

## **PREVISION DE RENDEMENTS DE CULTURES DE MAIS AVEC LE MODELE AGROMETEOROLOGIQUE WOFOST**

**Eboua N. WANDAN<sup>1</sup>, Adama DIAWARA<sup>2</sup>, Bernard TYCHON<sup>3</sup>,  
Amani Louis KOUADIO<sup>1</sup> et Djeneba MANNE<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Department eaux, forêts et environnement, INP-HB, Yamoussoukro,  
Côte d'Ivoire.*

<sup>2</sup>*Laboratoire de physique atmosphérique (LAPA), Université de Cocody-  
Abidjan, Côte d'Ivoire.*

<sup>3</sup>*Fondation universitaire luxembourgeoise, Arlon, Belgique*

(Reçu le 10 Mars 2008, accepté le 04 Octobre 2008)

---

\* Correspondance et tirés à part, e-mail : [wandaneb@yahoo.fr](mailto:wandaneb@yahoo.fr)

### **RÉSUMÉ**

La prévision des rendements des cultures vivrières constitue un atout essentiel en matière de politique agricole. Les modèles agro-météorologiques offrent une bonne capacité pour la prévision et l'estimation des rendements à l'échelle d'un pays.

L'objectif de cette étude est de faire la calibration du modèle agro-météorologique WOFOST en se basant sur les mesures in situ de la biomasse du maïs.

La comparaison entre les biomasses produites en parcelle et celles simulées donne en première année un coefficient de corrélation de 0,96-0,98 et un RMSE de 26,2-49,3 kg/ha soit une erreur de prévision de 1,7 à 3,3 %. Les résultats de la deuxième année donnent un coefficient de corrélation qui se situe entre 0,57 et 0,90 avec des erreurs de prévision de l'ordre de 28,33 à 55,13 %. Ces résultats démontrent que plus les conditions du sol sont propices, plus les valeurs prédites par le modèle sont en bon accord avec les valeurs de biomasse mesurées sur le terrain.

**Mots-clés :** *Modèle agro-météorologique, modèle atmosphérique régional (MAR), WOFOST, prévision des rendements, calibration*

## ABSTRACT

### Prediction of maize yield with the agrometeorological model WOFOS

Yield prediction of food production is an essential tool for agricultural planning. As such, agrometeorological models are good means of prediction an estimation of yields at a country level. The goal of this study was to calibrate WOFOST, an agrometeorological model, by comparing simulated and measured yield of maize (*Zea mays* L). Measured biomass was regressed against simulated biomass and tested to show if the slope was significantly different from 1.0. The results showed that the measured storage organs biomass and total above-ground biomass were not significantly different from the simulated biomass. The results show that WOFOST can make a good simulation of these crops.

**Keywords :** *Agrometeorological models, WOFOST, Yield forecasting, calibration, regional atmospheric model (RAM)*

## I - INTRODUCTION

Face aux incidences socio-économiques non négligeables que peut avoir l'évolution du climat sur l'agriculture, il apparaît important de développer des systèmes de prévision des rendements agricoles ayant recours aux données climatiques. En effet, le climat est un des facteurs clés de la production agricole. Dans certains cas, plus de 80 % de la variabilité de la production agricole est due à la variabilité des conditions climatiques, spécialement dans les systèmes de production liés à la pluviométrie [1].

En Afrique subsaharienne, l'utilisation des modèles agrométéorologiques dans le cadre des politiques agricoles des pays se révèle être un atout majeur pour la lutte contre la famine et pour l'autosuffisance en productions vivrières. En effet dans ce domaine, les pays ont un intérêt certain à connaître à l'avance leurs provisions alimentaires afin de mieux gérer leurs excédents ou déficits. Deux principaux types de modèles de prévisions de rendement existent. Ce sont les modèles statistiques et les modèles agroclimatiques.

Le recours aux données climatiques dans le but de prévoir les rendements de cultures a fait, depuis longtemps, l'objet de multiples recherches. [2-6]. De nombreux modèles ont été élaborés dans le cadre de ces études. La validation de ces systèmes passe nécessairement par la réalisation de prévisions dans des conditions proches de la pratique [7].

En Côte d'Ivoire, le projet d'implantation du Modèle Atmosphérique Régional (MAR) s'est fixé pour objectifs principaux l'étude de l'impact de

l'évolution des conditions climatiques sur les rendements et productions agricoles et la mise à la disposition d'un outil d'analyse de situations météorologiques et de climatologie. Ce projet qui a débuté depuis juin 2001, doit permettre l'étude des variations climatiques et le suivi des campagnes agricoles.

Le MAR est un modèle conceptuel qui tente de décrire les phénomènes physiques atmosphériques à la base de l'évolution du temps [8]. Ses sorties sous forme de grilles régulières, renseignent sur les paramètres météorologiques intervenant comme variables d'entrée dans les modèles de croissance de cultures : précipitations, rayonnement global, températures de l'air, humidité relative de l'air, vitesse du vent, etc. Cet outil, couplé à un modèle de croissance de culture, permettra d'estimer et de prévoir à l'échelle régionale les niveaux de rendements pour les cultures vivrières les plus répandues (maïs, manioc, riz, igname, etc.).

Dans le cadre du projet MAR, l'Ecole Supérieure d'Agronomie s'est donné pour objectif de valoriser les sorties du modèle atmosphérique par le développement d'un modèle agrométéorologique. Le développement dudit modèle se base sur le modèle CGMS (Crop Growth Monitoring System) utilisé par le département de Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université de Liège pour l'estimation des rendements et des productions au niveau de la Belgique [9]. Toutefois, la mise à exécution de CGMS nécessite une bonne connaissance du modèle agrométéorologique WOFOST dans la mesure où CGMS est constitué essentiellement de WOFOST, et d'outils complémentaires (un Système d'Information Géographique et une base de données).

