

African Crop Science Journal by African Crop Science Society is licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 Uganda License. Based on a work at www.ajol.info/ and www.bioline.org.br/cs
DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/acsj.v30i2.1>



CARTE DE RECOMMANDATION D'ENGRAIS SPECIFIQUE AU SITE POUR LA PRODUCTION INTENSIVE DE MAÏS EN ZONE SUD SOUDANIENNE DU BURKINA FASO

J. OUEDRAOGO, I. SERME, S. YOUL¹, M. BATIONO, A. MANDO² et F. LOMPO

Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique/Institut de l'Environnement et de
Recherches Agricoles (CNRST/INERA), 01 BP 476 Ouagadougou 01 Burkina Faso

¹ International Fertilizer Development Center, BP 3120 Dakar, Sénégal

² GRAD Consulting Group, 01 BP 6799 Ouagadougou 01, Burkina Faso

Auteur correspondant : jeanouedraogo84@yahoo.fr

(Received 25 October 2021; accepted 20 May 2022)

RESUME

L'intensification de la production du maïs au Burkina Faso passe par une fertilisation adéquate sur des sols propices. L'objectif de cette étude était de développer à l'aide du modèle Information and Decision Support System (IDSS), un outil d'aide à la décision en matière de recommandation d'engrais pour la production du maïs dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso. Les données sur les coûts de l'unité de fertilisant ont été calculés suivant les prix du marché. Le prix de vente du maïs grain a été estimé pour une période allant de la récolte au mois de juin à 0,263 dollars US. Dix options de fertilisation incluant un témoin et la recommandation vulgarisée ont été testées sur la variété Massongo de maïs. Les résultats ont montré que les doses 80N-30P-40K, 120N-30P-40K, 60N-10P-12K (dose vulgarisée) et témoin sans engrais ont été efficaces selon les caractéristiques des sols. L'application des doses efficaces d'engrais a permis de faire passer la superficie couverte par des rendements grains supérieurs à 3 000 kg ha⁻¹ de 39,23% des unités de sols avec la dose vulgarisée à 62,33%. Aussi, des rendements compris entre 3 144 et 4 630 kg ha⁻¹ avec des marges brutes comprises entre 557,322 dollars US par ha⁻¹ et 898,098 dollars US par ha⁻¹ ont-ils été obtenus. Ces cartes constituent des outils d'aide à la décision pour la production du maïs. Elles peuvent servir de référence pour l'élaboration et/ou la mise à jour d'autres cartes de recommandation d'engrais.

Mots Clés : Modèle agronomique, simulation, *Zea mays*

ABSTRACT

Intensification of maize (*Zea mays* L) production in Burkina Faso requires adequate fertilisation on suitable soils. The objective of this study was to develop a decision support tool for fertiliser recommendations for maize production in the southern Sudanian zone of Burkina Faso using the Information and Decision Support System (IDSS) model. Data on costs per unit of fertiliser were calculated using local market prices in Burkina Faso. The selling price of grain maize was estimated for

a period from harvest to June at US\$ 0,263. Ten fertilisation options, including a control and the recommended extension rate were tested the Massongo maize variety. The results showed that 80N-30P-40K, 120N-30P-40K, 60N-10P-12K (recommended rate) and the no-fertiliser control were efficient, depending on soil characteristics. Application of efficient fertiliser rates allowed the area covered by grain yields greater than 3000 kg ha⁻¹ to increase from 39.23% of soil units with the extension rate to 62.33%. Application of efficient fertiliser rates increased the area covered by grain yields above 3 000 kg ha⁻¹ from 39.23% of soil units with the extension rate to 62.33%. Also, yields between 3 144 and 4 630 kg ha⁻¹, with gross margins between US\$ 557,322 ha⁻¹ and US\$ 898,098 ha⁻¹ were obtained. These maps are decision support tools for maize production and can be used as a reference for the development and/or updating of other fertiliser recommendation maps.

Key Words: Agronomic model, simulation, *Zea mays*

INTRODUCTION

Le maïs (*Zea mays* L.) est une culture stratégique au Burkina Faso. Il est la 3^{ème} céréale aussi bien en termes de superficie emblavées qu'en termes de production. La demande en maïs est de plus en plus importante du fait du changement d'habitude alimentaire des populations, l'accroissement de la population urbaine et le développement de l'élevage intensif et semi-intensif. Malgré un taux d'adoption des variétés améliorées de maïs de 80% (CNS-Maïs, 2018), les rendements restent faibles. Selon Sermé *et al.* (2020), l'augmentation de la production maïsicole, est plus liée à l'accroissement des superficies cultivées et qu'à celle des rendements. Ces faibles rendements s'expliquent par les caprices climatiques (Nelson *et al.*, 2009 ; Sultan *et al.*, 2015), mais surtout par la faible fertilité des sols et les pratiques agricoles inadaptées (Powlson *et al.*, 2011 ; Bationo *et al.*, 2012). En Afrique Occidentale, la production céréalière souffre d'apports insuffisants de fertilisants (engrais minéraux ou organiques) qui limite fortement les rendements (FAO, 2003). Dans ces conditions, l'utilisation engrais minéraux et de la matière organique s'avèrent nécessaires pour améliorer la fertilité des sols et la nutrition minérale des cultures (Bationo et Fening, 2018). La mise à jour des recommandations d'engrais s'impose du fait de l'évolution des caractéristiques des sols et des changements

climatiques. Toutefois, face au coût onéreux et au long temps nécessaire pour la conduite des expériences de mise à jour des recommandations d'engrais (Nurudeen, 2011), l'utilisation des modèles agronomiques constitue une alternative pour la mise à jour des recommandations d'engrais spécifique au site (Ouattara *et al.*, 2017 ; Ouédraogo *et al.*, 2018 ; Saïdou *et al.*, 2018). Ainsi, plusieurs travaux de mises à jour des recommandations d'engrais basés sur la modélisation ont été réalisées dans le but de fournir des recommandations d'engrais adaptées aux zones agroécologiques (Ouattara *et al.*, 2017 ; Ouedraogo *et al.*, 2018 ; Sermé *et al.*, 2018). La plupart de ces travaux ont été réalisés grâce à l'utilisation de modèle agronomique comme *Decision Support System for Agro technology Transfer* (DSSAT) ou d'outil d'optimisation de l'utilisation des engrais (*Fertilizer OPTIMIZER*). Cependant, ces modèles ne donnent de recommandations spatialisées qui tiennent compte de la diversité des sols. Plusieurs études ont montré la variabilité de la fertilité des sols (Iticha et Takele, 2019 ; Panday *et al.*, 2019 ; Raddy *et al.*, 2021 ; Hossain et Siddique, 2020) ; ce qui requiert alors une formulation de recommandation d'engrais tenant compte des caractéristiques du sol à travers l'usage de carte de sol. C'est ainsi que le modèle *Information and Decision Support System* (IDSS) a été utilisé pour développer un outil d'aide à la décision en matière de fertilisation pour la production du

maïs en zone sud soudanienne du Burkina Faso. L'objectif global était de contribuer à une amélioration de la production du maïs par une meilleure prise de décision par les producteurs.

MATERIEL ET METHODES

Description de la zone d'étude. L'étude a concerné les provinces de la Comoé et de la Léraba à l'Ouest du Burkina Faso. Le climat de zone est de type sud soudanien en général (Fontes et Guinko 1995) avec une tendance soudano-guinéenne vers l'extrême sud. Située entre les isohyètes 1000 mm et 1200 mm, elle fait partie des zones les mieux arrosées du Burkina Faso. Les températures moyennes mensuelles fluctuent entre 25,9°C et 31,6°C. Les formations végétales sont très composites (Fontes et Guinko, 1995). La végétation ligneuse, arborée ou arbustive est composée d'essences telles que: *Acacia polyacantha subsp. Campylacantha*, *A. sieberiana*, *Anogeissus leiocarpus*, *Burkea africana*, *Vitellaria paradoxa*, *Cussonia barteri*, *Daniellia oliveri*, *Diospyros mespiliformis*, *Isobertinia dalzielii*, *Khaya senegalensis*, *Kigelia africana*, *Parkia biglobosa*. Le tapis herbacé dominé par des espèces telles qu'*Andropogon gayanus*, *Andropogon* spp., *Loudetia togoensis* profite aux éleveurs qui pratiquent toujours un pastoralisme à caractère extensif et transhumant. A côté des formations végétales naturelles, il existe des formations anthropiques peuplées par des parcs à agrumes, *Anacardium* sp., *Mangifera indica*.

