

**MAXIMISATION DE L'EFFICIENCE D'UTILISATION DES NUTRIMENTS :
RECOMMANDATION DE FERTILISATION A LA CARTE POUR LE MAÏS SUR
LES FERRALSOLS DU SUD-TOGO
#9519**

Komlan Laurent William, Kokou Gilles-Beaulieu Sika, Essognim Tagba, Mouhamadou Lare,
et Jean Mianikpo Sogbedji

Laboratoire Interface Sciences du Sol-Climat et Production Végétale (LISSCPV),
Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé
e-mail: mianikpo@yahoo.com tel: 00228 90123390

RESUME

L'amélioration de la nutrition des plantes à travers l'agriculture de précision devient incontournable pour l'optimisation de l'entreprise agricole et la protection de l'environnement. Nous avons conduit pendant la grande saison culturale de 2020 et 2021, sous culture de maïs (*Zea mays* L.), des essais soustractifs à base de l'azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K) à la station d'expérimentations agronomiques (SEAL) de l'Ecole Supérieure d'Agronomie de l'Université de Lomé, Togo. L'objectif a été de déterminer la fertilité endogène du site en termes de rendement en grain de la culture pour faire des recommandations de formules de fertilisation à la carte (site-spécifiques) à partir de rendements ciblés. Cinq traitements de fertilisation ont été appliqués suivant le principe de soustraction: le témoin absolu – N₀P₀K₀ (T₁), N₀P₆₀K₆₀ (T₂), N₁₄₀P₀K₆₀ (T₃), N₁₄₀P₆₀K₀ (T₄) et N₁₄₀P₆₀K₆₀ (T₅) kg ha⁻¹. Chacun des traitements de fertilisation a été croisé avec quatre variétés de maïs dans un dispositif expérimental en bloc aléatoire complet à parcelles divisées (Split-plot) à trois répétitions avec la fertilisation en parcelle principale (4 m x 2,5 m) et la variété de maïs en sous-parcelle (2,5 m x 2 m). Les formules de fertilisation pour obtenir l'écart de rendement entre les rendements ciblés et ceux mesurés sur les traitements zéro N, zéro P et zéro K pour chaque variété ont été déterminées à travers le taux de recouvrement et l'efficacité interne de chaque nutriment. Les rendements moyens ont varié de 1,01 à 4,91, 1,13 à 4,92, 0,78 à 4,86 et 0,67 à 3 Mg ha⁻¹, respectivement pour les variétés Obatanpa, Sotubaka, Ikenne et Tzee, et ont clairement indiqué que le gradient de besoin prioritaire en nutriment de maïs était de N > K > P pour le site. Pour la variété Sotubaka, les rendements en grain ciblés de 3,5, 4,0, 4,5 et de 5 Mg ha⁻¹ sont obtenus avec des formules de fertilisation N₂₀P₀K₀, N₄₀P₀K₁₉, N₆₀P₀K₃₂ et N₈₀P₀K₄₅ kg ha⁻¹, respectivement, avec des ratios valeur/coût correspondant typiquement à 89, 36, 26 et 21. Pour la variété Obatanpa, l'obtention des rendements en grain de 4,0, 4,5 et de 5 Mg ha⁻¹ est sujette aux formules de fertilisation N₂₅P₀K₁₅, N₄₅P₀K₂₈ et N₆₅P₀K₄₁ kg ha⁻¹, respectivement, avec des ratios valeur/coût correspondants de 32, 32 et 14. L'obtention des rendements en grain de 3, 3,5, 4,0 et 4,5 Mg ha⁻¹ pour la variété Ikenne, nécessite des formules de fertilisation N₃₇P₀K₁₈, N₅₇P₀K₃₁, N₇₇P₀K₄₅ et N₉₇P₀K₅₈ kg ha⁻¹, respectivement, avec des ratios valeur/coût y afférents de 29, 21, 17 et 15. Pour la variété Tzee, les rendements en grain de 2,5, 3,0 et de 3,5 Mg ha⁻¹ sont obtenus par les formules de fertilisation N₃₂P₀K₀₇, N₅₂P₀K₂₁ et N₇₂P₈K₃₄ kg ha⁻¹, respectivement, avec des ratios valeur/coût correspondants de 35, 21 et 15.

