

Etudier l'erreur sur la biomasse aérienne de la canne à sucre et
sur le bilan hydrique :
mise en œuvre des modèles Mosaic et Probe sur des données de
l'île de La Réunion

Mamadou Diène DIOP

27 septembre 2010



Plan

- 1 Introduction
- 2 Matériels et Méthodes
- 3 Résultats et Discussions
- 4 Conclusion et Perspectives
- 5 Références

Introduction

Présentation générale

- **Cirad** : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
- **Mission** : produire et transmettre de nouvelles connaissances pour :
 - accompagner le développement agricole
 - contribuer aux enjeux internationaux de l'agronomie
- **Projet d'étude** : C.A.S.D.A.R, Compte d'Affectation Spéciale pour Développement Agricole et Rural
 - **Titre** : "Associer un niveau d'erreur aux modèles de systèmes utilisés en agronomie."
 - **Objectif principal** : "Définir une démarche généralisable pour évaluer la fiabilité des prédictions de ces modèles et de rendre cette information accessible aux utilisateurs."

Introduction

Cas d'étude

- **Mosicas** : croissance et développement de la canne à sucre
Intérêt pratique dans cette étude : prévoir la matière sèche aérienne (**msa**) produite à 12 mois en g/m^2
- **Probe** : PROgramme de Bilan de l'Eau pour la canne à sucre
Intérêt pratique dans cette étude : améliorer la connaissance du bilan hydrique journalier
- **Problématique** :
Effectuer une analyse de sensibilité pour la **msa** produite (resp. pour le bilan hydrique) de la canne sur des données provenant de l'île de la réunion et en utilisant Mosicas(resp. Probe)
- **Objectif de l'étude** :
Estimer la variance de l'erreur pour la production de **msa** à 12 mois et pour les termes du bilan hydrique de la canne à sucre.

Introduction

Cas d'étude

- **Mosicas** : croissance et développement de la canne à sucre
Intérêt pratique dans cette étude : prévoir la matière sèche aérienne (**msa**) produite à 12 mois en g/m^2
- **Probe** : PROgramme de Bilan de l'Eau pour la canne à sucre
Intérêt pratique dans cette étude : améliorer la connaissance du bilan hydrique journalier
- **Problématique** :
Effectuer une analyse de sensibilité pour la **msa** produite (resp. pour le bilan hydrique) de la canne sur des données provenant de l'île de la réunion et en utilisant Mosicas(resp. Probe)
- **Objectif de l'étude** :
Estimer la variance de l'erreur pour la production de **msa** à 12 mois et pour les termes du bilan hydrique de la canne à sucre.

Matériels et Méthodes

- **Mosicas, Probe et leurs données associées**

$$G = \begin{cases} \text{msa à 12 mois si Mosicas} \\ \text{bilan hydrique / jour si Probe} \end{cases}$$

Θ : données d'entrée et paramètres $\xrightarrow{\text{Mosicas, Probe}}$ $G(\Theta)$ = valeurs simulées

- **générateur G** : Mosicas.exe ou Probe-w
- **données d'entrée** : les données météo, le coefficient cultural (K_c) et l'évapotranspiration potentielle ETP (mm)
- **exemple de paramètre pour Mosicas** : effet de la température sur la conversion en biomasse (**ruetk**)
exemple de paramètre pour Probe : réserve en eau utile (**RU**) en mm/cm

- **Analyse de sensibilité**

- **Définition**
 méthode d'analyse quantitative qui étudie l'incidence des variables d'entrée sur la variabilité d'une sortie Y de modèle
- **Intérêt pratique**
 déterminer la part de variance de Y due à Θ

Matériels et Méthodes

- **Mosicas, Probe et leurs données associées**

$$G = \begin{cases} \text{msa à 12 mois si Mosicas} \\ \text{bilan hydrique / jour si Probe} \end{cases}$$

Θ : données d'entrée et paramètres $\xrightarrow{\text{Mosicas, Probe}}$ $G(\Theta)$ = valeurs simulées

- **générateur G** : Mosicas.exe ou Probe-w
- **données d'entrée** : les données météo, le coefficient cultural (K_c) et l'évapotranspiration potentielle ETP (mm)
- **exemple de paramètre pour Mosicas** : effet de la température sur la conversion en biomasse (**rue**tk)
- **exemple de paramètre pour Probe** : réserve en eau utile (**RU**) en mm/cm