Description du modèle Information and Decision Support System (IDSS). Le modèle *Information and Decision Support System* (IDSS) est un modèle qui combine le modèle agronomique *Decision Support System for Agro technology Transfer* (DSSAT) et les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). Le processus de développement de la carte de recommandation est présenté par la Figure 1.

Matériel végétal. La variété Massongo a été utilisée. Il s'agit d'une variété améliorée avec un cycle de 97 jours et un rendement potentiel de 5,6 t ha⁻¹. Cette variété a d'abord été calibrée à l'aide du programme utilitaire Glue de DSSAT 4.7. Les résultats de calibrage des coefficients génétiques de la variété utilisée pour les simulations sont présentés dans le Tableau 1.

Options de fertilisation testées. Sur la base de travaux antérieurs, dix options de fertilisation ont été identifiées pour le développement de la carte de recommandation d'engrais. Parmi, ces dix options, cinq options ont été simulées à l'aide du modèle DSSAT 4.7. La matière organique avait une teneur en azote de 0,56%, en phosphore et en potassium respectivement de 0,24% et 0,85%. Le Tableau 2 présente les options de fertilisation testées.

Données climatiques. Les données climatiques journalières (la température maximum, la température minimum, les précipitations, l'insolation) sur 32 années ont été collectées auprès de la station météorologique de Bérégaougou, gérée par la SN-SOSUCO. La durée d'insolation a été convertie en radiation solaire par le programme *Weatherman* de DSSAT 4.7.

Carte des sols de la zone d'étude. Un fond de carte des sols de la zone a été utilisé pour les simulations. Les principaux types de sols de la zone sont présentés dans Figure 2. Les sols dominants varient en fonction des communes. Les caractéristiques physico-chimiques de ces sols sont résumées dans le Tableau 3.

Simulation. Pour l'élaboration du fichier 'culture', les dates et les méthodes de réalisation des différentes opérations culturales ont été saisies dans le modèle. Le semis a été précédé d'un labour à une profondeur d'environ 20 cm. Le semis a été fait avec un espacement de 80 cm entre les lignes et 40

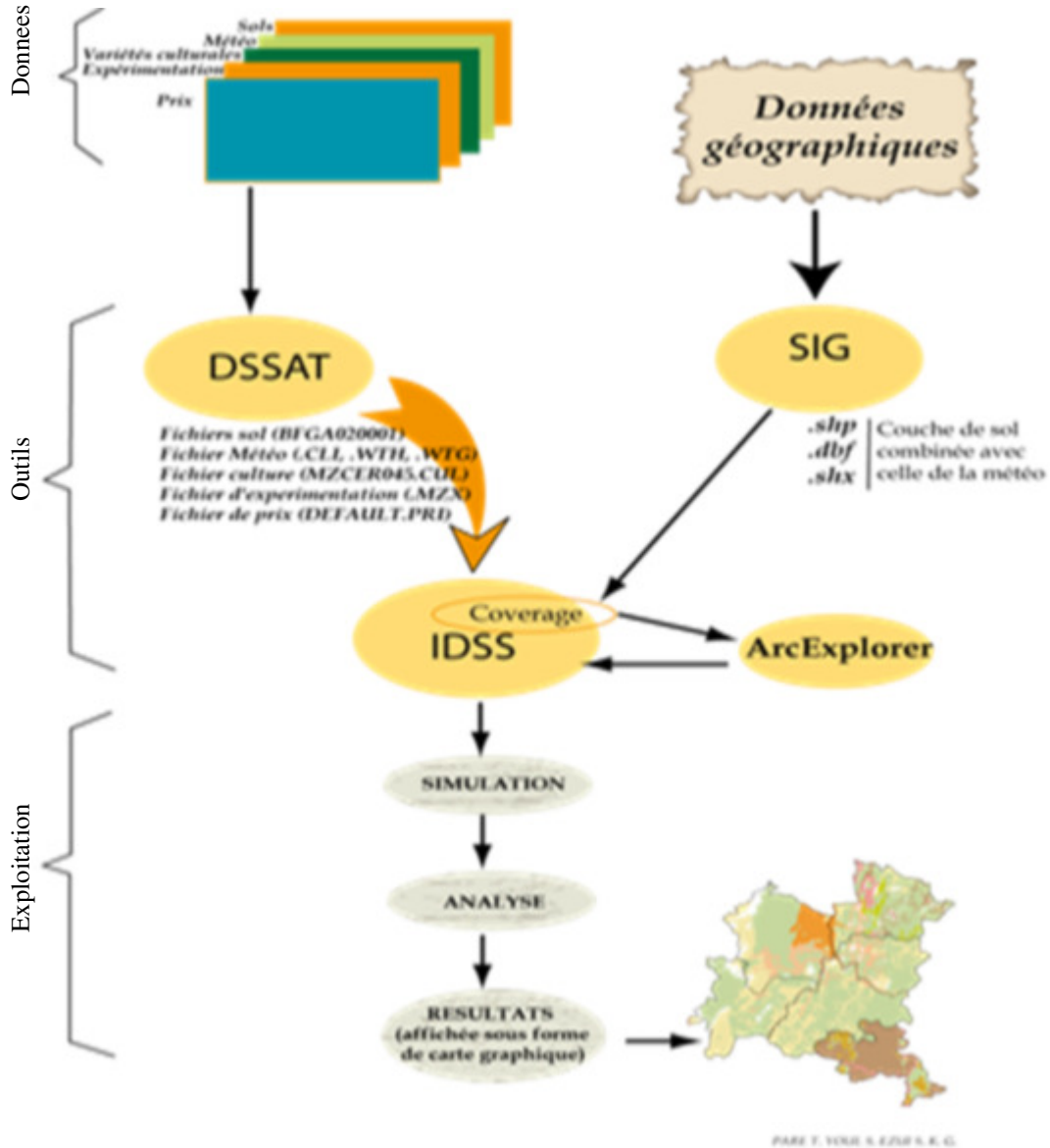


Figure 1. Démarche du modèle IDSS pour le développement de carte de recommandation.

Source : Paré *et al.* (2010)

cm sur les lignes. Deux grains ont été semés par poquet. Les apports de fumure de fond (NPK) ont été faits au 15^{ème} Jour Après Semis (JAS) alors que ceux de l'urée ont été faits en deux (02) fractions: 2/3 au 15^{ème} JAS et 1/3 au 45^{ème} JAS. La matière organique a été appliquée à la préparation du sol. Le scénario simulé a concerné une production de maïs

limitée par l'eau et les nutriments (azote et phosphore).

Pour l'analyse économique et stratégique, les coûts des engrais et des semences ainsi que les coûts d'application des intrants ont été considérés. Les autres coûts de production du maïs à savoir le prélèvement des échantillons de sols, les travaux de préparation du terrain,

TABLEAU 1. Coefficients génétiques calculés pour la variété Massongo à l'aide du programme

| Variété | P1 | P2 | P5 | G2 | G3 | Phint |
|----------|-----|-------|-----|-----|-------|-------|
| Massongo | 210 | 0,600 | 750 | 650 | 10,10 | 40,00 |

P1 = chaleur cumulée depuis l'émergence jusqu'à la fin de la phase juvénile (exprimée en degré jours au-dessus d'une température de base de 8°C) où la plante n'est pas sensible aux variations de photopériode

P2 = décalage du développement (exprimé en jours) pour chaque augmentation d'une heure de la photopériode au-dessus de la plus longue photopériode où le développement s'effectue au rythme maximum (qui est supposée être 12,5 heures)

P5 = chaleur cumulée depuis la floraison femelle jusqu'à la maturité physiologique (exprimée en degré jours au-dessus d'une température de base de 8 °C)

G2 = nombre maximum de grains par plant

G3 = taux de remplissage des grains au cours de la phase linéaire de remplissage des grains et sous des conditions optimales (mg/jour)

PHINT = Phylochron Intervalle ; chaleur cumulée (exprimée en degré jours) entre l'apparition de la pointe de deux feuilles successives.