Mots clés : Maïs, formule de fertilisation, essais soustractifs, ferralsols, ratios valeur/coût

ABSTRACT

The improvement of plant nutrition through precision agriculture becomes unavoidable for the optimization of the agricultural enterprise and the protection of the environment. We conducted during the major cropping season of 2020 and 2021, under maize (*Zea mays* L.), omission trials based on nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) at the station of agronomic experiments (SEAL) of the Higher School of Agronomy of the University of Lome, Togo. The objective was to determine the endogenous fertility of the site in terms of grain yield of the crop towards site-specific fertilizer recommendations based on targeted yields. Five fertilization treatments were applied: the control - $N_0P_0K_0$ (T₁), $N_0P_{60}K_{60}$ (T₂), $N_{140}P_0K_{60}$ (T₃), $N_{140}P_{60}K_0$ (T₄) and $N_{140}P_{60}K_{60}$ (T₅) kg ha⁻¹. Each of the fertilizer treatments was crossed with four maize varieties in a three-replicate split-split randomized block design with the fertilization scheme as main plot (4 m x 2.5 m) and the maize variety in the sub-plot (2.5 m x 2 m). Based on measured average yields, target yields were determined and fertilization schemes to obtain the yield difference between target and measured yields on the zero N, zero P and zero K treatments for each variety were determined using the recovery rate and the internal efficiency of each nutrient. Measured average yields ranged from 1.01 to 4.91, 1.13 to 4.92, 0.78 to 4.86, and 0.67 to 3 Mg ha⁻¹, respectively for Obatanpa, Sotubaka, Ikenne, and Tzee varieties, and clearly indicated that the priority gradient of maize nutrient requirement was $N > K > P$ for the site. For the variety Sotubaka, grain yields of 3.5, 4, 4.5, and 5 Mg ha⁻¹ are obtained with fertilizer formulas $N_{20}P_0K_0$, $N_{40}P_0K_{19}$, $N_{60}P_0K_{32}$ and $N_{80}P_0K_{45}$ kg ha⁻¹, respectively, with value/cost ratios typically corresponding to 89, 36, 26, and 21. For the Obatanpa variety, achieving grain yields of 4, 4.5, and 5 Mg ha⁻¹ is subject to the fertilization formulas $N_{25}P_0K_{15}$, $N_{45}P_0K_{28}$ and $N_{65}P_0K_{41}$ kg ha⁻¹, respectively, with corresponding value/cost ratios of 32, 32, and 14. For the variety Ikenne, obtaining grain yields of 3, 3.5, 4 and 4.5 Mg ha⁻¹ requires fertilization formulas $N_{37}P_0K_{18}$, $N_{57}P_0K_{31}$, $N_{77}P_0K_{45}$ and $N_{97}P_0K_{58}$ kg ha⁻¹, respectively, with related value/cost ratios of 29, 21, 17 and 15. For the variety Tzee, grain yields of 2.5, 3, and 3.5 Mg ha⁻¹ are obtained by the fertilization formulas $N_{32}P_0K_{07}$, $N_{52}P_0K_{21}$ and $N_{72}P_8K_{34}$ kg ha⁻¹, respectively, with corresponding value/cost ratios of 35, 21, and 15.

Keywords: Maize, fertilizer recommendation, omission trials, ferralsols, value/cost ratio

INTRODUCTION

Le maïs représente une des majeures cultures dans le système agroalimentaire au Togo car, il occupe près de 51 % des céréales cultivées et se positionne comme la principale culture céréalière devant le riz (DSID, 2015 ; FAO, 2021). En outre, la culture du maïs occupe 700 000 hectares, ce qui représente 40 % de la superficie totale des cultures vivrières, avec une production annuelle de grains de 900 000 tonnes (DSID, 2022). Nonobstant la grande importance de la maïsiculture dans le système alimentaire, les rendements moyens au niveau des exploitants agricoles au Togo, tournent autour de 1,3 t ha⁻¹ qui largement en deçà du potentiel génétique des différentes variétés de la culture. Cette faiblesse résulte de la persistance des systèmes de productions traditionnelles en place qui ne permettent pas de valoriser le plein potentiel des variétés améliorées introduites (ITRA, 2007). Ces systèmes sont entre autres, caractérisés par l'utilisation de formules de fertilisation pan-territoriales occasionnant par ailleurs la dégradation progressive de la ressource de base, la perte de la fertilité des sols, une nette diminution des rendements des cultures suivies d'une baisse de la rentabilité économique des productions agricoles (Sanou et Soule, 2017 ; Detchinli *et al.*, 2017). Un rapport de la FAO évoque également que la pandémie à la Covid19 a entraîné de sévères répercussions dans le domaine agricole notamment sur la disponibilité des intrants d'où