- **Analyse de sensibilité**

- **Définition**
 méthode d'analyse quantitative qui étudie l'incidence des variables d'entrée sur la variabilité d'une sortie Y de modèle
- **Intérêt pratique**
 déterminer la part de variance de Y due à Θ

Matériels et Méthodes

- principe de l'analyse de sensibilité par paramètre

- On définit une série de valeurs de longueur p autour de Θ :

$$\theta_1, \dots, \theta_p$$

- On calcule les sorties $\forall \theta_{1 \leq i \leq p}$ grâce à **Mosicas.exe** ou à **Probe-w**
- On détermine $y(\theta_i)$ pour tout $i = 1, \dots, p$:
 - ① Mosicas $\hookrightarrow y(\theta_i)$ est une valeur scalaire : **la msa à 12 mois**
 - ② Probe $\hookrightarrow y(\theta_i)$ est une courbe d'évolution : **un terme du bilan hydrique**
- On met en œuvre une méthode de calcul pour analyser la sensibilité de Θ
- On calcule l'indicateur de sensibilité attribué à la perturbation de Θ : $I(\Theta)$

Matériels et Méthodes

- **Démarches ou méthodes mobilisées pour calculer des indices de sensibilité**

- **pour un scalaire** : la regression linéaire ou non linéaire

$$\hat{y} = f(\hat{\beta}, \Theta)$$

- \hat{y} : les valeurs simulées
- $\hat{\beta}$: les paramètres de la régression
- Θ : le vecteur des p valeurs prises par la variable d'entrée étudiée

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^p (y_i - \bar{y})^2} : \text{coefficient de détermination}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\text{cov}(y, \theta)}{s_{\theta}^2} : \text{pente de la regression}$$

$$\text{Avec } \hat{s}_{\theta} = \left[\sum_i \frac{(\theta_i - \bar{\theta})^2}{p-1} \right]^{1/2}$$

⇒ **indices de sensibilité**

- **pour une courbe d'évolution** : Ecart Quadratique Moyen

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

⇒ **indicateur de sensibilité** étudiant les écarts liés à la variation

Matériels et Méthodes

- **Démarches ou méthodes mobilisées pour calculer des indices de sensibilité**

- **pour un scalaire** : la regression linéaire ou non linéaire

$$\hat{y} = f(\hat{\beta}, \Theta)$$

- \hat{y} : les valeurs simulées
- $\hat{\beta}$: les paramètres de la régression
- Θ : le vecteur des p valeurs prises par la variable d'entrée étudiée

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^p (y_i - \bar{y})^2} : \text{coefficient de détermination}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\text{cov}(y, \theta)}{s_{\theta}^2} : \text{pente de la regression}$$

$$\text{Avec } \hat{s}_{\theta} = \left[\sum_i \frac{(\theta_i - \bar{\theta})^2}{p-1} \right]^{1/2}$$

⇒ **indices de sensibilité**

- **pour une courbe d'évolution** : Ecart Quadratique Moyen

$$EQM = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

⇒ **indicateur de sensibilité** étudiant les écarts liés à la variation

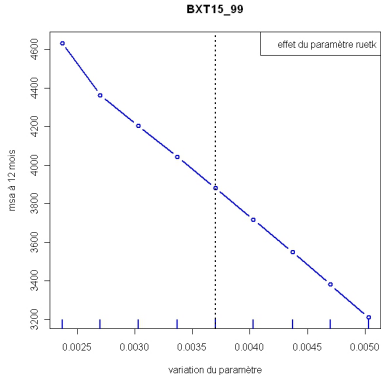
Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Mosaic

- **Analyse de sensibilité du paramètre ruetk**

- **les options de simulations**

code	unité	valeur	variation (%)	itération	domaine
ruek	s.u	0.0037	9	4	0.0024 - 0.0050

- **la msa à 12 mois sous l'effet de la variation de ruetk**



Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Mosaic

- **Analyse de sensibilité du paramètre ruetk**

- **le modèle**

$$y = \beta_0 + \beta_1 * \theta + \epsilon$$

- y : la msa produite à 12 mois
- β_0 : terme constant de la regression ou la msa au début du cycle
- β_1 : pente de la regression liée à θ
- θ : les valeurs prises par le paramètre étudié dans son domaine de variation
- $\epsilon \hookrightarrow N(0, \sigma^2)$: erreur d'ajustement

