en relation le brix avec ces mêmes intégrales.

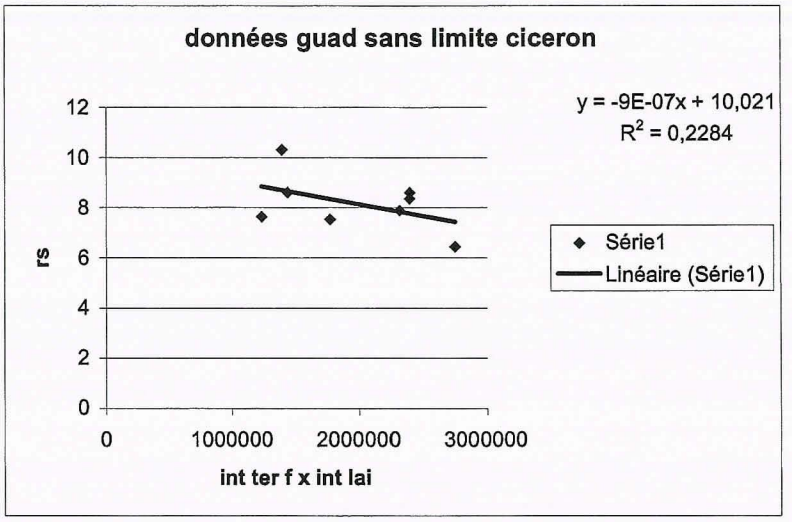
Les relations entre la richesse et les intégrales pour une seule variable agronomique ne donnent pas de relations très satisfaisantes.
La relation entre la richesse et l'intégrale de la chlorophylle est la relation la plus significative. Les autres relations sont placées dans le recueil de graphes.

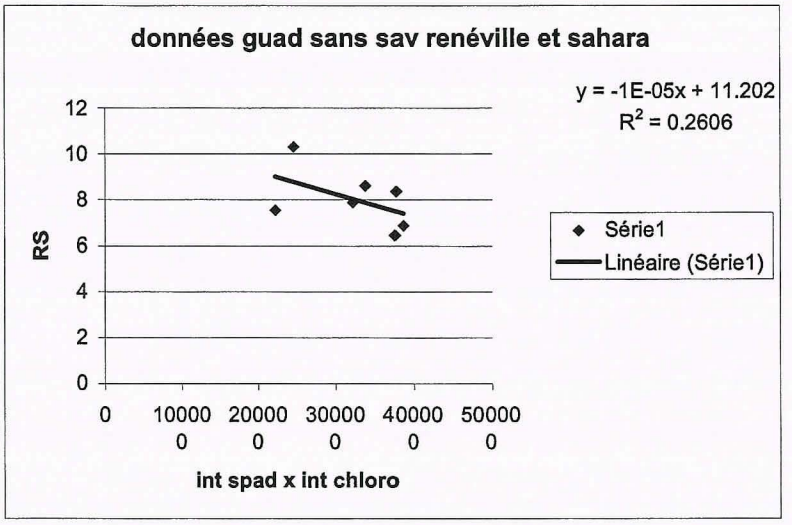


Nous allons procéder à la relation entre les données de richesse en sucre et la multiplication des intégrales.

<u>ii-Relation entre le brix et les multiplications des intégrales entre elles.</u>

Les relations entre la multiplication de deux intégrales et la richesse donne les relations suivantes.





Nous voyons que l'estimation de la richesse en sucre à la récolte grâce aux données agronomiques n'est pas satisfaisante.

CONCLUSIONS

Par ces études, nous avons tenté de mettre en relation les données agronomiques accumulées sur le terrain avec les variables du rendement, à savoir la biomasse et la richesse en sucre.

Pour l'estimation de la biomasse, nous avons déterminé un indice de poids frais et un de poids sec. Les estimations par les variables agronomiques au cours du temps sont meilleures pour l'indice de poids sec mais restent tout de même peu satisfaisantes.

A la récolte, l'estimation de la biomasse est assez bonne grâce aux intégrales et aux multiplications d'intégrales. Par contre nous avons vu que ces relations étaient significatives grâce à deux ou trois parcelles qui « tirent »les relations. Par ailleurs, les données de Spad de l'année 2003-2004 sont très différentes de celles de la Réunion ou de Guadeloupe en 2002-2003.
Certaines variables agronomiques de certaines parcelles devraient être vérifiées sur le terrain.

Pour l'estimation de la richesse en sucre, le suivi au cours du temps est en bonne relation avec la teneur en eau des tiges seule ou avec la multiplication de données agronomiques. Mais ces multiplications concernent souvent la teneur en eau des tiges. Or nous ne savons pas si cette donnée est quantifiable par image satellite, puisque ce n'est pas une variable du couvert de la canne.