un effet régressif sur les productions agricoles (FAO, 2021). Les producteurs sont alors confrontés à une problématique qui est celle de produire en quantité mais aussi en qualité suffisante pour satisfaire les besoins des populations tout en préservant la qualité de la ressource de base. Le développement du secteur agricole passera donc par l'application des principes de l'agriculture de précision. Il s'agit de prendre en compte la restauration des ressources naturelles c'est-à-dire que les éléments nutritifs exportés par les cultures doivent alors être restitués au sol (Dagbénobakin *et al.*, 2015). A cet effet, la connaissance des quantités d'éléments minéraux exportés par les cultures constitue un facteur primordial dans l'accroissement des rendements du maïs. Selon Dagbénobakin *et al.* (2015), pour concevoir de nouvelles stratégies de fertilisation, il faut disposer d'une bonne connaissance de l'état de fertilité initiale des sols. Certains travaux ont montré l'importance de la mise en place des essais soustractifs, car ils permettent de déterminer les doses optimales et économiquement rentables de fertilisants minéraux en vue d'une application efficace des stratégies de fertilisation. Ces essais doivent prendre en compte les éléments nutritifs exportés par les cultures en vue d'atteindre les potentiels de rendement des différentes variétés de semences agricoles vulgarisées et de reconstituer les éléments nutritifs du sol (Detchinli et Sogbedji, 2014 ; ITRA, 2007). Pour une nette amélioration des rendements en grain de maïs au Togo, il faut une utilisation optimale et efficace de la fertilisation minérale en maïsiculture (Mawussi *et al.*, 2015). Face à cette situation, le défi de la recherche agricole sera de déterminer des besoins prioritaires de la culture du maïs en fonction des principaux nutriments minéraux que sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K).

MATERIEL ET METHODES

Site expérimental

L'étude a été conduite à la Station d'Expérimentations Agronomiques de l'Université de Lomé à Lomé, Togo. Le climat est de type tropical guinéen offrant deux saisons culturales : une grande saison de mi-mars à mi-juillet et une petite saison de septembre à novembre. Les précipitations annuelles varient de 800 à 1200 mm et la température moyenne annuelle est entre 24 à 30°C. Le sol est de type ferrallitique communément appelé « terres de barres ». Le sol est bien drainé et possède un faible taux de matière organique ($< 10 \text{ g.kg}^{-1}$). Sa teneur en potassium (K) est inférieure à 2 cmol.kg^{-1} ; il a un contenu en phosphore total (P total) variant de 250 à 300 mg kg^{-1} , une capacité d'échange cationique de 3 à 4 méq.kg^{-1} , un pH de 5,2 à 6,8 (Tossah, 2000). Le contenu sableux est approximativement de 800 g.kg^{-1} dans l'horizon de 0 à 20 cm et décroît à moins de 600 g.kg^{-1} à partir de 50 à 120 cm de profondeur (Lamouroux, 1969). Le site expérimental a une pente de moins de 1 %.

Conduite de l'essai

L'étude a été conduite d'Avril à août de 2019 et de 2020. Cinq traitements de fertilisation définis suivant le principe de soustraction d'élément ont été appliqués : le témoin absolu – $\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$ (T₁), $\text{N}_0\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ (T₂), $\text{N}_{140}\text{P}_0\text{K}_{60}$ (T₃), $\text{N}_{140}\text{P}_{60}\text{K}_0$ (T₄) et $\text{N}_{140}\text{P}_{60}\text{K}_{70}$ (T₅) kg ha^{-1} . Chacun des traitements de fertilisation a été croisé avec quatre variétés (Ikenne, Sotubaka, Obatanpa et Tzee) de maïs (Tableau 1) dans un dispositif expérimental en bloc aléatoire complet à parcelles divisées (split-plot) à trois répétitions avec la fertilisation en parcelle principale (4 m x 2,5 m) et la variété de maïs en sous-parcelle (2,5 m x 2 m). Les semis ont eu lieu les 07 et 08 avril respectivement pour les années 2020 et 2021. Les cultures ont été désherbées manuellement et EMACOT a été utilisé pour lutter contre la Chenille Légionnaire d'Automne (CLA).