- **indicateurs de linéarité**

- $R^2 : I_\theta = \frac{SCE}{SCT}$
- pente : $\hat{\beta}_1 = \frac{cov(y, \theta)}{\hat{\sigma}_\theta^2}$

Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Mosaic

- **Analyse de sensibilité du paramètre ruetk**

- **le modèle**

$$y = \beta_0 + \beta_1 * \theta + \epsilon$$

- y : la msa produite à 12 mois
- β_0 : terme constant de la regression ou la msa au début du cycle
- β_1 : pente de la regression liée à θ
- θ : les valeurs prises par le paramètre étudié dans son domaine de variation
- $\epsilon \hookrightarrow N(0, \sigma^2)$: erreur d'ajustement

- **indicateurs de linéarité**

- $R^2 : I_\theta = \frac{SCE}{SCT}$
- **pente** : $\hat{\beta}_1 = \frac{cov(y, \theta)}{\hat{s}_\theta^2}$

Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Mosaic

- **Analyse de sensibilité du paramètre ruetk**

- **test de significativité des paramètres de la régression**

$$H_0 : \Theta = 0 \text{ vs } H_1 : \Theta \neq 0$$

$$p_{test} \approx 2e^{-5}, \text{ risque } 5\% > 2e^{-5} \Rightarrow \text{rejet de } H_0$$

- **test de normalité des résidus**

$H_0 : \epsilon$ suit une distribution Normale vs $H_1 : \epsilon$ ne suit pas une distribution Normale

$$p_{test} \approx 0.21, \text{ risque } 5\% < 21\% \Rightarrow \text{non rejet de } H_0$$

- **la table d'ANOVA pour la régression**

paramètre	dl	sum sq	mean sq	test F	p-test
ruek	1	1755069	1755069	1847	$9.64e^{-10}$
residuals	7	6652	950		

$$l_{ruek} = \frac{1755069}{1761720} \approx 0.996 \text{ et } \hat{\beta}_1 \approx -0.998$$

\Rightarrow indice élevé alors la msa est donc très sensible à la variation du ruetk

Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Mosaic

- **Analyse de sensibilité du paramètre ruetk**

- **test de significativité des paramètres de la régression**

$$H_0 : \Theta = 0 \text{ vs } H_1 : \Theta \neq 0$$

$$p_{test} \approx 2e^{-5}, \text{ risque } 5\% > 2e^{-5} \Rightarrow \text{rejet de } H_0$$

- **test de normalité des résidus**

$H_0 : \epsilon$ suit une distribution Normale vs $H_1 : \epsilon$ ne suit pas une distribution Normale

$$p_{test} \approx 0.21, \text{ risque } 5\% < 21\% \Rightarrow \text{non rejet de } H_0$$

- **la table d'ANOVA pour la régression**

paramètre	dl	sum sq	mean sq	test F	p-test
ruetk	1	1755069	1755069	1847	$9.64e^{-10}$
residuals	7	6652	950		

$$l_{ruetk} = \frac{1755069}{1761720} \approx 0.996 \text{ et } \hat{\beta}_1 \approx -0.998$$

\Rightarrow indice élevé alors la msa est donc très sensible à la variation du ruetk

Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Probe

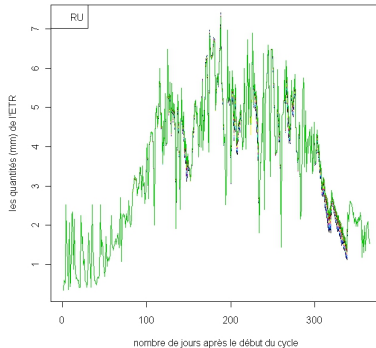
- **Analyse de sensibilité du paramètre RU**

- **les options de simulation**

code	unité	valeur	variation (%)	domaine
RU	mm/cm	1	2	0.9 - 1.1

- **la variabilité de l'ETR sous l'effet de la variation de la RU**

la variabilité de l'évapotranspiration réelle (ETR)



Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Probe

- **Analyse de sensibilité du paramètre RU sur l'évapotranspiration réelle (ETR)**

- le modèle

$$\hat{Y} = g(\Theta)$$

- \hat{Y} : les quantités d'ETR simulées pour une valeur de Θ : θ_i avec $i = 1, \dots, p$
- θ_i : les valeurs prises par la RU dans son domaine de variation