TABLEAU 2. Définition des traitements des essais de validation

| Traitements | Formules |
|------------------------------------|------------------------|
| T0 (Témoin absolu) | 0N - 0P - 0K |
| T1 (Fumure organique) | 2,5 t.ha ⁻¹ |
| T2 (Recommandation traditionnelle) | 60N-10P-12K |
| T3 (Recommandation semi-intensive) | 97N- 20 P-48K |
| T4 (Recommandation intensive) | 111 N- 30 P-60K |
| T5 (Option 1 simulé avec DSSAT) | 80N- 30 P-40K |
| T6 (Option 2 simulé avec DSSAT) | 90 N- 30 P-40K |
| T7 (Option 3 simulé avec DSSAT) | 100 N- 30 P-40K |
| T8 (Option 4 simulé avec DSSAT) | 110 N- 30 P-40K |
| T9 (Option 5 simulé avec DSSAT) | 120 N- 30 P-40K |

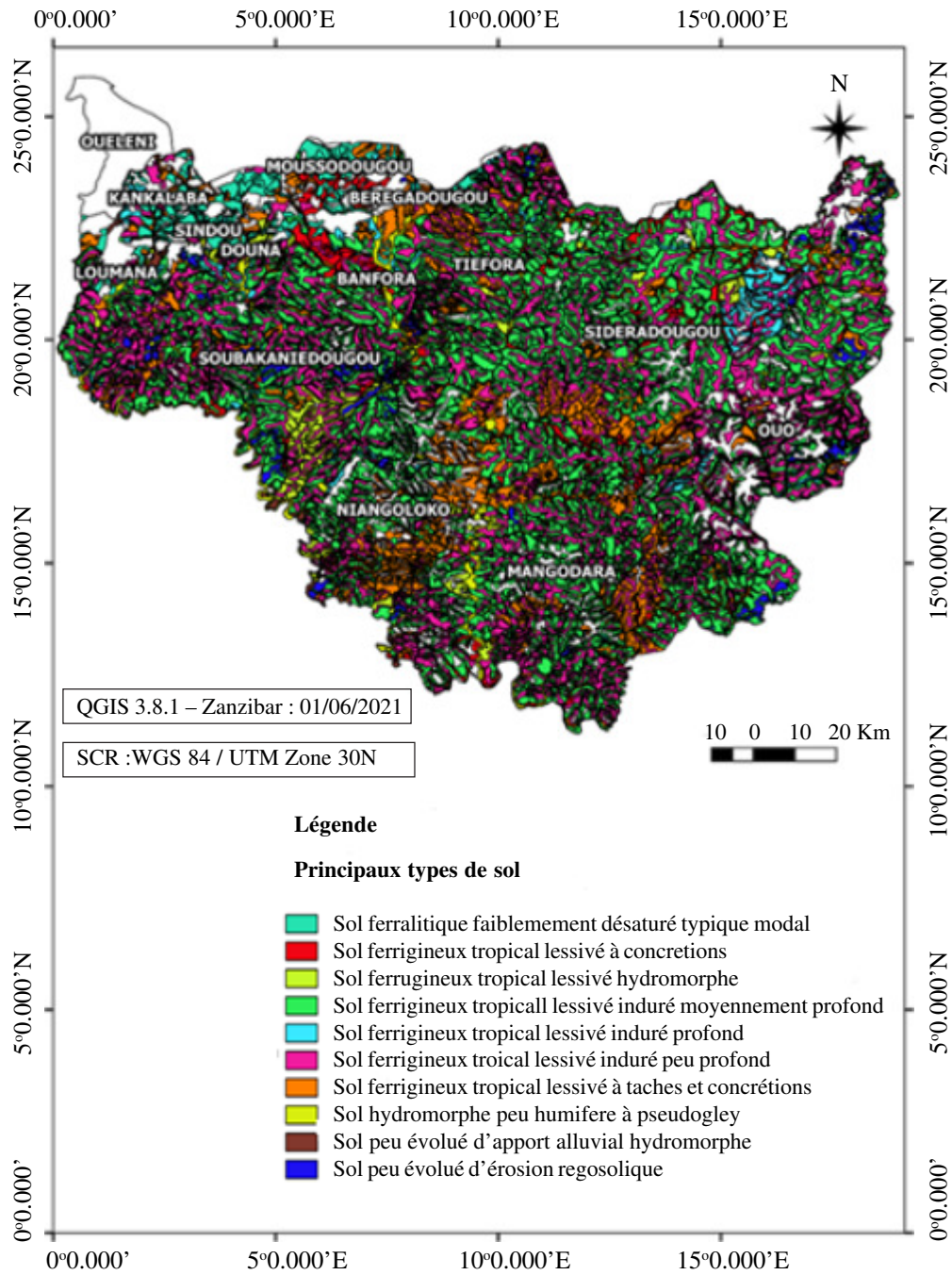
le semis, le sarclage, le buttage, la récolte et les opérations post-récoltes sont identiques pour tous les traitements. Ces activités sont réalisées en utilisant la main d'œuvre familiale. Le Tableau 4 présente les coûts des intrants et leur application ainsi que le prix de vente du maïs. Le prix de vente du maïs a été évalué pour une période allant de la récolte au mois de juin à 0,263 US \$. L'analyse biophysique et économique a abouti au choix du meilleur traitement efficient à l'aide du coefficient de la moyenne de Gini (un outil d'aide à la décision

économique intégré dans le système DSSAT 4.7). Le traitement qui donne la meilleure différence entre le revenu monétaire moyen calculé et le Coefficient de Gini est le traitement efficient.

RESULTATS

Validation du modèle

Rendement grains. Le Tableau 5 présente différentes moyennes observées et simulées.



Source : Etude pédologique IFDC Auteurs : J. Ouedraogo, I. Serme, M. Bationo, S. Youl, A. Mando, F. Lompo

Figure 2. Carte des sols de la zone d'étude.

TABLEAU 3. Caractéristiques physico-chimiques des sols

| Types de sol | Argiles (%) | Limons (%) | Sables (%) | Carbone organique (%) | Azote total (%) | Phosphore total (mg kg ⁻¹) | Phosphore assimilable Olsen (mg kg ⁻¹) | Potassium échangeable (cmol kg ⁻¹) | Calcium échangeable (cmol kg ⁻¹) | Capacité d'échange cationique (cmol kg ⁻¹) | pHeau |
|---|-------------|------------|------------|-----------------------|-----------------|--|--|--|--|--|-------|
| Sol peu évolué d'érosion régosolique | 21,6 | 45,1 | 33,3 | 2,69 | 0,19 | 619 | 47,18 | 0,43 | 6,3 | 12,3 | 7,1 |
| Sol peu évolué d'apport alluvial hydromorphe | 5,9 | 86,3 | 7,8 | 0,25 | 0,04 | 67 | 1,18 | 0,06 | 1,1 | 4,5 | 4,5 |
| Sol ferrugineux tropical lessivé à concrétions | 7,8 | 82,4 | 9,8 | 0,36 | 0,03 | 84 | 1,77 | 0,02 | 1 | 2,1 | 5,9 |
| Sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions | 11,8 | 70,6 | 17,6 | 0,91 | 0,04 | 51 | 0,81 | 0,02 | 1,6 | 3,3 | 6,4 |
| Sol ferrugineux tropical lessivé hydromorphe | 7,8 | 62,8 | 29,4 | 0,44 | 0,06 | 61 | 0,59 | 0,03 | 1,8 | 3,6 | 6 |
| Sol ferrugineux tropical lessivé induré peu profond | 23,5 | 45,1 | 31,4 | 3,15 | 0,13 | 214 | 3,36 | 0,19 | 2,3 | 6,9 | 6,6 |
| Sol ferrugineux tropical lessivé induré moyennement profond | 7,8 | 84,4 | 7,8 | 0,64 | 0,03 | 37 | 0,87 | 0,07 | 1,7 | 3 | 6,6 |
| Sol ferrugineux tropical lessivé induré profond | 9,8 | 66,7 | 23,5 | 0,99 | 0,09 | 331 | 25,04 | 0,07 | 2,6 | 7,3 | 6,5 |
| Sol ferralitique faiblement désaturé typique modal | 11,8 | 86,2 | 2 | 0,29 | 0,03 | 67 | 1,08 | 0,01 | 0,5 | 2 | 4,9 |
| Sol Hydromorphe peu humifère a pseudogley | 39,2 | 23,6 | 37,2 | 1,37 | 0,2 | 268 | 0,79 | 0,05 | 1,6 | 4 | 5 |