Tableau 1. Caractéristiques des variétés de maïs utilisées pour l'étude.

Variétés de maïs	Cycle (jour)	Couleur du grain	Rendement potentiel (Mg ha ⁻¹)
IKENNE	100 -105	Blanche	5
SOTOUBAKA	100 - 110	Jaune	6
TZEE	80 - 85	Blanche	3,5
OBATANPA	95 - 105	Blanche	6

Collecte et analyse de données

Les rendements en maïs grains ont été déterminés sous chaque traitement en récoltant les épis de la sous-parcelle y afférente. Les grains récoltés ont été pesés pour chaque traitement à l'aide d'une balance électronique après séchage jusqu'à un taux d'humidité d'approximativement de 14 pourcent. Sur la base des rendements moyens obtenus sous chaque traitement, des rendements ciblés ont été déterminés en tenant compte du rendement potentiel de la variété de chaque variété. Les doses de chacun des trois éléments N, P et K à appliquer pour obtenir l'écart entre les rendements ciblés et ceux mesurés sur les traitements zéro N, zéro P et zéro K ont été calculées. La dose de chaque élément a été calculée à travers formule suivante :

$$\text{Dose de Fertilisant} = \frac{\text{Rendement ciblé} - \text{Rendement Zéro}}{\text{EI} * \text{TR}}$$

EI : Efficience Interne ; TR : Taux de Recouvrement

D'après JANSSEN *et al* (1990), on a : EI (N) : 50 kg grains/kg de N absorbé, EI (N) : 400 kg grains/kg de P absorbé et EI (K) : 75 kg grains/kg de K absorbé.

Pour les sols argileux, le taux de recouvrement est : TR(N) = 0,5 ; TR(P) = 0,15 ; TR(K) = 0,5.

Le ratio valeur coût (revenu total de l'option/coût des engrais appliqués, RVC) a été calculé.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats révèlent que les rendements moyens ont varié de 1,01 à 4,91, 1,13 à 4,92, 0,78 à 4,86 et 0,67 à 3 Mg ha⁻¹, respectivement pour les variétés Sotubaka, Obatanpa, Ikenne et Tzee, et ont clairement indiqué que le gradient de besoin prioritaire en nutriment de maïs sur les sols ferrallitiques est de N > K > P dans le contexte pédoclimatique de la culture. Les résultats ainsi obtenus sont en désaccords aux résultats de Kodjo *et al.* (2013) qui ont démontré que le gradient de besoin prioritaire en nutriment de maïs sur les sols ferrallitiques est de N > P > K.

Sur la base des résultats des essais soustractifs, les quantités d'engrais générées pour obtenir l'écart entre les rendements ciblés et ceux mesurés sur les traitements zéro N, zéro K et zéro P ont varié selon les variétés et confirment les études de Igue *et al.* (2013) et Blanchard *et al.* (2014) sur la nécessité d'actualiser les formules de fertilisation dans l'optique d'apporter à la plante son besoin en nutriments exigeant pour sa croissance et son développement optimale. Pour la variété Sotubaka, les rendements en grain de 3,5, 4, 4,5 et de 5 Mg ha⁻¹ sont obtenus avec des formules de fertilisation N₂₀P₀K₀, N₄₀P₀K₁₉, N₆₀P₀K₃₂ et N₈₀P₀K₄₅ kg ha⁻¹, respectivement, avec des ratios valeur/coût correspondant typiquement à 89, 36, 26 et 21. Pour la variété Obatanpa, l'obtention des rendements en grain de 4, 4,5 et de 5 Mg ha⁻¹ est sujette aux formules de fertilisation N₂₅P₀K₁₅, N₄₅P₀K₂₈ et N₆₅P₀K₄₁ kg ha⁻¹, respectivement, avec des ratios valeur/coût correspondants de 32, 32 et 14. Pour la variété Ikenne, l'obtention des