Le présent travail se situe dans le cadre de ce projet de recherche. Il s'agit de comparer les résultats issus de parcelles expérimentales et ceux issus de simulations par WOFOST pour une des principales cultures vivrières : le maïs.

## **II - MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **II-1. Matériel**

#### ***II-1-1. Revue du modèle***

WOFOST (World Food Studies) est un modèle agrométéorologique mécanistique conçu par le Centre d'Etude pour l'Alimentation Mondiale à Wageningen au Pays Bas [10]. Ce modèle simule la croissance des cultures annuelles et détermine les rendements à partir des données météorologiques, pédologiques et culturales. WOFOST prend en compte le facteur écologique

alors qu'en pratique, le rendement résulte de l'interaction entre plusieurs facteurs (écologiques, technologiques et socio-économiques); WOFOST considère donc que ces facteurs sont optimaux. La version 7.1 qui est actuellement utilisée a été développée dans le cadre de la gestion durable des ressources écologiques en Asie tropicale [11].

Certains fichiers de WOFOST ont été modifiés pour cadrer avec les conditions expérimentales de notre étude ; il s'agit des fichiers plante, données météorologiques et sol.

Le fichier plante a été modifié en se basant sur la bibliographie et les différentes observations faites sur le terrain concernant les variétés de maïs utilisées dans cet essai. Les données météorologiques obtenues auprès de la station synoptique de Yamoussoukro ont été adjointes au fichier météorologique (CABO) déjà existant. Les vitesses de vent à 2m du sol n'ont pu être disponibles; nous avons utilisé une valeur moyenne de 0.91 m/s, comme le propose A. Touré [12]. Le fichier sol a été modifié en tenant compte des teneurs en éléments nutritifs du sol mesurées sur des échantillons de sol prélevés sur les parcelles d'expérimentation (**Tableau 4**). Les autres caractéristiques étant identiques, elles n'ont pas été modifiées.

### ***II-1-2. Site expérimental***

L'expérimentation a eu lieu dans le centre de la Côte d'Ivoire dans les régions des lacs (Yamoussoukro) et du Marahoué (Bouaflé). Les essais se sont effectués sur deux années ; en 2004 sur la ferme expérimentale de l'Ecole Supérieure d'Agronomie de Yamoussoukro (1 ha) et en 2005 sur trois sites : (1) la ferme expérimentale de l'ESA, (2) une parcelle située dans le terroir de Duokro (Bouaflé) à 20 km au sud de Yamoussoukro ; (3) une parcelle située sur le terroir de Kossou à 40 km au nord du village de Kossou.

### ***II-1-3. Matériel végétal***

Deux variétés de maïs ont été utilisées : la variété PR 9131-SR à cycle de 95 à 100 jours et la composite jaune de Bouaké (CJB) à cycle 90-100 jours. Ces variétés sont les plus vulgarisées par les services de l'Agence Nationale d'Appui au Développement Rural (ANADER) de Yamoussoukro, en Côte d'Ivoire.

### ***II-1-4. Matériel***

Dabas, machettes, une tarière, une pioche, une pelle, un topofil, un couteau, une balance (Sartorius laboratory série L 2200 S), une étuve (Memmert type UL 80, 88 0461).

**II-1-5. Semis**

Le semis du maïs a été effectué en ligne par poquet de 2 grains, avec une quantité totale de grains de 15 à 20 kg pour couvrir une superficie d'un hectare, soit une densité de 25 000-30 000 pieds/ha. Les conditions de cultures sont celles adoptées par les paysans. Un apport d'urée (46 %N) à une dose de 200 kg/ha a été fait dans la première décade du mois de novembre en 2004 sur la parcelle expérimentale de l'ESA.

**II-1-6. Mesures effectuées**

Les mesures de biomasse faites concernaient aussi bien les racines, les tiges et les feuilles, que les épis. Ces mesures ont consisté essentiellement en un prélèvement aléatoire décadaire de 10 plants de maïs. Chaque pied de maïs ayant été numéroté en fonction de sa position (ligne, colonne).

**II-2. Méthodes****II-2-1. Collecte des données**

**Climat** : Les données météorologiques proviennent de la station synoptique de Yamoussoukro ; le rayonnement global n'étant pas disponible, nous l'avons estimé en utilisant la formule d'Angström [12]:

$$R_s = (a + b \frac{n}{N})R_a \quad (1)$$

avec n, l'insolation journalière ;  $R_a$ , le rayonnement extraterrestre ( $R_a$ ) ; N, la durée du jour théorique et a et b, des coefficients de régression qui sont fonction de la zone d'étude.

**Données culturales :**

Les informations détaillées sur la physiologie de la culture : somme des températures aux différents stades physiologiques, énergie de conversion, profondeur racinaire, seuil de températures de végétation, etc. sont fournies par WOFOST.

**Données pédologiques :**

Les mesure de l'humidité pondérale du sol ont consisté au prélèvement d'un échantillon de sol à la tarière jusqu'à la zone explorée par les racines (35 cm).

Les parcelles ont été subdivisées en quadrants et deux échantillons de sol ont été prélevés de manière aléatoire dans chaque quadrant. Les échantillons de sol ont été ensuite mélangés afin d'obtenir un échantillon composite.