Carte de recommandation d'engrais spécifique au site pour la production

TABLEAU 4. Prix de l'unité de fertilisation de l'azote, du phosphore et du potassium et des semences

| Coût des intrants | Valeur |
|--|--------|
| Semences | 1,25 |
| Valeurs de N (US \$ kg ⁻¹) | 0,978 |
| Valeurs de P (US \$ kg ⁻¹) | 1,232 |
| Valeurs de K (US \$ kg ⁻¹) | 2,083 |
| Compost (US \$ kg ⁻¹) | 0,042 |
| Coûts d'application des intrants | |
| N (US \$ ha ⁻¹) | 63,315 |
| P (US \$ ha ⁻¹) | 31,652 |
| K (US \$ ha ⁻¹) | 31,652 |
| Amendements organiques (US \$ ha ⁻¹) | 33,333 |

TABLEAU 5. Comparaison entre les rendements grains mesurés et les rendements grains simulés du maïs

| Options de fertilisation | Rendement grain observé (kg ha ⁻¹) | Rendement grain simulé (kg ha ⁻¹) |
|--------------------------|---|--|
| 0N-0P-0K | 1152 | 1240 |
| 0N-0P-0K+MO | 1671 | 1312 |
| 60N-10P-12K | 2769 | 2624 |
| 97N-20P-48K | 4015 | 4167 |
| 111N-30P-60K | 3715 | 4573 |
| 80N-30P-40K | 3863 | 4029 |
| 90N-30P-40K | 3830 | 3961 |
| 100N-30P-40K | 4027 | 4469 |
| 110N-30P-40K | 4661 | 4672 |
| 120N-30P-40K | 4574 | 4675 |
| Moyenne | 3428 | 3572,2 |
| Différence Moyenne | | 144,2 |
| RMSE | | 341,66 |
| NRMSE (%) | | 9,97 |
| R ² (%) | | 95,07 |

RMSE = erreur moyenne de prédiction ; NRMSE = erreur moyenne normalisée de prédiction ; R² = coefficient de détermination

Les résultats ont montré que la différence moyenne entre les valeurs simulées et observées a été positive (114,2 kg ha⁻¹). Le rendement grains simulé par le modèle DSSAT 4.7 a été donc légèrement surestimé. L'analyse des différences statistiques a montré qu'il existe une très forte corrélation entre simulations et mesures avec un coefficient de détermination de 95,07%. L'erreur moyenne de prédiction (RMSE) a été de 341,66 kg ha⁻¹. L'erreur moyenne normalisée de prédiction NRMSE entre les rendements grains observés et simulés a été de 9,97%.

Rendement paille. Le Tableau 6 présente la comparaison entre les rendements grains observés et ceux simulés par DSSAT 4.7. La différence entre les valeurs simulées et observées a été positive (529,8 kg ha⁻¹). Il y a eu donc une surestimation du rendement paille par le modèle DSSAT. Malgré cette surestimation globale, la corrélation entre les

rendements simulés et ceux mesurés a été très forte avec un coefficient de détermination de 85,90%. L'erreur moyenne de prédiction (RMSE) a été de 921,09 kg ha⁻¹ du rendement paille avec une erreur moyenne normalisée de prédiction NRMSE de 18,95%.

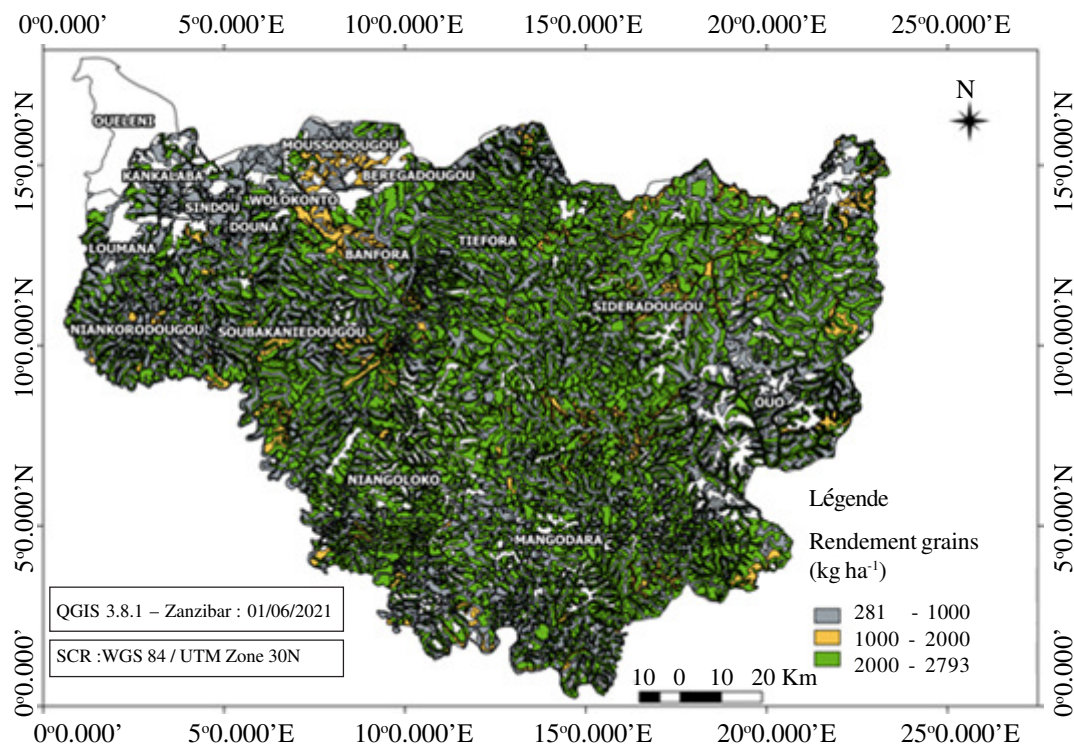
Variation du rendement grain simulé du témoin et de la dose vulgarisée à l'aide le modèle IDSS. Les résultats ont montré que les rendements grains ont varié en fonction des types de sols. En effet, sur le témoin, les rendements simulés ont été de 281 kg ha⁻¹ à 2793 kg ha⁻¹ (Fig. 3). Sans apport d'engrais, les rendements grains compris entre 2 000 kg ha⁻¹ et 2 793 kg ha⁻¹ peuvent être obtenus sur 56,55% des unités de sols. Toutefois, des rendements grains inférieur à 1000 kg ha⁻¹ ont été obtenus sur 32,19% des unités de sols.