rendements en grain de 3, 3,5, 4 et 4,5 Mg ha⁻¹ nécessite des formules de fertilisation N₃₇P₀K₁₈, N₅₇P₀K₃₁, N₇₇P₀K₄₅ et N₉₇P₀K₅₈ kg ha⁻¹, respectivement, avec des ratios valeur/coût y afférents de 29, 21, 17 et 15. Pour la variété Tzee, les rendements en grain de 2,5, 3 et de 3,5 Mg ha⁻¹ sont obtenus par les formules de fertilisation N₃₂P₀K₇, N₅₂P₀K₂₁ et N₇₂P₈K₃₄ kg ha⁻¹, respectivement, avec des ratios valeur/coût correspondants de 35, 21 et 15.

Tous les RVC calculés sur la base des formules de fertilisation développées sont supérieurs à la valeur seuil 2 fixée par la FAO en 2005 pour qu'une formule de fertilisation soit rentable et donc recommandable. Pour les quatre variétés, plus le rendement ciblé est faible, plus le RVC est élevé. Les doses des éléments nutritifs obtenues avec un accent sur l'azote pour les différentes gammes de rendements ciblés ont corroboré les résultats de travaux antérieurs (Ziadi *et al.* 2006 ; Batamoussi *et al.* 2014) qui ont indiqué que l'azote constitue le principal élément limitant le rendement des cultures céréalières.

Tableau 2. Recommandation de formule de fertilisation et RVC y afférent.

Variété	Rendement ciblé (Mg ha ⁻¹)	Recommandation (kg ha ⁻¹)	RVC
Sotubaka	3,5	N ₂₀ P ₀ K ₀	89
	4,0	N ₄₀ P ₀ K ₁₉	36
	4,5	N ₆₀ P ₀ K ₃₂	26
	5,0	N ₈₀ P ₀ K ₄₅	21
Ikenne	3,0	N ₃₇ P ₀ K ₁₈	28
	3,5	N ₅₇ P ₀ K ₃₁	21
	4,0	N ₇₇ P ₀ K ₄₅	17
	4,5	N ₉₇ P ₀ K ₅₈	15
Tzee	2,5	N ₃₂ P ₀ K ₇	32
	3,0	N ₅₂ P ₀ K ₂₁	21
	3,5	N ₇₂ P ₈ K ₃₄	15
Obatampa	4,0	N ₂₅ P ₀ K ₁₅	32
	4,5	N ₄₅ P ₀ K ₂₈	32
	5,0	N ₆₅ P ₀ K ₄₁	14

CONCLUSION

Il est nécessaire de développer pour chaque variété de maïs, sa propre formule de fertilisation en fonction de l'objectif du producteur et sur la base des réserves nutritives natives du sol. En absence d'azote dans la formule de fumure minérale, on enregistre les plus faibles rendements de maïs alors que l'absence de phosphore n'affecte pas le rendement en grain du maïs. Par ordre décroissant, le besoin en azote se révèle le plus important suivi de celui du potassium : N>K>P. Les principes de base de l'agriculture de précision s'impose alors aujourd'hui pour une production optimale et durable. Les formules de fertilisation développées sur la base des rendements ciblés ont été économiquement rentables. Des essais agronomiques sont nécessaires pour apprécier la validité des formules de fertilisation de la présente étude.

REFERENCES

Batamoussi, M.H., Oga, C.A., Sèkloka, E., Saïdou, A. 2014. Effects of different formulations of mineral fertilizers on the agronomic parameters of maize (*Zea mays*) in the climate change conditions of central Benin. International Journal of Science and Advanced Technology (ISSN 2221-8386), 4 (6).