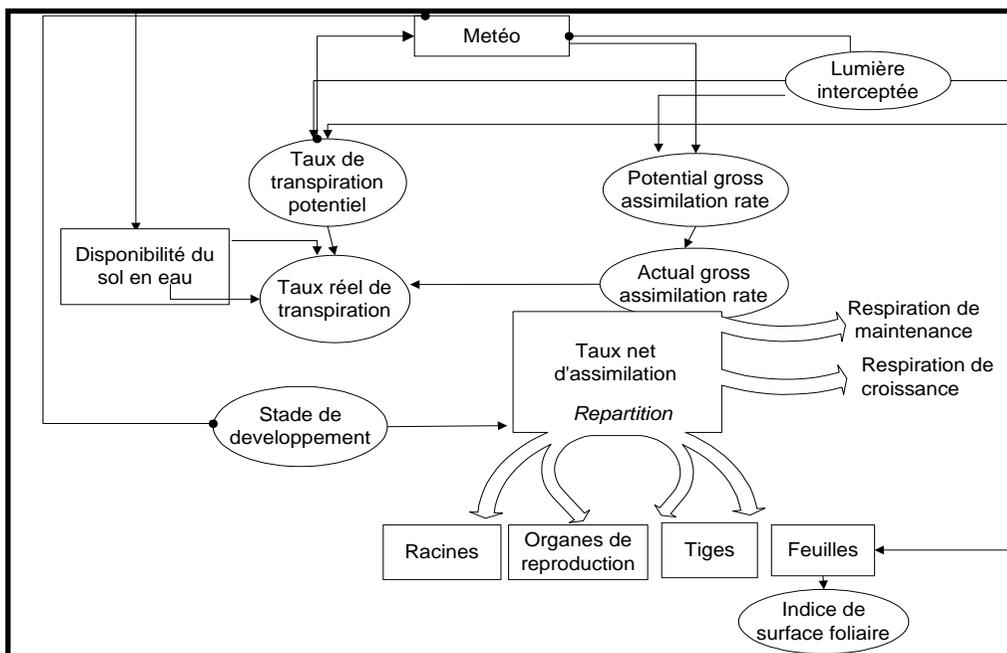
L'échantillon est porté ensuite à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. La pesée de l'échantillon permet de déterminer l'humidité volumique. L'humidité pondérale est obtenue par la formule ci dessous :

$$\Phi_p = \frac{M_e}{M_s} \quad (2)$$

où  $M_e$  représente la différence de masse entre l'échantillon non séché et l'échantillon séché ;  $M_s$  la masse de l'échantillon sec ; et  $\Phi_p$ , l'humidité pondérale.

L'humidité volumique est déduite à l'aide de la formule :  $\Phi_v = \Phi_p \times d_a$  où  $d_a$ , la densité apparente est égale à 1,5.

### Le modèle WOFOST

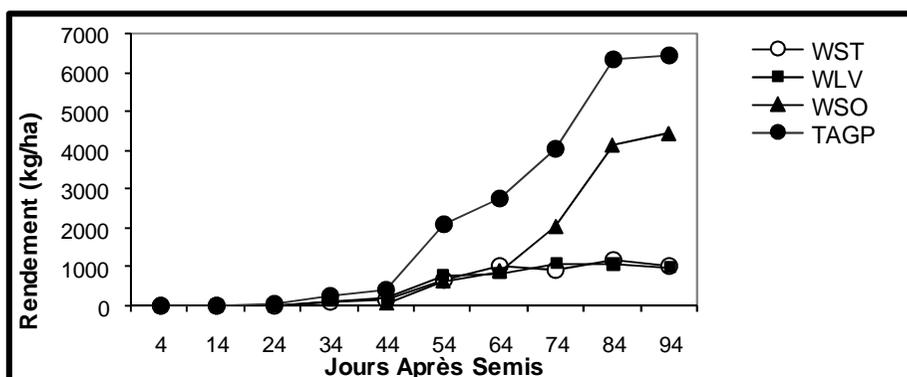


**Figure 1** : Diagramme du modèle WOFOST (Koenig et al, 1993) [13]

### III – RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### III-1. Essais 2004

##### III-1-1. Mesures de biomasse



**Figure 2 :** Valeurs mesurées de la biomasse du maïs au cours de l'expérience, avec WST= biomasse des tiges; WLW= biomasse des feuilles; WSO= biomasse des organes de stockage; TAGP= Biomasse aérienne totale.

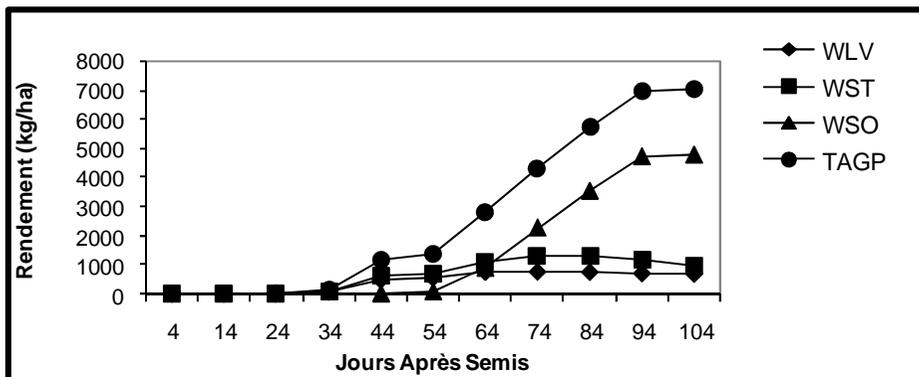
Les mesures de la biomasse du maïs sur la parcelle expérimentale de l'ESA en 2004 sont représentées par la **Figure 2**. Comme on le constate, l'évolution de la biomasse totale aérienne du maïs a une allure générale en S. Cette allure est assez caractéristique de la croissance des plantes où l'on distingue essentiellement trois phases : la phase de croissance lente au début puis une phase de croissance rapide pendant laquelle la plante connaît le véritable développement de ses organes, notamment la tige et les feuilles avec la mise en place progressive des organes de réserve.