Avec la dose vulgarisée (60N-10P-12K), les rendements grains ont varié entre 309 kg ha⁻¹ et 4 630 kg ha⁻¹ (Fig. 4). Avec cette

TABLEAU 6. Comparaison entre les rendements grains mesurées et les rendements paille simulés du maïs

| Variables | Rendement paille observé (kg ha ⁻¹) | Rendement paille simulé (kg ha ⁻¹) |
|--------------------|--|---|
| 0N-0P-0K | 2006 | 1250 |
| 0N-0P-0K+MO | 4076 | 3843 |
| 60N-10P-12K | 4464 | 5160 |
| 97N-20P-48K | 5732 | 5907 |
| 111N-30P-60K | 5280 | 6158 |
| 80N-30P-40K | 5137 | 5487 |
| 90N-30P-40K | 5098 | 5747 |
| 100N-30P-40K | 5344 | 6968 |
| 110N-30P-40K | 6069 | 6144 |
| 120N-30P-40K | 5409 | 7249 |
| Moyenne | 4861,5 | 5391,3 |
| Différence moyenne | | 529,8 |
| RMSE | | 921,09 |
| NRMSE (%) | | 18,95 |
| R ² (%) | | 85,90 |

RMSE = erreur moyenne de prédiction ; NMRSE = erreur moyenne normalisée de prédiction ; R² = coefficient de détermination



Source : BNDT/IDSS Auteurs : J. Ouedraogo, I. Serme, M. Bationo, S. Youl, A. Mando, F. Lompo

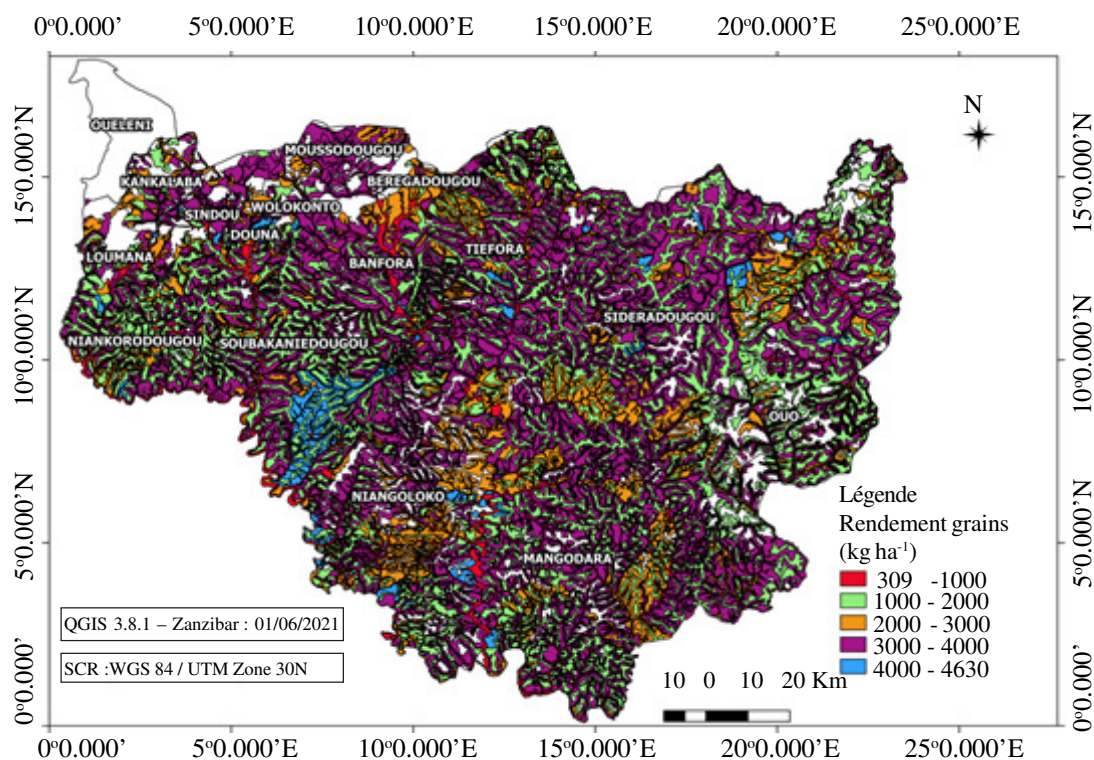
Figure 3. Rendement grains simulé du maïs sur le témoin.

recommandation, des rendements inférieurs à 2 000 kg ha⁻¹ ont été obtenus sur 27,37% des sols. Sur 33,40% des unités de sols, les rendements obtenus avec cette dose sont compris entre 2 000 kg ha⁻¹ et 3 000 kg ha⁻¹. Par ailleurs, les rendements grains ont été supérieurs à 3 000 kg ha⁻¹ sur 39,23% des unités de sols.

Dose efficace. Le coefficient de Gini, un outil d'aide à la décision associé au modèle a permis de déterminer la dose efficace. La dose efficace est celle dont la différence entre le revenu monétaire et le coefficient de Gini est la plus élevée. La détermination de la dose efficace permet une meilleure gestion de la fertilisation. En fonction des caractéristiques des sols, quatre (04) doses efficaces ont été identifiées (Fig. 5). Il s'agit d'un apport d'engrais à la dose 80N-30P-40K, de la dose 120N-30P-40K, de la dose vulgarisée (60N-

10P-12K) et du témoin sans engrais. La dose 80N-30P-40K a été efficace sur 20,04% des unités de sols. La dose 120N-30P-40K a été efficace sur 3,06% des unités de sols et l'ancienne dose vulgarisée a couvert 39,23% des unités de sols. Ainsi, le modèle a recommandé l'application de l'engrais sur 62,33% des unités de sols. Ces sols peuvent être qualifiés d'aptes pour la production du maïs. La recommandation zéro apport d'apport a été appliquée sur 37,67% des sols. L'apport d'engrais sur ces sols pour la production du maïs n'est donc pas économiquement rentable.

Variation du rendement grain simulés des doses efficaces avec le modèle IDSS. Les résultats de la modélisation ont montré qu'avec les doses efficaces, les rendements grains varient de 281 à 4 630 kg ha⁻¹ en fonction des types de sols (Fig. 6). Sans apport d'engrais, les rendements sont compris entre 281 et 2



Source : BNDT/IDSS Auteurs : J. Ouedraogo, I. Serme, M. Bationo, S. Youl, A. Mando, F. Lompo

Figure 4. Rendement grains du maïs avec la dose vulgarisée.

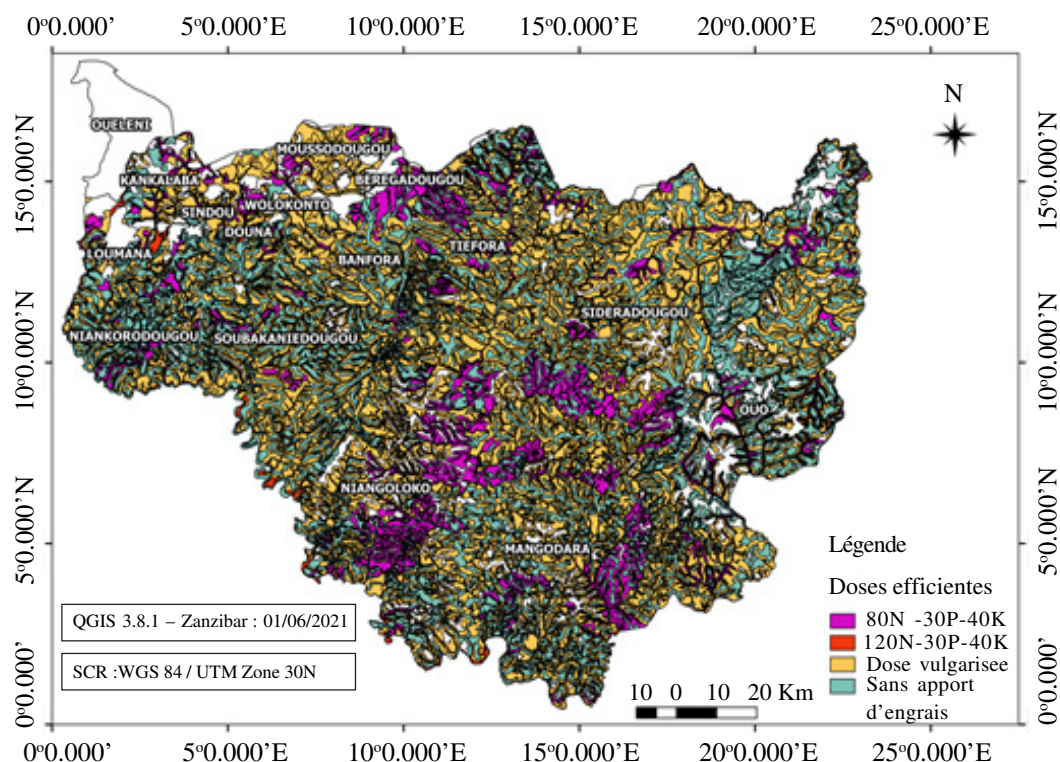
623 kg ha⁻¹. Par contre, une application de la dose efficace en fonction des types de sols permet d'obtenir des rendements grains variant entre 3 144 et 4 630 kg ha⁻¹. Ainsi, la superficie couverte par des rendements grains supérieurs à 3 000 kg ha⁻¹ passe de 39,23% des unités de sols avec la dose vulgarisée à 62,33% avec les doses efficaces.