Quant à l'estimation de la richesse à la récolte, celle-ci n'est pas satisfaisante en utilisant les intégrales ou les multiplications des variables agronomiques.

Mais s'il s'avère que la teneur en eau des tiges est quantifiable par images satellites, on pourra établir une relation entre cette donnée agronomique et le brix jusqu'au moment de la récolte. Ensuite, à partir du Brix, la valeur de la richesse en sucre sera déterminée.

Pour conclure, ce rapport apporte quelques réponses mais pose beaucoup de questions également. Il reste donc des analyses approfondies à mener.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Les principaux acteurs de la filière canne en Guadeloupe

De nombreux acteurs interviennent dans la filière canne-à-sucre. Ces acteurs expriment tous des besoins en termes d'informations spatialisées concernant les surfaces cultivées, replantées, et coupées. Les prévisions de rendement à différentes périodes de l'année (avant le début de la récolte et en cours de récolte) sont aussi une demande récurrente de la part de la filière.

Parmi les principaux acteurs, on peut citer :

- le CTICS[3] qui intervient pour les mesures de richesse en sucre des cannes
- Les SICA cannières qui sont chargées de l'encadrement technique des planteurs, de leur approvisionnement en intrants, de la redistribution des aides publiques allouées aux producteurs et du suivi de la mise à jour du fichier des planteurs géré par la DAF. Il en existe une dans chacun des bassins canniers de Guadeloupe.
- Les CUMA : Au nombre de 11, elles réalisent des travaux de coupes mécaniques, de chargement et de transfert. Ces travaux peuvent aussi être assurés par des entreprises privées de travaux agricoles.
- L'Usine de Gardel, qui broye l'ensemble de la canne de Guadeloupe continentale pour en extraire du sucre cristallisé
- La DAF[4] qui a un rôle de gestion agricole, de gestion et de distribution des aides de l'Etat.
- La Chambre d'agriculture qui participe chaque année aux prévisions de récolte grâce à un réseau d'experts et par des mesures de terrain.
- Le Cirad[5], qui intervient en matière de recherche variétale, de production de vitro-plants et de modélisation de la canne à sucre. Il participe également chaque année aux prévisions de rendement pour l'organisation de la récolte.

[3] CTICS : Centre technique Interprofessionnel de la Canne à sucre et du Sucre.
[4] DAF : Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt.
[5] CIRAD : Centre de coopération International de Recherche en Agronomie pour le Développement

ANNEXE 2: Coordonnées des placettes étudiées et mesurées par GPS :

Placettes	X	Y
Bien desire p1	681577.64	1800592.21
Bien desire p2	681645.71	1800606.39
Bien desire p3	681674.05	1800527.83
Carre p1	679216.69	1799536.66
Carre p2	679291.31	1799523.43
Carre p3	679274.73	1799472.72
Gommier p1	680016.7	1799546.66
Gommier p2	680186.65	1799548.18
Gommier P3	680349.69	1799545.32
Goyavier p1	681538.12	1802464.46
Goyavier p2	681587.13	1802431.67
Goyavier p3	681669.89	1802426.94
Limite Ciceron p2	678856.14	1802237.46
Limite Ciceron p2	678850.85	1802192.16
Limite Ciceron p3	678831.96	1802305.55
Mary p1	681230.43	1802231.28
Mary p2	681118.61	1802555.37
Mary p3	681378.36	1802500.21
Poirier p1	681450.14	1800654.34
Poirier p2	681371.34	1800708.02
Poirier p3	681342.58	1800619.14
Sahara p1	677548.26	1803917.18
Sahara p2	677483.24	1803910.12
Sahara p3	677639.15	1803924.34
Sav.reneville2-p1	680789.06	1801412.23
Savane renevill 2-p2	680813.13	1801436.11
Savane reneville p3	680875.4	1801453.45
Tamarin p1	677335.89	1801277.88
Tamarin p2	677398.42	1801304.28
Tamarin p3	677473.45	1801304.23

Le référentiel géographique utilisé est St Anne.