Au cours de la dernière phase, la plante cesse de croître pratiquement et le processus de maturation prend place avec l'apparition d'un palier en fin de cycle.

La quantité de biomasse aérienne totale obtenue est d'environ 7 tonnes avec des pourcentages respectifs de 69 % pour les organes de stockage, 16 % pour les tiges et 15 % pour les feuilles.

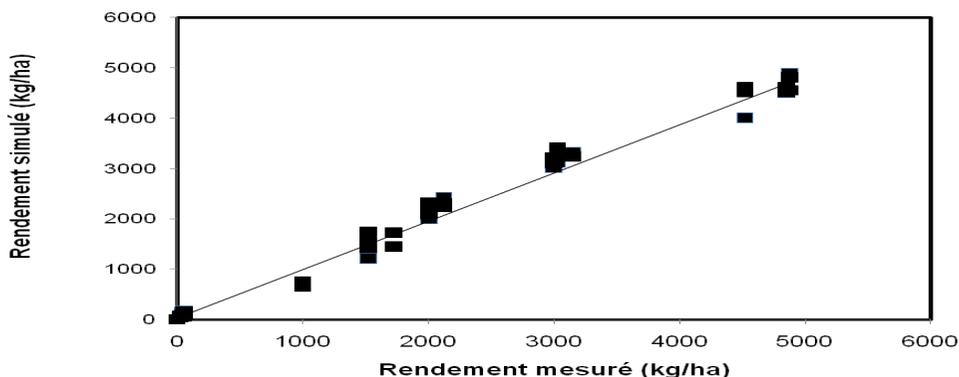
### III-1-2. Simulation de biomasse

La simulation de la production potentielle du maïs est représentée par la **Figure 3**. La mise en place du maïs correspond au deuxième cycle de culture de maïs adopté dans la zone de Yamoussoukro. C'est pourquoi nous avons procédé à la simulation en condition potentielle de culture.

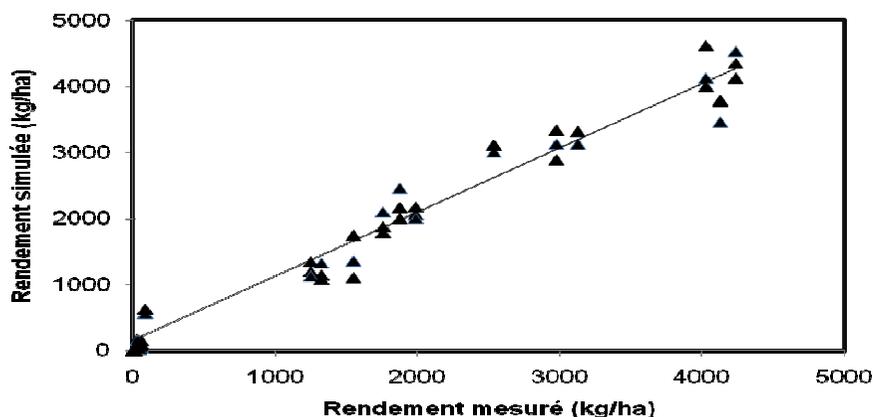


**Figure 3 :** Valeurs simulées des biomasses du maïs (kg/ha), avec WST= biomasse des tiges; WLV= biomasse des feuilles; WSO= biomasse des organes de stockage; TAGP= Biomasse aérienne totale.

Pour faire une comparaison entre les valeurs mesurées sur le terrain et les valeurs simulées, nous avons procédé à l'établissement de droite de régression entre ces différentes valeurs. Cette droite est représentée par la **Figure 3**. Comme on le constate, l'allure des courbes est la même observée en situation de terrain.



**Figure 4 :** Corrélation entre les valeurs mesurées de biomasse des organes de stockage et les valeurs simulées.



**Figure 5 :** *Corrélation entre les valeurs de biomasse totale aérienne mesurées et les valeurs simulées.*

Ces figures montrent également une bonne répartition des points autour de l'axe d'équation  $y=x$ . En fait la dispersion des points autour de la droite d'équation  $y=x$  témoigne de l'aptitude d'un modèle à surestimer ou à sous-estimer les productions. En nous référant aux **Figures 2 et 3**, nous remarquons que le modèle estime assez bien les valeurs. Il n'existe pas non plus une grande différence entre les valeurs obtenues et les valeurs simulées puisque comme la biomasse totale aérienne, la biomasse des organes de stockage se situe dans l'intervalle valeur expérimentale  $\pm \delta$ . WOFOST simule également assez bien le rendement en organes de stockage. Les paramètres de corrélation sont consignés dans le **Tableau 1**.

**Tableau 1 :** *Récapitulatif des comparaisons de biomasse du maïs*

Biomasse	$r^2$	Pente	Abscisse	*RMSE (Kg/ha)
Total aérienne	0,9616	0,97	162,99	49,3
Organes de stockage	0,9801	0,9596	29,513	26,2

Les différentes RMSE trouvées à un risque de 5 % (soit 49.3 kg/ha pour la biomasse totale aérienne et 26.2 kg/ha pour la biomasse des organes de réserves) prouvent que WOFOST simule assez bien la production de biomasse de la culture de maïs. De même, les coefficients de corrélation :  $r^2= 0.96$  pour la biomasse totale aérienne, et  $r^2= 0.98$  pour les organes de

stockage, prouvent que le modèle donne également une bonne prédiction de la biomasse.