Marges brutes des doses efficaces simulées avec le modèle IDSS. L'application de la dose efficace permet d'optimiser les marges brutes. Les résultats ont montré que les marges brutes de la production du maïs ont varié entre 58,392 et 898,098 US \$ ha⁻¹ avec les doses efficaces (Fig. 7). Sur 27,37% des sols, les marges brutes de la production du maïs sont comprises entre 58,392 et 222,677 US \$ ha⁻¹. Des marges brutes comprises entre 500 et 666,667 US \$ ha⁻¹ ont

été enregistrées sur 37,07% des unités de sols. Les doses efficaces ont enfin permis d'obtenir des marges brutes comprises entre 666,667 et 898,098 US \$ ha⁻¹ sur 35,56% des unités de sols.

DISCUSSION

Les résultats obtenus ont montré que le modèle a légèrement surestimé le rendement grain et le rendement paille (Tableaux 5 et 6). Malgré cette légère surestimation, les résultats observés et simulés sont fortement corrélés avec des coefficients de détermination (R^2) de ces deux paramètres respectivement de 95,08% pour le rendement grains et 85,90% pour les rendements paille. Ces résultats indiquent une bonne performance du modèle dans l'estimation des rendements grains et paille du maïs. Ils corroborent ceux de Dzotsi



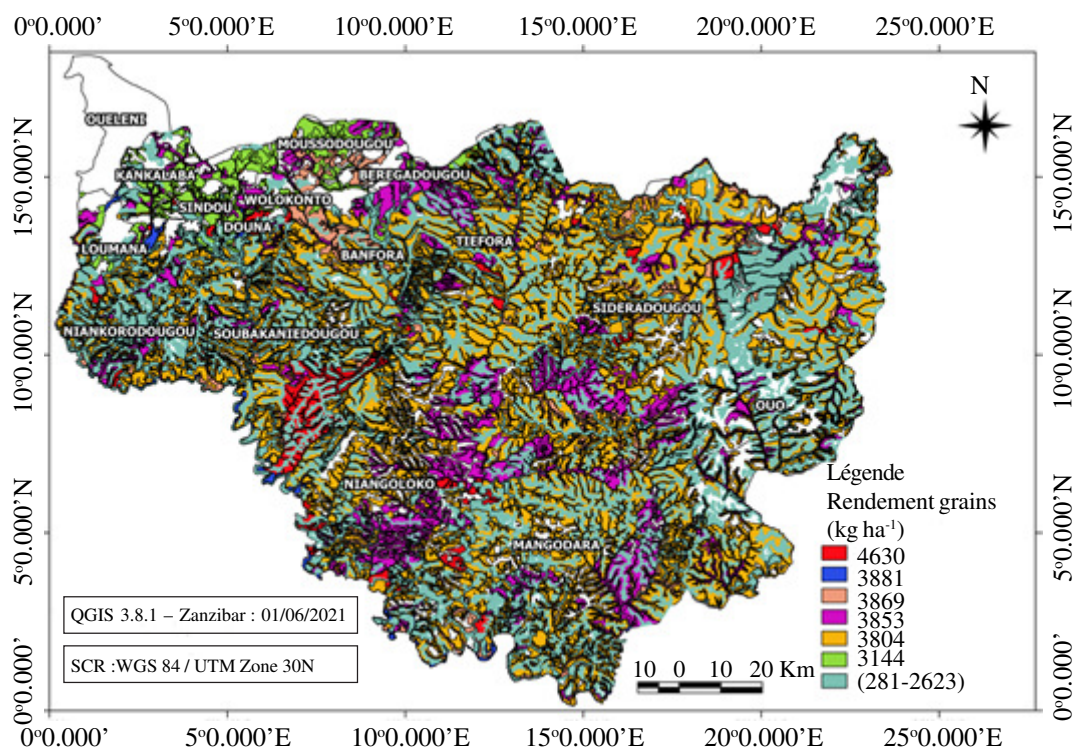
Source : BNDT/IDSS Auteurs : J. Ouedraogo, I. Serme, M. Bationo, S. Youl, A. Mando, F. Lompo

Figure 5. Dose efficace d'engrais pour la production du maïs.

et al. (2003) au Togo ($R^2 = 83\%$), de Tetteh et Nurudeen (2015) dans la zone savane guinéenne du Ghana (R^2 entre 75 et 99%) et de Saïdou *et al.* (2018) au Bénin, qui ont observé une bonne corrélation entre les rendements grains simulés et observés du maïs par le modèle DSSAT. L'erreur moyenne normalisée de prédiction NRMSE du rendement grain a été de 9,96% et celle du rendement paille de 18,95% (Tableaux 5 et 6). Ces résultats montrent que la performance du modèle a été excellente pour la simulation du rendement grain et bonne pour l'estimation du rendement paille du maïs (Jamieson *et al.*, 1991). Ces résultats indiquent clairement une bonne calibration du modèle, qui peut alors être utilisée la simulation de la réponse aux engrais dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso.

La caractérisation des sols a montré une forte variabilité des caractéristiques physico-

chimiques des principaux types de sols notamment le pH qui a varié entre 4,5 et 7,1 et la teneur en carbone qui a varié de 0,25% à 3,15%. Ces résultats pourraient s'expliquer les caractéristiques intrinsèques des sols d'une part, et la variabilité des pratiques culturales et autres facteurs de dégradation des sols d'autre part (Masvaya *et al.*, 2010 ; Naïtormbaide *et al.*, 2010 ; Bacýé *et al.*, 2019 ; Rurinda *et al.*, 2020). Ils confirment ceux de Ouedraogo *et al.* (2018), Saïdou *et al.* (2018), Iticha et Takele (2019), Panday *et al.* (2019) et Hossain et Siddique (2020). En effet, Shehu *et al.* (2018) ont montré qu'il y a une grande variabilité des contraintes liées aux nutriments du sol au nord du Nigeria. Aussi, Raddy *et al.* (2021), ont-ils observé une forte variabilité de la fertilité des sols. Cette variabilité de la fertilité des sols implique que les recommandations d'engrais seront variables, soulignant ainsi la nécessité