- analyse de sensibilité par l'écart quadratique moyen

$$EQM_{RU} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

Avec y_i : les ETR de référence

Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Probe

- **Analyse de sensibilité du paramètre RU sur l'évapotranspiration réelle (ETR)**

- le modèle

$$\hat{Y} = g(\Theta)$$

- \hat{Y} : les quantités d'ETR simulées pour une valeur de Θ : θ_i avec $i = 1, \dots, p$
- θ_i : les valeurs prises par la RU dans son domaine de variation

- **analyse de sensibilité par l'écart quadratique moyen**

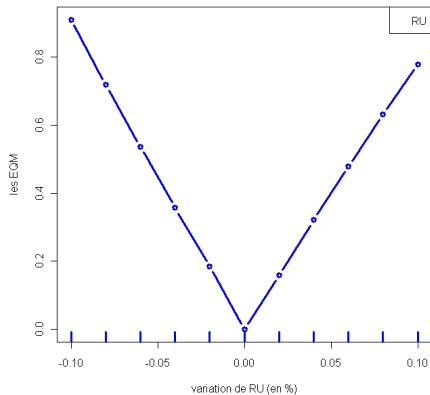
$$EQM_{RU} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

Avec y_i : les ETR de référence

Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Probe

- Analyse de sensibilité du paramètre RU
 - les écarts liés à la variation de la RU

les écarts quadratiques moyens sous l'effet de la variation de la RU



- **indicateur de sensibilité** : écart élevé \Rightarrow l'ETR est donc sensible à la RU



Conclusion et Perspectives

● Intérêts

- Mosaicas : mesurer la sensibilité aux paramètres pour une sortie de matière sèche aérienne à 12 mois
- Probe : mesurer la sensibilité à certains paramètres sur les termes du bilan hydrique
- types d'incertitude sur l'erreur de prévision des modèles de culture
 - 1 les entrées du modèle : paramètres et données climatiques ; formes des équations
 - 2 le type d'environnement

● Limites

- sensibilité des données climatiques non prise en compte par les outils de simulation de Mosaicas et de Probe
- impact des erreurs des données d'entrée et du modèle non pris en compte par Mosaicas et par Probe

Conclusion et Perspectives

• Intérêts

- Mosaicas : mesurer la sensibilité aux paramètres pour une sortie de matière sèche aérienne à 12 mois
- Probe : mesurer la sensibilité à certains paramètres sur les termes du bilan hydrique
- types d'incertitude sur l'erreur de prévision des modèles de culture
 - 1 les entrées du modèle : paramètres et données climatiques ; formes des équations
 - 2 le type d'environnement

• Limites

- sensibilité des données climatiques non prise en compte par les outils de simulation de Mosaicas et de Probe
- impact des erreurs des données d'entrée et du modèle non pris en compte par Mosaicas et par Probe

Conclusion et Perspectives

● Perspectives d'ouverture

- analyser la sensibilité des données d'entrées climatiques
 - avec d'autres années de calage pour Mosicas
 - avec d'autres conditions pluvieuses contrastées et des conditions de sécheresse
- analyser la sensibilité des paramètres croisés
- étudier les biais des estimations par confrontation entre les résultats de simulation et les valeurs de référence

Les références principales

- Chopart J. L., Le Mézo L., Mézino M. - "PROBE-w (PROgramme de Bilan de l'Eau) : logiciel de modélisation du bilan hydrique dans un sol cultivé, présentation et guide d'utilisation", CIRAD - 2009
- Langellier P., Tediosi A., Letourmy P. and Giner M. - "Sensitivity of the KANEAU irrigation management model applied to agroindustrial sugarcane complexes", CIRAD - 2009
- Martiné J. F. et Todoroff P. - "Le modèle de croissance Mosicas et sa plateforme de simulation Simulex : Etat des lieux et perspectives" - 2002
- Martiné J. F. - Thèse de doctorat : "Modélisation de la production potentielle de la canne à sucre en zone tropicale, sous conditions thermiques et hydriques contrastées. Application du modèle", INRA PARIS-GRIGNON - 2003
- Saltelli A., Chan K. and Marian Scott E.- "Sensitivity Analysis" John Wiley & Sons, Ltd - 2000