RMSE : Root mean squared (racine carré de la moyenne des écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs simulées).

### III-2. Essais 2005

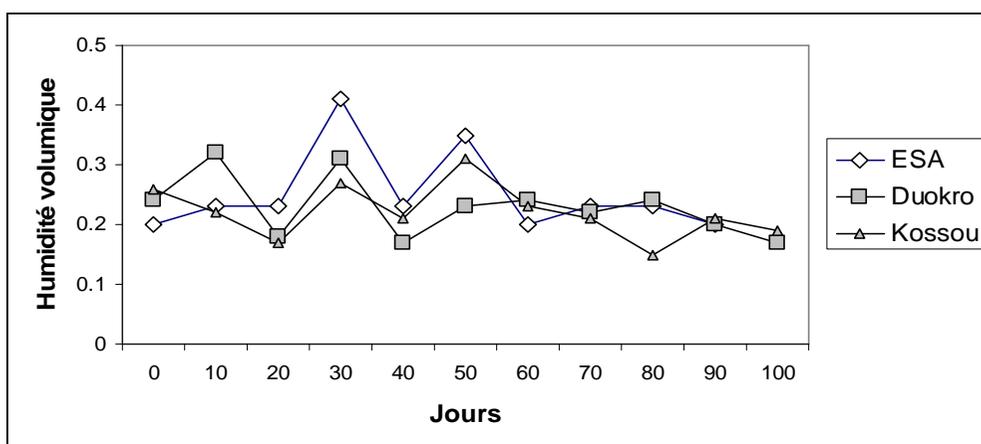
#### *Humidité du sol*

Les mesures faites sur le terrain montrent de manière générale que les sols ont une texture sablo-argileuse et sont riches en P mais le site de Kossou est plus riche aussi bien en azote, qu'en phosphore et potassium.

**Tableau 2 :** *Caractéristiques physico-chimiques des sols*

Sites	Granulométrie (%)			Chimie (kg/ha)		
	Argile	Limon	Sable	N	P	K
ESA	23.48	13.41	63.11	46	5	5
Duokro	27.37	21.33	51.33	48	5	10
Kossou	30.22	21.12	48.66	52	15	18

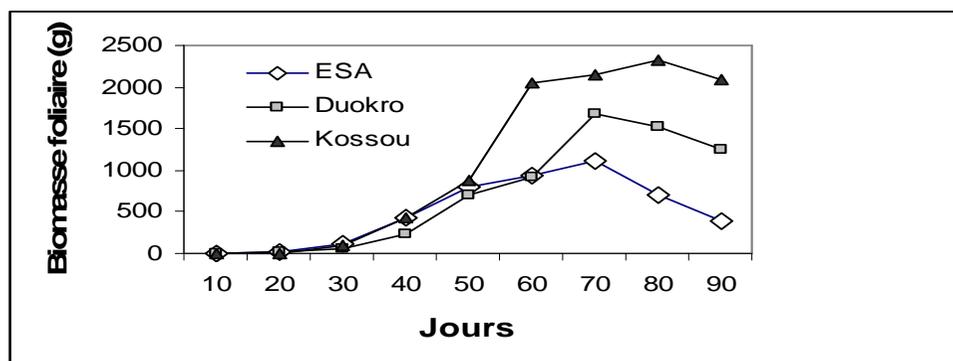
De même, les trois sites présentent la même allure au niveau de l'humidité des sols, avec une moyenne qui se situe autour de 0,25 (**Figure 6**).



**Figure 6 :** *Evolution de l'humidité volumique des sols au cours de l'année*

Comparaison de l'évolution de la biomasse mesurée sur le terrain sur les différents sites de l'étude.

### *Biomasse foliaire*



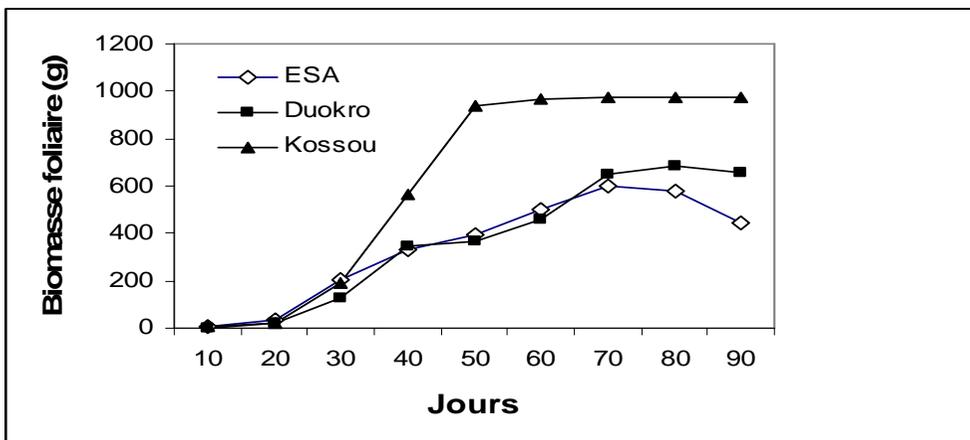
**Figure 7 :** Evolution de la biomasse foliaire simulée par WOFOST

Comme le montre la **Figure 7**, la croissance des feuilles se fait de manière exponentielle jusqu'au 50<sup>ième</sup> jour après le semis où la croissance foliaire s'arrête. Les rendements feuille obtenus se situent entre 446,6 kg/ha et 976,9 kg/ha avec 2 fois plus à Duokro et 3 fois plus à Kossou comparé au site de l'ESA.