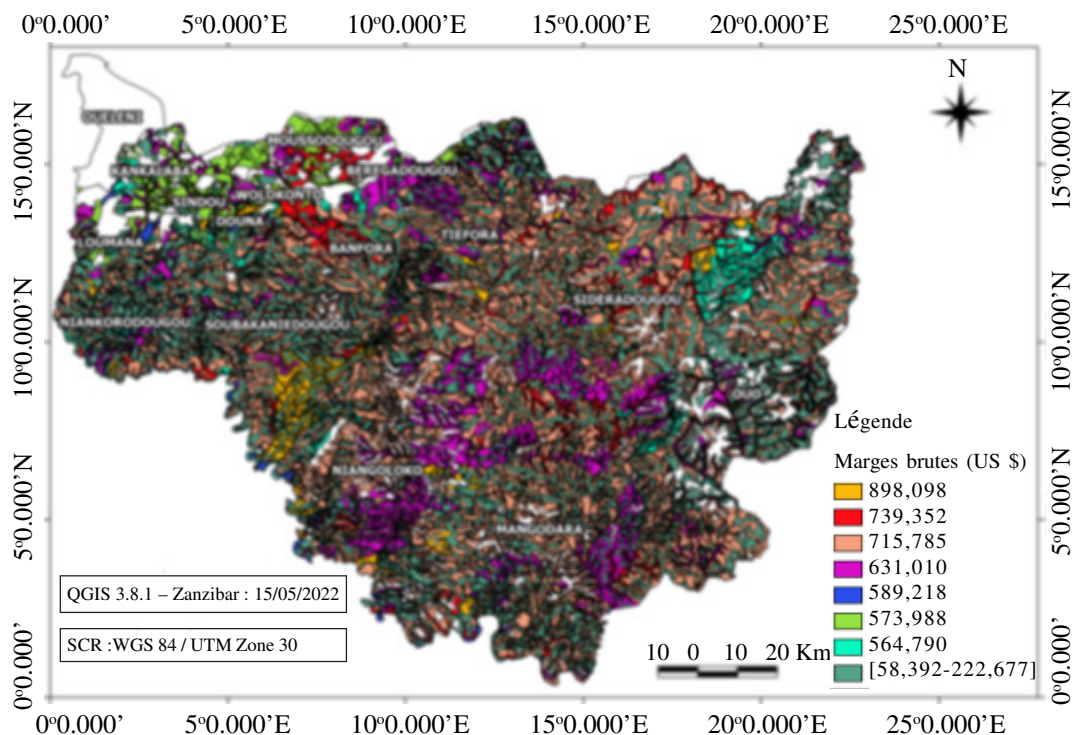
Source : BNDT/IDSS Auteurs : J. Ouedraogo, I. Serme, M. Bationo, S. Youl, A. Mando, F. Lompo

Figure 6. Rendement grains du maïs avec les doses.

de la recommandation d'engrais spécifique au site tenant compte de la variabilité spatiale de la fertilité des sols (Sathish *et al.*, 2018 ; Soropa *et al.*, 2021).

L'utilisation du modèle IDSS a alors permis de déterminer quatre (04) doses efficaces d'engrais NPK selon les sols pour la production du maïs. Ces doses efficaces sont sans doute fonction de la fertilité du sol, en particulier de leur teneur en carbone, en azote, en phosphore et en potassium. En effet, Sánchez *et al.* (2011) ont montré que des paramètres tels que la teneur du sol en carbone, en azote, en calcium, en potassium, en magnésium, en bore et la capacité d'échange cationique expliquaient largement la distribution spatiale du rendement du maïs. Nos résultats confirment ceux de Raddy *et al.* (2021), qui en utilisant des analyses de sols ont déterminé des doses spécifiques au site en fonction des caractéristiques des sols. En appliquant les

doses efficaces, la superficie couverte par des rendements grains supérieurs à 3 000 kg ha⁻¹ a passé à 62,33% contre 39,23% des unités de sols avec la dose vulgarisée. Ces résultats confirment la nécessité d'une fertilisation du maïs spécifique au site au Burkina Faso. Ils corroborent ceux de Sathish *et al.* (2018) qui ont montré que l'apport d'éléments nutritifs équilibrés aux cultures en fonction de l'état de fertilité du sol a permis d'améliorer la productivité des cultures et les rendements dans les systèmes de culture à base d'arachide et de mil. En plus, Hossain et Siddique (2020) en utilisant le modèle Online Fertilizer Recommendation System (OFRS), ont montré que l'utilisation de recommandation d'engrais spécifique au site entraîne une augmentation de rendement de 7% à 22% par rapport à la pratique du producteur. Aussi, Rurinda *et al.* (2020) ont-ils observé une amélioration de l'efficacité de l'utilisation de



Source : BNDT/IDSS Auteurs : J. Ouedraogo, I. Serme, M. Bationo, S. Youl, A. Mando, F. Lompo

Figure 7. Marges brutes de la production du maïs avec les doses.

l'azote et des rendements en utilisation le modèle *Nutrient Expert*. L'analyse économique montre que l'application des doses efficaces a permis d'obtenir des marges comprises entre 593,988 US \$ ha⁻¹ et 898,098 US \$ ha⁻¹. Par contre, 37,67% des unités de sols, les résultats de la modélisation ont montré que l'application de l'engrais n'est pas rentable. Ces résultats confirment ceux de Abera *et al.* (2020) qui ont montré que l'application de recommandation spécifique en phosphore était plus rentable.

CONCLUSION

Les résultats ont montré que le modèle DSSAT a été performant pour la simulation des rendements grains et paille du maïs au Burkina Faso avec des valeurs de NRMSE respectivement de 9,97% et 18,95%. Le modèle IDSS a permis d'identifier quatre doses

efficaces d'engrais pour la production du maïs dans la zone selon les types de sols. L'application des doses efficaces (60N-10P-12K, 80N-30P-40K et 120N-30P-40K) a permis d'obtenir des rendements compris entre 3144 kg ha⁻¹ et 4630 kg ha⁻¹ avec des marges brutes comprises entre 573,988 US \$ ha⁻¹ et 898,098 US \$ ha⁻¹. Ces cartes obtenues représentent des outils d'aide à la décision en matière de fertilisation minérale pour les producteurs de maïs de la zone. Leur appropriation par les acteurs du développement permettra d'améliorer la productivité et la rentabilité du maïs par l'application de dose d'engrais spécifique au site.

REMERCIEMENT

Les auteurs de cette étude remercient les projets FIDA 1170, USAID-Core et MIR+ en collaboration avec la Communauté économique

des États de l'Afrique de l'Ouest (CEADEAO) et le Centre International pour le Développement des Engrais (IFDC) qui ont supportés les travaux de cette étude. Les auteurs sont reconnaissants à Mr. SAGNON Seydou, chercheur à l'INERA Banfora, Mr PARE Tahibou du BUNASOLS et BAMBARA Franck Abdel Aziz pour leur appui.

REFERENCES

- Abera, T., Worku R., Firomsa, T., Hunduma T. and Abebe B. 2020. Validation of fertilizer requirement map for bread wheat at Lume District, East Shewa Zone, Oromia, Ethiopia. *Nippon Journal of Environmental Science* 1(2):1005. doi : <https://doi.org/10.46266/njes.1005>.
- Bacyé, B., Kambiré, H.S. et Somé, A.S. 2019. Effets des pratiques paysannes de fertilisation sur les caractéristiques chimiques d'un sol ferrugineux tropical lessivé en zone cotonnière à l'Ouest du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 13(6): 2930-2941. doi : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i6.39>
- Bationo, A. and Fening, J.O. 2018. Soil organic carbon and proper fertilizer recommendation. In: Improving the profitability, sustainability and efficiency of nutrients through site specific fertilizers recommendation in West Africa Agro-Ecosystems Volume 2. Bationo, A., Ngaradoum, D., Youl, S., Lompo, F. et Fening, J.O. (Eds.). Springer, pp. 1-10. doi : https://doi.org/10.1007/978-3-319-58789-9_1
- Bationo, A., Waswa B., Abdou, A., Bado, B.V., Bonzi, M., Iwuafor, E., Kibunja, C., Kihara, J., Mucheru, M., Mugendi, D., Mugwe, J., Mwale, C., Okeyo, J., Olle, A., Roing, K. and Sedogo M. 2012. Overview of long term experiments in Africa. In : Lessons learned from long term soil fertility management experiments in Africa. Bationo, A., Waswa, B., Kihara, J., Adolwa, I., Vanlauwe, B. et Saidou, K. (Eds.). Springer. pp. 1-26.
- CNS-Maïs. 2018. Impact de l'adoption des variétés améliorées de maïs sur le bien-être des maïsiculteurs au Bénin, au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire et au Mali. CORAF/WECARD. 46 pp.
- Dzotsi, K., Agboh-Noaméshie, A., Struif Bontkes, T.E., Singh, U. and Dejean, P. 2003. Using DSSAT to derive optimum combinations of cultivar and sowing date for maize in southern Togo. In: Decision support tools for smallholder agriculture in Sub-Saharan Africa: A practical guide. Struif Bontkes, T.E. and Wopereis, M.C.S. (Eds.). IFDC/CTA, Wageningen, The Netherlands. pp. 100-113.
- FAO. 2003. Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique Subsaharienne, FAO, Rome, Italy. 55pp.
- Fontes, J. et Guinko, S. 1995. Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso: notice explicative. Ministère de la coopération Française. 67pp.
- Hossain, M.A. and Siddique, M.N.A. 2020. Online Fertilizer Recommendation System (OFRS): A step towards precision agriculture and optimized fertilizer usage by smallholder farmers in Bangladesh. *European Journal of Environment and Earth Sciences* 1(4):1-9. doi: <http://dx.doi.org/10.24018/ejgeo.2020.1.4.47>
- Iticha, B. and Takele, C. 2019. Digital soil mapping for site-specific management of soils. *Geoderma* 351: 85-91. doi : <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.05.026>
- Jamieson, P.D., Porter, J.R. and Wilson, D.R. 1991. A test of the computer simulation model ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research* 27: 337-350. doi: [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(91\)90040-3](https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90040-3).
- Masvaya, E.N., Nyamangara, J., Nyawasha, R.W., Zingore, S., Delve, R. J. and Giller, K.E. 2010. Effect of farmer management strategies on spatial variability of soil fertility and crop nutrient uptake in contrasting

