

Etudier l'erreur sur la biomasse aérienne de la canne à sucre et  
sur le bilan hydrique :  
mise en œuvre des modèles Mosicas et Probe sur des données de  
l'Ile 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 copération 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'Ile 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'Ile 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.

### Etudier l'erreur sur la msa à 12 mois et sur le bilan hydrique

## Matériels et Méthodes

- Mosicas, Probe et leurs données associées

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

$\Theta$  : 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  $\Theta$

## Matériels et Méthodes

- principe de l'analyse de sensibilité par paramètre

- On définit une série de valeurs de longueur  $p$  autour de  $\Theta$  :

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

- 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  $\Theta$
- On calcule l'indicateur de sensibilité attribué à la perturbation de  $\Theta$  :  $I(\Theta)$



## 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
- $\Theta$  : le vecteur des  $p$  valeurs prises par la variable d'entrée étudiée

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

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

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

⇒ **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
- $\Theta$  : le vecteur des  $p$  valeurs prises par la variable d'entrée étudiée

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

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

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

⇒ **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

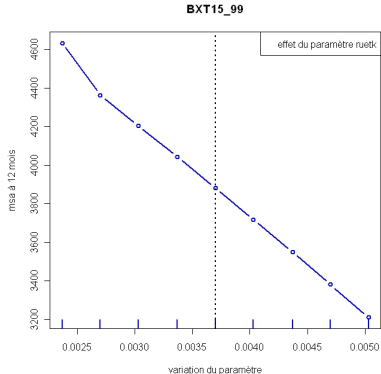
## Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Mosicas

- **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 Mosicas

- Analyse de sensibilité du paramètre ruetk

- le modèle

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

- $y$  : la msa produite à 12 mois
- $\beta_0$  : terme constant de la regression ou la msa au début du cycle
- $\beta_1$  : pente de la regression liée à  $\theta$
- $\theta$  : les valeurs prises par le paramètre étudié dans son domaine de variation
- $\epsilon \hookrightarrow N(0, \sigma^2)$  : erreur d'ajustement

- indicateurs de linéarité

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

## Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Mosicas

- Analyse de sensibilité du paramètre ruetk
  - le modèle

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

- $y$  : la msa produite à 12 mois
- $\beta_0$  : terme constant de la regression ou la msa au début du cycle
- $\beta_1$  : pente de la regression liée à  $\theta$
- $\theta$  : 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 Mosicas

- 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 Mosicas

- **Analyse de sensibilité du paramètre ruetk**

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

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

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

- **test de normalité des résidus**

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

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

- **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		

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

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

## Résultats et Discussions : Mise en œuvre de Probe

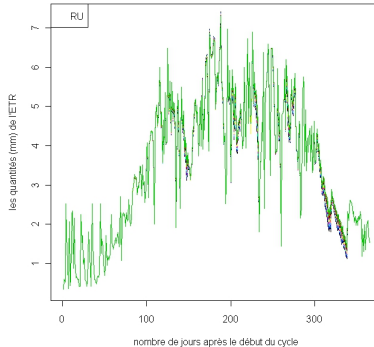
- **Analyse de sensibilité du paramètre RU**

- 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  $\Theta$  :  $\theta_i$  avec  $i = 1, \dots, p$
    - $\theta_i$  : 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  $\Theta : \theta_i$  avec  $i = 1, \dots, p$
    - $\theta_i$  : les valeurs prises par la RU dans son domaine de variation

- analyse de sensibilité par l'écart quadratique moyen

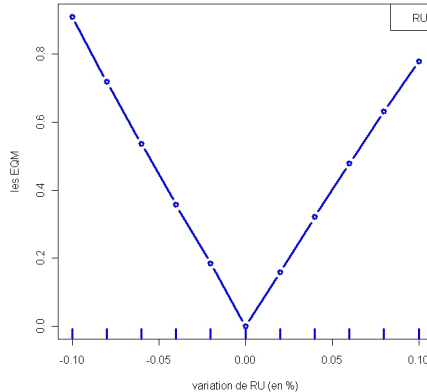
$$EQM_{RU} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{i=1}^p (\hat{y}_i - y_i)^2}$$

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

- Mosicas : 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 Mosicas et de Probe
- impact des erreurs des données d'entrée et du modèle non pris en compte par Mosicas et par Probe

## Conclusion et Perspectives

### • Intérêts

- Mosicas : 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 Mosicas et de Probe
- impact des erreurs des données d'entrée et du modèle non pris en compte par Mosicas 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