- Blanchard, M., Coulibaly, K., Bognini, S., Dugue, P., Vall, E. 2014. Diversité des engrais organiques produits par les paysans d’Afrique de l’Ouest : quelles conséquences sur les recommandations de fumure? *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2014 18(4), 512-523.
- Detchinli, K.S., Sogbedji, J.M. 2014. Assessment of the profitability and the effects of three maize-based cropping systems on soil health in Western Africa. *American Journal of Agriculture and Forestry.* 2(6): 321-329.
- Detchinli, K.S., Sogbedji, J.M. 2015. Yield performance and economic return of maize as affected by nutrient management strategies on Ferralsols in Coastal Western Africa. *European Scientific Journal*, 11(27).
- Detchinli, K.S., Sogbedji, J.M., Atchoglo, R., Bona, K. 2017. Modélisation des doses économiques optimales de l’azote en culture du maïs (*zea mays* L.) sur les sols ferrallitiques au Togo. *rev. comes - vol.05 num.01.* 2017 * issn 2424-7235.
- Dagbénonbakin, G.D., Chougourou, C.D., Ahoyo Adjovi, N.R., Fayalo, G., Djenontin, J.P.A., Igue, A.M. 2015. Effets agronomiques du compost et du N14P23K14S5B1 sur la production et les caractéristiques du rendement de coton-graine au Nord Bénin. *Bull. Rech. Agron. Bénin*, 36-45.
- DSID (Direction des Statistiques Agricoles de l’Informatique et de la Documentation). 2015. Prix des produits vivriers sur les marchés ruraux de 2011-2015. DSID, Lomé, Togo.
- DSID (Direction des statistiques agricoles, de l’informatique et de la documentation). 2022. Rapport bilan de la campagne agro-pastorale 2021-2022 au Togo. Lomé, Togo. 60p.
- FAO. 2021. Togo/moyens d’existence agricoles et sécurité alimentaire dans le cadre de la covid-19 : rapport suivi août 2021, Rome.
- Igue, A.M, Amour, C., Balogoun, I., Saidou, A., Ezui, G., Youl, S., Kpagbin, G., Mando, A., Sogbedji, J.M. 2016. Détermination Des Formules D’engrais Minéraux Et Organiques Sur Deux Types De Sols Pour Une Meilleure Productivité De Maïs (*Zea mays* L.) Dans La Commune De Banikoara (Nord-Est Du Bénin). *European Scientific Journal*, vol.12, No.30 ISSN: 1857 – 7881, 16.
- ITRA (Institut Togolais de Recherche Agronomique). 2007. Situation de référence sur les principales céréales cultivées au Togo : maïs, riz, sorgho, mil. Lomé : ITRA, pp. 9-38.
- Janssen, B.H., Guiking, F.C.T., van der Eijk, D., Smaling, E.M.A., Wolf, J., van Reuler, H. 1990. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma*, 46: 299-318.
- Kodjo, S., Adjanohoun, A., Akondé, T.P., Aïhou, K., Kpagbin, G., Gotoechan, H., Igue, A.M. 2013. Diagnostic participatif de la fertilité des sols des exploitations agricoles à base de maïs (*Zea mays*) dans les départements du Zou et des Collines au Bénin. ISSN sur papier (on hard copy) : 1025-2355 et ISSN en ligne (on line) : 1840-7099. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) Numéro spécial Fertilité du maïs. Site web <http://www.slire.net>
- Lamouroux, M. 1969. Carte pédologique du Togo au 1/1000000. Paris, Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer, Centre ORSTOM de Lomé, Togo.
- Mawussi, G., Adden, A.K., Sogbedji, M.J., Ayisah, K.D., Sanda, K. 2015. Identification et hiérarchisation d’éléments nutritifs déterminants pour la production du maïs (*Zea mays* L.) sur les sols ferrugineux tropicaux au sud du Togo. *REV. CAMES*, 45-49.
- PNIASA/TOGO. Catalogue national des espèces et variétés végétales cultivées au Togo. p. 61).
- Sanou, K., Soule, B.A. 2017. Contraintes d’adoption des technologies de gestion de la fertilité des sols en riziculture irriguée au sud Togo. *Agronomie Africaine*, 29 (2), 177-184.
- Tossah, B.K. 2000. Influence of soil properties and organic inputs on phosphorus cycling in herbaceous legume-based cropping systems in the West African derived savanna. Ph.D. Thesis, K.U. Leuven, Belgium.

Ziadi, N., Gagnon, B., Rochette, P., Angers, D., Chantigny, M. 2006. Nitrogen use efficiency and N₂O emission reduction in corn receiving mineral fertilizers. Rapport de projet, 12 p.