- agro-ecological zones in Zimbabwe. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 88: 111-120. doi : 10.1007/s10705-009-9262-y.
- Naitormbaide, M., Lompo, F., Gnankambary, Z., Ouandaogo, N. et Sedogo M.P. 2010. Les pratiques culturales traditionnelles appauvrissent les sols en zone des savanes du Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4(4): 871-881.
- Nelson, G.C., Rosegrant, M.W., Koo J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M. et Lee, D. 2009. Changement climatique : Impact sur l'agriculture et coûts de l'adaptation. Institut international de recherche sur les politiques alimentaires IFPRI, Washington D.C., USA. 19pp.
- Nurudeen, A.R. 2011. Decision support system for agro-technology transfer (DSSAT) model simulation of maize growth and yield response to NPK fertilizer application on a benchmark soil of Sudan savanna agro-ecological zone of Ghana. Master of Science thesis. Department of Crop and Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Kwame Nkrumah University of Science and Technology Kumasi, Ghana. 151pp.
- Ouattara, K., Sermé I., Bandaogo, A.A., Ouedraogo, S., Sohoro, A., Gnankambary, Z., Youl, S. Yaka, P. and Paré T. 2017. Optimizing fertilizer use within an integrated soil fertility management framework in Burkina Faso. In: *Fertilizer use optimization in Sub-Saharan Africa*: Wortmann, C.S. and Sones, K. (Eds.). CABI. pp. 40-51.
- Ouédraogo, J., Youl, S. and Mando, A. 2018. Combining the DSSAT model and the experiment to update the recommendations of doses of fertilizer for the cultivation of rice and maize in Burkina Faso. In: *Improving the profitability, sustainability and efficiency of nutrients through site specific fertilizers recommendation in West Africa Agro-Ecosystems*, volume 2: Bationo, A., Ngaradoum, D., Youl, S., Lompo, F. and Fening, J.O. (Eds.). Springer. pp. 1-22. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-58792-9_1
- Panday, D., Ojha, R.B., Chalise, D., Das, S. and Twanabasu B. 2019. Spatial variability of soil properties under different land use in the Dang district of Nepal. *Cogent Food & Agriculture* 5 : 1600460. doi : <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1600460>
- Paré, T., Youl, S., Ezui, G., Mando, A. et Sogbedji, J. 2010: Système intégré de recommandation d'engrais au Burkina Faso. Poster, IFDC, Ouagadougou, Burkina Faso.
- Powlson, D.S., Whitmore, A.P. and Goulding, K.W.T. 2011. Soil carbon sequestration to mitigate climate change : A critical re-examination to identify the true and the false. *Review. European Journal of Soil Science* 62 (1) : 42 - 55. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x>.
- Raddy, G., Lalitha, B.S. and Jayadeva, H.M. 2021. Spatial fertilizer recommendation mapping based on soil test crop response equations for important crops using GIS and GPS. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 52(1):58-5. doi: 10.1080/00103624.2020.1849259
- Rurinda, J., Zingore, S., Jibrin, J.M., Balemi, T., Masuki, K., Andersson, J.A., Pampolino, M.F., Mohammed, I., Mutegi, J., Kamara, A.Y., Vanlauwe, B. and Craufurd, P.Q. 2020. Science-based decision support for formulating crop fertilizer recommendations in sub-Saharan Africa. *Agricultural Systems* 180:102790. doi : <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102790>.
- Saïdou, A., Balogoun, I., Ahoton, E.L., Igue, A.M., Youl, S., Ezui, G. and Mando, A. 2018. Fertilizer recommendations for maize production in the South Sudan and Sudano-Guinean zones of Benin. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 110:361-373. doi: <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9902-6>

- Sánchez, J.D.T., Ligarreto, G.A.M. and Leiva, F.R. 2011. Spatial variability of soil chemical properties and its effect on crop yields: a case study in maize (*Zea mays* L.) on the Bogota Plateau. *Agronomía Colombiana* 29(2):265-274.
- Sathish, A., Ramachandrapa, B.K., Devaraja, K., Savitha, M.S., Thimme Gowda, M.N. and Prashanth, K.M. 2018. Assessment of spatial variability in fertility status and nutrient recommendation in Alanatha Cluster Villages, Ramanagara District, Karnataka using GIS. *Journal of the Indian Society of Soil Science* 66(2):149-157. doi : 10.5958/0974-0228.2018.00019.1
- Sermé, I., Tarfa, B., Ouattara, K. and Wortmann, C. 2020. Maize response to applied nutrients for West African savannas. *Agronomy Journal* 112:2230-2239. doi: 10.1002/agj2.20152
- Sermé, I., Ouattara, K., Traore, I.O., Ouedraogo, S., Youl, S., Ouattara, B., Lompo, F., Sedogo, P.M. and Wortmann, C. 2018. Maize response to fertilizer on ferralsol and luvisol in the South Sudan zone of Burkina Faso. In: Improving the profitability, sustainability and efficiency of nutrients through site specific fertilizers recommendation in West Africa Agro-Ecosystems, volume 2: Bationo, A., Ngaradoum, D., Youl, S., Lompo, F. and Fening, J.O. (Eds.). Springer. pp. 1-22. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-58792-9_12
- Shehu, B.M., Merckx, R., Jibrin, J.M., Kamara, A.Y. and Rurinda, J. 2018. Quantifying variability in maize yield response to nutrient applications in the Northern Nigerian Savanna. *Agronomy* 8 (18):1-23. doi: 10.3390/agronomy8020018
- Soropa, G., Mbisva, O.M., Nyamangara, J., Nyakatawa, E.Z., Nyapwere, N. and Lark, R.M. 2021. Spatial variability and mapping of soil fertility status in a high potential smallholder farming area under sub humid conditions in Zimbabwe. *SN Applied Sciences* 3:396. doi : <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04367-0>
- Sultan, B., Roudier, P. et Traoré, S. 2015. Les impacts du changement climatique sur les rendements agricoles en Afrique de l'Ouest. In : Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest. Sultan, B., Lalou, R., Sanni, AM., Oumarou, A. et Soumaré, M.A. (Eds.). IRD, Marseille. pp. 209-225.
- Tetteh, M.F. and Nurudeen, R.A. 2015. Modeling site-specific fertilizer recommendations for maize production in the Sudan savannah agroecology of Ghana. *African Journal of Agricultural Research* 10(11):1136-1141. doi : <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7413>.