ANNEXE 3 : Protocole d'extraction de la chlorophylle

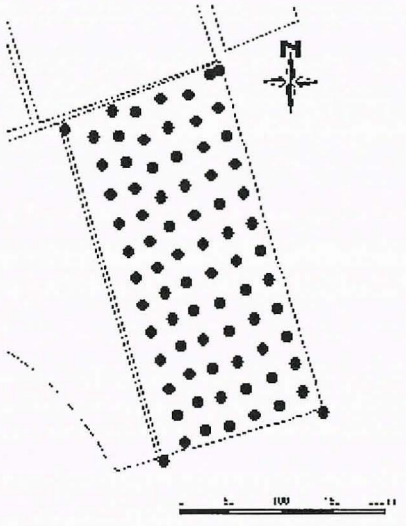
1- Prélèvement de 3 à 4 feuilles (MF=0,080 g)
2- Lavage, séchage, pesée
3- Broyage dans 10 ml d'acétone à 80% en présence de sable de Fontainebleau.
4- Centrifugation pendant 10 mn à 12 000 g
5- Récupération du surnageant (sn1)
6- Reprise du culot dans 10 ml d'acétone 80% pour une extraction totale de la chlorophylle.
7- Centrifugation 10 mn à 12 000 g.
8- Récupération du surnageant (sn 2).
9- Mélange des deux surnageants (sn1 + sn 2).
10- Mesures au spectrophotomètre :
   -faire le zéro avec l'acétone 80% (cuves en quartz)
   -puis mesures à 663 nm et 645 nm

Chlorophylle (g/l) = 0.0202*DO645 + 0.008*DO663 DO = densité optique

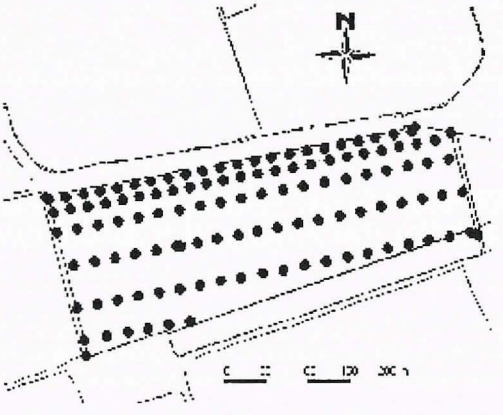
On ramène à 20 ml, puis en g de matière fraîche.

ANNEXE 4: Carte des points de mesures des parcelles étudiées.

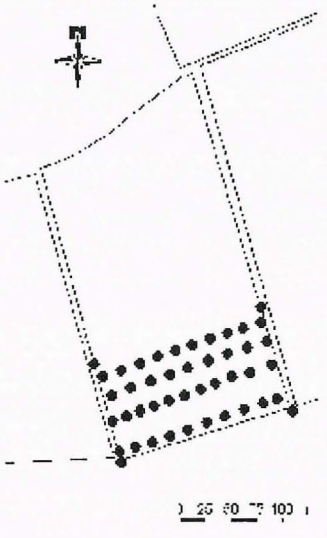
Parcelle « Bien désiré »



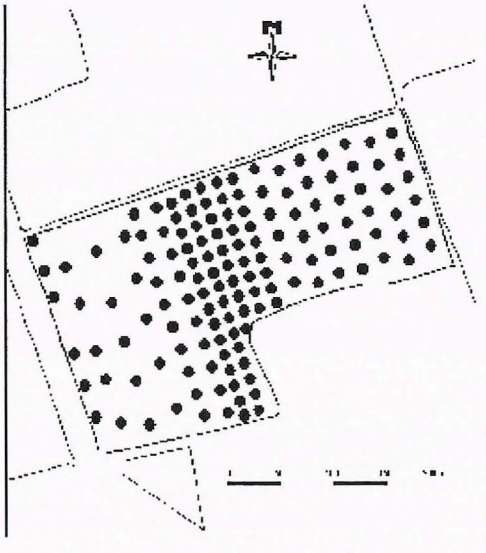
Parcelle « Chemin »



Parcelle « Paul »