### *Biomasse tige*

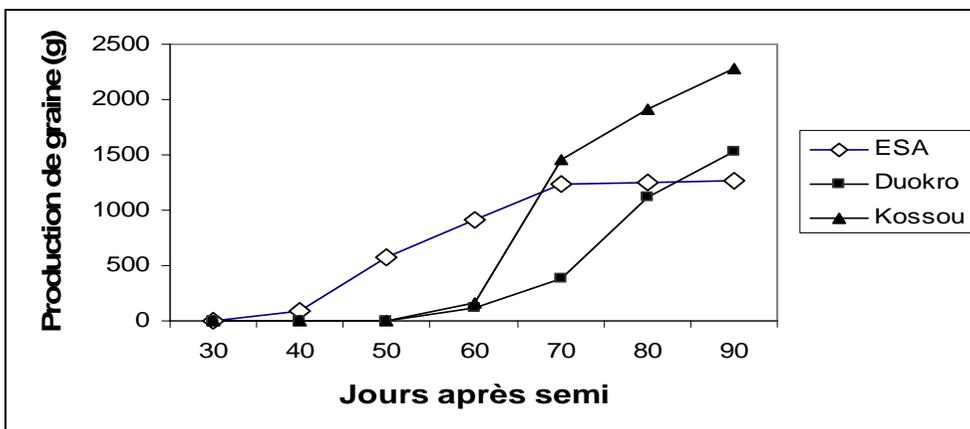
On constate une phase de croissance active entre le 20<sup>e</sup> et le 70<sup>e</sup> jour qui correspond à l'accumulation des réserves. Ces réserves seront ensuite acheminées vers les grains au cours de leur remplissage et de leur maturation, entraînant du coup la chute de la biomasse des tiges à partir du 70<sup>e</sup> jour.

La réserve étant fonction de la disponibilité des sols en éléments nutritifs, du taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et du rayonnement net absorbé, la richesse du sol en éléments nutritifs (NPK) permet d'expliquer la biomasse élevée des tiges observée sur le site de Kossou, toute chose étant égale par ailleurs.



**Figure 8 :** Evolution de la biomasse tige simulée par WOFOST

### Biomasse des organes de stockage (grains)



**Figure 9 :** Evolution de la biomasse des organes de stockage (grains) simulée par WOFOST

L'apparition des grains est plus précoce sur la parcelle de l'ESA (40<sup>e</sup> jours après le semis) que sur les deux autres sites. Les rendements grains sont statistiquement ( $p < 0$ ) plus élevés à Kossou (2304 kg/ha) par rapport à Duokro (1528 kg/ha) et l'ESA (1257 kg/ha). Le rendement élevé à Kossou était déjà prévisible au niveau du développement végétatif plus important au niveau de ce site. En effet, ce sont les assimilats accumulés dans ces organes qui sont par la suite acheminés vers les organes de stockage.

Les **Figures 10, 11, et 12** montrent les courbes de corrélation entre les valeurs mesurées et les valeurs simulées. Les paramètres de ces courbes sont consignés dans le tableau 2. Les coordonnées à l'origine des courbes n'étant pas significatives ( $Pr > 0,05$ ), les équations de rendement en grain peuvent s'exprimer par les équations suivantes :

$$ESA : \text{Rendement mesuré} = 0,71 \text{ Rendement simulé} \quad (3)$$

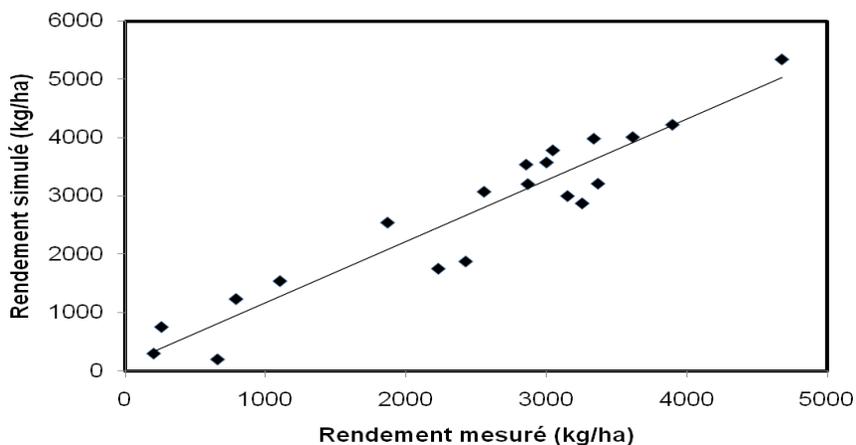
$$Duokro : \text{Rendement mesuré} = 0,72 \text{ Rendement simulé} \quad (4)$$

$$Kossou : \text{Rendement mesuré} = 1,05 \text{ Rendement simulé} \quad (5)$$

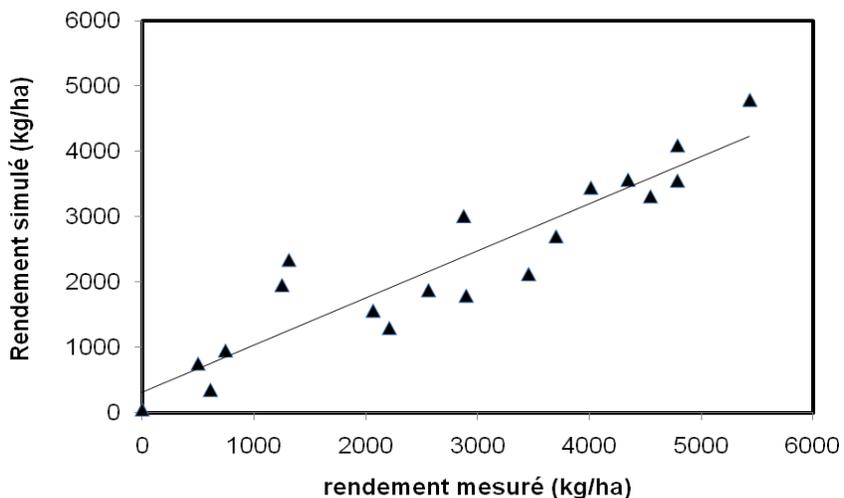
Comme le montrent ces différentes équations, seul l'équation 3 donne une bonne prédiction des rendements de biomasse graine. La même équation présente un coefficient de corrélation ( $r^2 = 90$ ). On peut donc affirmer que c'est sur le site de Kossou que le modèle WOFOST prédit de manière satisfaisante les rendements de biomasse. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait qu'à Kossou, le maïs est planté après les cultures de coton dont la production requiert un apport important d'engrais chimique. En plus de cela, les populations de cette zone possèdent des bœufs d'attelage dont les déjections participent à la fertilité du sol. Dans ces conditions, le modèle se comporte bien. Sur les deux autres sites, il n'y a aucun apport d'élément nutritifs aux sols par conséquent le modèle ne permet pas de prédire de manière satisfaisante les productions.

La racine carrée du carré moyen des résidus (RMSE) représente l'erreur d'estimation par WOFOST du rendement par rapport aux valeurs trouvées sur le terrain. Comme on le constate, ces valeurs (425–827 kg/ha) sont très élevées par rapport aux rendements obtenus au niveau paysan qui est en moyenne de l'ordre de 1,5 tonnes/ha surtout sur le site de l'ESA. Ces valeurs représentent 19,3 à 37,6 % d'erreur d'estimation. Les simulations ayant été faites en condition potentielle, WOFOST considère que tous les facteurs sont optimaux or tel n'est pas le cas sur les sites de Duokro et de l'ESA.

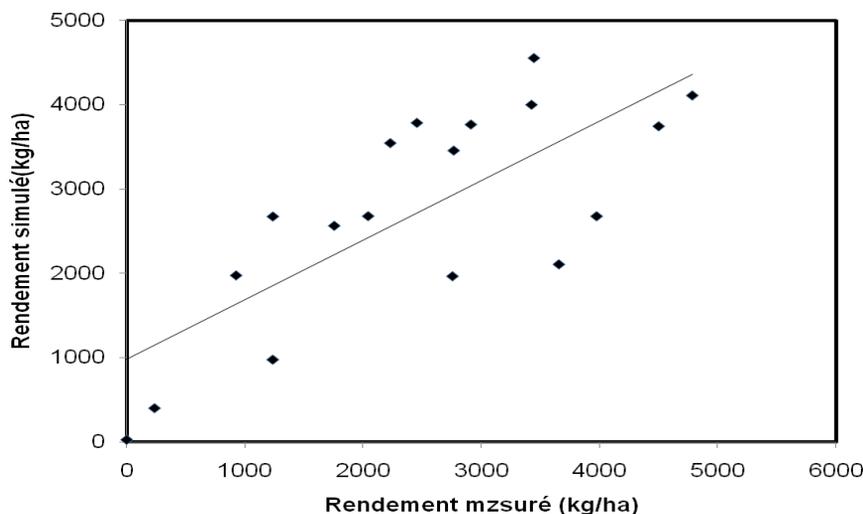
Les écarts observés indiquent qu'il existe une mauvaise estimation de la production de biomasse par le modèle. Cela pourrait s'expliquer par la présence d'un facteur limitant qui doit être plus prononcé sur la ferme expérimentale de l'ESA (**Tableau 2**). Ce facteur pourrait être nutritionnel car il n'y a pas eu de stress hydrique au cours de l'expérimentation.



**Figure 10 :** *Correlation entre la biomasse graine mesurée sur la ferme de Kossou et la biomasse graine simulée par le modèle*



**Figure 11 :** *Correlation entre la biomasse graine mesurée sur la ferme de Duokro et la biomasse graine simulée par le modèle*



**Figure 12 :** *Corrélation entre la biomasse graine mesurée sur la station expérimentale de l'ESA et la biomasse graine simulée par le modèle*

**Tableau 3 :** *Récapitulatif des comparaisons entre les valeurs simulées du rendement et celles mesurées sur le terrain.*

Site	$r^2$	Pente	Constante	RMSE (kg/ha)
ESA	0,57	0,71 (Pr < 0,01)	979,96 (Pr = 0,37)	827
Kossou	0,90	1,05 (Pr < 0,01)	467,50 (Pr = 0,59)	425
Duokro	0,86	0,72 (Pr < 0,01)	315,19 (Pr = 0,31)	479

#### IV - CONCLUSION

Plusieurs facteurs agissent sur le niveau de la production agricole. Ce sont notamment la pluviosité, les facteurs agricoles tels que la qualité des semences, l'occupation des sols, les pratiques culturales ; les facteurs économiques (offre d'intrants agricoles, prix des produits agricoles) et également les facteurs sociaux. La multiplicité des facteurs fait qu'il existe un degré d'incertitude, un peu plus élevé dans certains pays que d'autres, quant à l'issue d'une saison agricole. Pour ces raisons, les prévisions de récoltes sont à la fois instruments de sécurité alimentaire, outils de politique agricole et outils de politique commerciale.