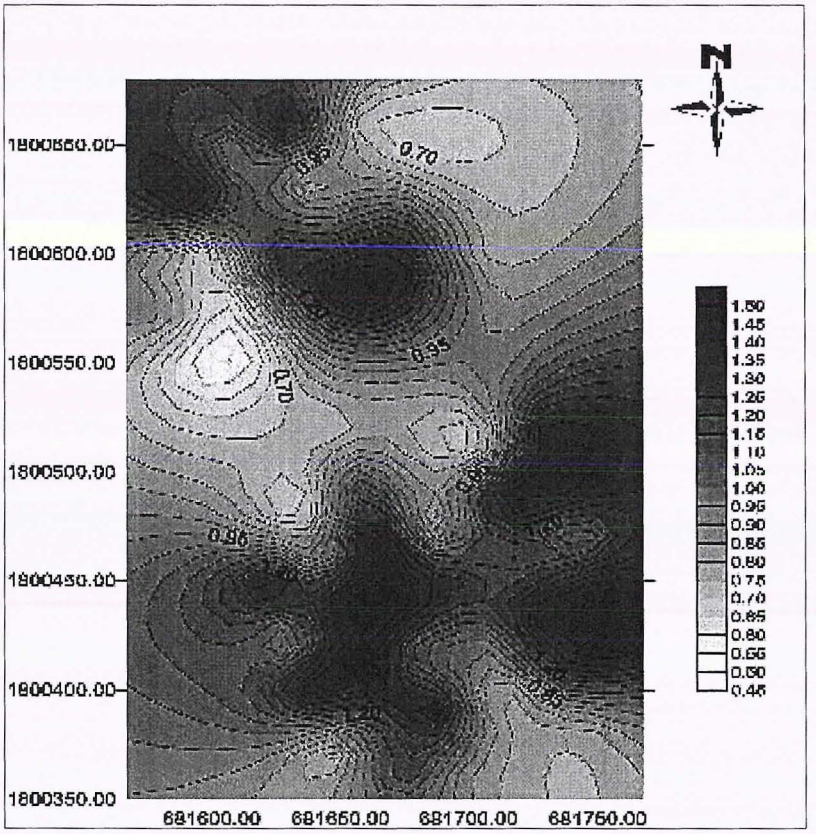


Parcelle « Sahara »

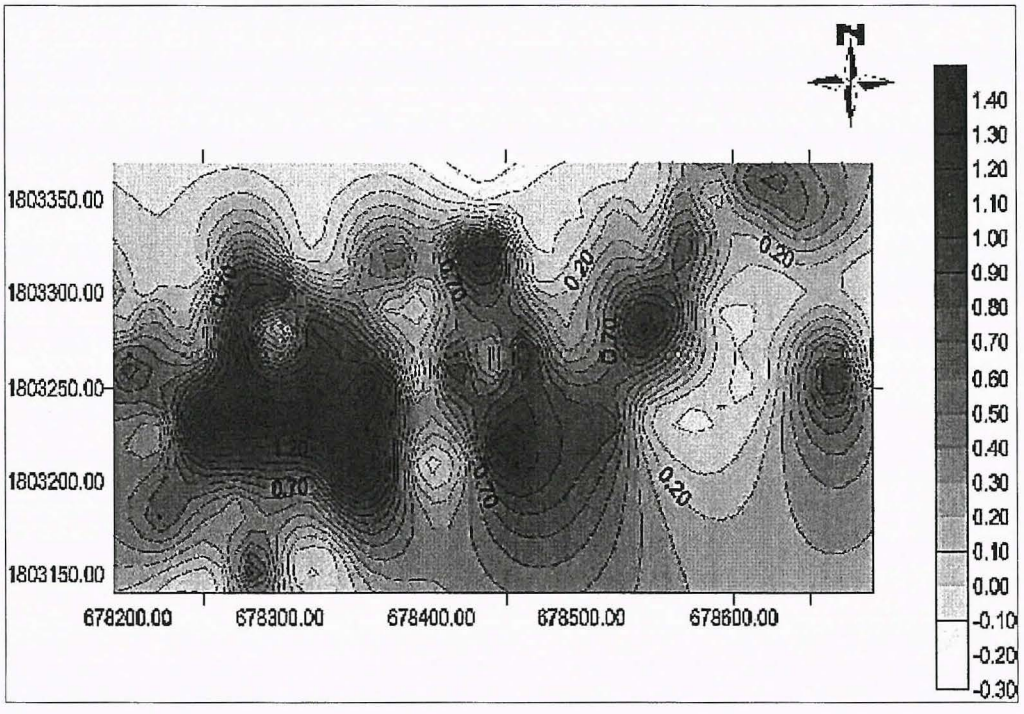


ANNEXE 5 : Carte de profondeur de sol des trois autres parcelles étudiées.

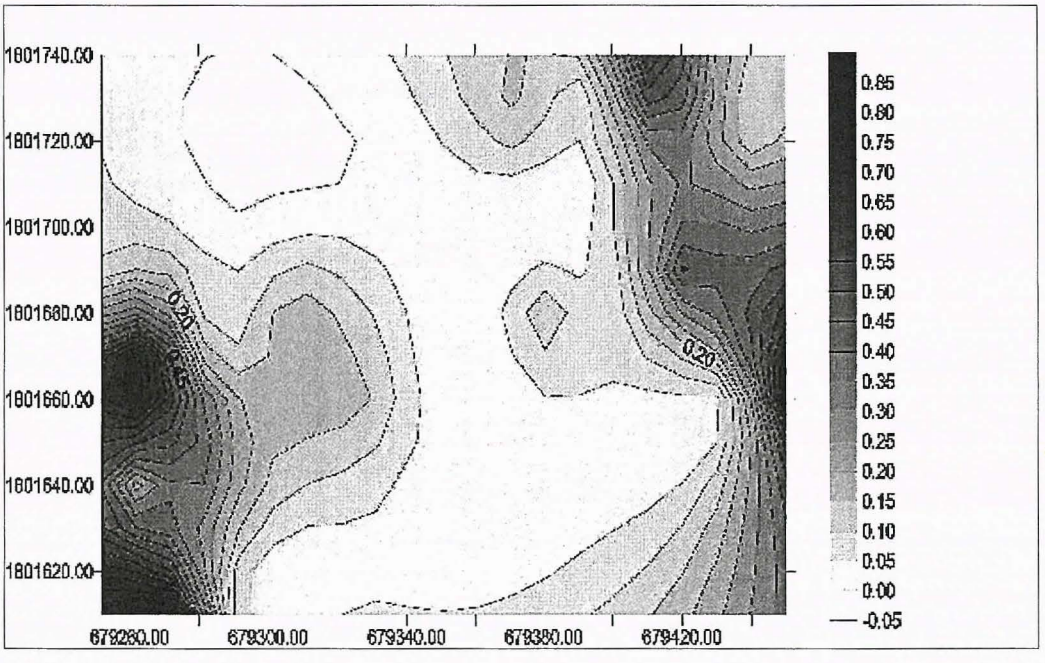
Parcelle « Bien désiré »



Parcelle « Chemin »



Parcelle « Paul »



Bibliographie

Buégué A., Ribbes F., Siegmund B., Todoroff P., Autrey L.J.C., 2002, Potentialités de la Télédétection spatiale pour la filière canne à sucre (Projet SUCRETTE), colloque « La canne, une passion à partager » Réunion, 2-5 octobre 2002, 10p.

Cabidoche Y.M., 1985. Distribution des sols à argiles gonflantes sur calcaires récifaux (zone Caraïbes)- Utilisation de mesures de résistivité électrique. *Sol et eau, actes du séminaires de la Havane*, 8-20 avril 1985 : 187-219.

Catsidonis S., 2003. Caractérisation de la production cannière par télédétection-cas de la plantation de Gardel, DESS Université Paris 12, 57p.

D3e élctronique, Manuel de formation « PRO XRS, Pathfinder Power et Pocket avec TERRASYNC

Dwyer, L.M., A.M. Anderson, B.L.Ma, D.W.Stewart, M. Tollenaar et E. Gregorich (1994). Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter to corn leaf nitrogen concentration. Canadian. *Journal of Plant Science* **75** (1) : 179-182.

Fabre D., 2003. Caractérisation de l'état physiologique de la plante. Utilisation des outils écophysiologiques, *formation ECOBIO,* décembre 2003, p.29-30

Fabre D., 2003. Dosages de différents constituants de la plante et de marqueurs biochimiques de stress, *formation ECOBIO,* décembre 2003, p.2

Guitton M., 2003. Acquisition de données de terrain et traitement d'imag es Spot sur la Guadeloupe-projet SUCRETTE, ENSAM, 38p.

Martiné J.F., 2002. Estimation des biomasses et du LAI de parcelles de canne à sucre par des mesures biométriques indirectes, Note technique (provisoire), La Bretagne octobre 2002, 4 p.

Martiné J.F., 2004. Estimation de la surface totale de limbes verts totaux/ tige.

Minolta Co. Ltd (1989). Chlorophyll meter SPAD-502 Instruction manual.

Paradis E., 2000, R pour les débutants, 31p.

Pellegrino A., 2004, Utilisation des données de télédétection pour l'estimation du rendement en tige et en sucre chez la canne à sucre en Guadeloupe et à la Réunion, Rapport d'étape de post-doc, 30p.

Remond J.M., 2002, Validation d'un modèle de croissance de la canne à sucre et application à l'optimisation d'un calendrier d'irrigation. *Thèse Doct. Univ. Des antilles et de la Guyane*, 43p.

Schepers, J.S., D.D. Francis, M. Vigil et F.E. Below (1992). Comparaison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Communications in soil science and plant analysis*. **23** (17-20) : 2173-2187.

Smeal, D. et H. Zhang (1994). Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. *Communications in soil science and plant analysis*. **25** (9-10) : 1495-1503.

Westcott, M.P. et J.M. Wraith (1995). Correlation of leaf chlorophyll readings and stem nitrate concentrations in pepermint. *Communications in soil science and plant analysis* **26** (9-10) : 1481-149