La calibration effectuée dans le cadre de cette étude à partir des parcelles expérimentales de Yamoussoukro, Duokro et Kossou, en Cote d'Ivoire, ont donné des résultats plus ou moins satisfaisants. Les erreurs d'estimations (RMSE à 5 % de risque) pour la biomasse des organes de stockage obtenus se situent entre de 26.2 et 49,3 kg/ha pour 2004 et 425-827 kg/ha pour 2005. Ces valeurs montrent que dans certains cas, le modèle agrométéorologique WOFOST simule assez bien la production de la culture du maïs et dans d'autres cas pas du tout.

Cette étude a concerné essentiellement la calibration du modèle WOFOST sur la base des conditions expérimentales. Il est indispensable d'effectuer une phase de validation qui permettrait de valoriser davantage ce modèle agrométéorologique afin de mettre à la disposition du pays un outil de prévision de rendements des cultures vivrières ; ce qui serait appréciable dans l'élaboration de politiques agricoles efficaces.

Pour être exploitable à une grande échelle (à l'échelle d'une région et même d'un pays), WOFOST doit être spatialisé. La spatialisation qui nécessite plusieurs parcelles d'expérimentation réparties méthodiquement sur toutes les régions de la Cote d'Ivoire n'a pu être faite pour des raisons socio-politiques. A terme cette spatialisation doit être faite comme dans le cas du système B-CGMS.

Ce modèle fournit des prévisions de rendements des principales cultures en Belgique de façon décadaire et à l'échelle des régions. La bonne qualité des résultats fournis fait que depuis Avril 2002 un bulletin agrométéorologique mensuel, basé sur ce système, est disponible pour une large catégorie de personnes et d'institutions belges. En ce qui concerne le MAR, des simulations ont été effectuées au Laboratoire de Physique atmosphérique (Université de Cocody, Abidjan). Nous attendons d'avoir des données spatialisées pour mener à bien la deuxième phase de l'étude ; à savoir le couplage du MAR avec WOFOST.

## RÉFÉRENCES

- [1] - J. PETR. WEATHER AND YIELD. “Developments in Crop Science”. Elsevier, Netherlands, and Agricultural Publishing House. N°20 (1991) 288 pp.
- [2] - P. G. JONES, P. K. THORTON AND P. HILL. “Agrometeorological models: crop growth and stress indices”. Office des Publications Officielles des Communauté Européennes. Luxembourg (Luxembourg), (1995) 53-66.
- [3] - R. KINIRY, J.R. WILLIAMS, J.D. ATWOOD, C.D. RECOISKY, J. MULLIKEN. “Evaluation of two maize models for nine US locations”. *Agronomy Journal*, 89, (3) (1997) 421-426.
- [4] - G. HOOGENBOOM. “Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications”. *Agricultural and Forest meteorology*, 103 (2000) 137-157.
- [5] - O. ROJAS. “Operational maize yield model development and validation based on remote sensing and agro-meteorological data in Kenya”. *International Journal of Remote Sensing*. 28(17) (2007) 3775-3793.
- [6] - J. N. BERNADOS, E. F. VIGLIZZO, V. JOUVET, F. A. LÉTORA, A. J. PORDOMINGO, F. D. CID. “The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine pampa”. *Agricultural Systems*, 69 (3) (2001) 215-234.
- [7] - R. PALM, A. DEBAST, M. LAHLOU. "Comparaison de modèles agrométéorologiques de type statistique empirique construits à partir de différents ensembles de variables météorologiques". *Bull. Rec. Agron. Gembloux*, 26 (1) (1991) 71-89.
- [8] - P. VOSSEN. « Le système de prévision agrométéorologique des rendements de culture : approche élaborée par le projet MARS pour la Commission Européenne ». Colloque international "Estimation de la production agricole à une échelle régionale". Arlon, pp. 53-84, dans la série "un système d'information agronomique pour la communauté européenne", (1997).
- [9] - I. SUPIT, A. HOOJER, C. A. DIEPEN. "System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS. Volume 1: *Theory and Algorithms*". Ed. EUR 15956m Office for the Official Publications of the European Communities. Luxembourg. (1994) 1946 p
- [10] - C. A. DIEPEN, J. VAN WOLF, H. KEULEN, C. RAPPOLT. WOFOST “A simulation model of crop production, soil and management. In Agrometeorological models: crop yield and stress indices”. Proceedings FAO Expert Consultation on Crop Yield Forecasting, Nice, France, (1989).

- [11] - H. L. BOOGUARD, C. A. VON DIEPEN, R. P. ROETTER, J. M. C. A. CABRERA, H. H. VAN LAAR. User's Guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. Technical Document 52. DLO Winand Staring Center, Wageningen, the Netherlands, (1998) 146 pp.
- [12] - A. TOURE « Etude des densités de flux d'énergie de la parcelle agrométéorologique à l'échelle du bassin versant. Application au bassin versant du Kan (Côte d'Ivoire) ». Doctorat PhD., Université de Liège, (1998) 56p.
- [13] - G. H. J. DE KONING, and C. A. VAN DIEPEN. "Crop production potential of the rural areas within the European Community: IV. Potential, water-limited and actual crop production". Working document W68. Netherlands Scientific Council for Government Policy, The Hague, the Netherlands. (1992) 83.