

#7410 MAXIMISATION DE L'EFFICIENCE D'UTILISATION DE L'AZOTE PAR LA TOMATE (*SOLANUM LYCOPERSICUM L.*) SUR LES FERRASOLS AU SUD DU TOGO

Mouhamadou Lare et Jean Mianikpo Sogbedji
Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé. 01 BP 1515 Lomé 01 Togo,
mianikpo@yahoo.com

RESUME

Maximiser l'efficacité d'utilisation de l'Azote (N) en culture de tomate est une condition pour optimiser la production de la culture. Il a été mené sur trois ans, six cultures de tomate réparties sur deux périodes (Septembre à janvier 2017-2019 et de Février à Mai 2018-2020) sur un sol ferrallitique à la Station d'Expérimentations Agronomiques de Lomé suivant un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets à trois répétitions. Onze formules de fertilisations couplées à la variété Mongal ont fait l'objet de l'étude. Deux formes d'urées (UO : Urée Ordinaire et USG : Urée Super Granulée) ont été utilisées aux doses identiques de N (0 ; 30 ; 60 ; 90 ; 120 ; 150 kg ha⁻¹) comme fumure d'appoint respectivement le T⁺, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ pour UO et T⁺, T₁' , T₂' , T₃' , T₄' , T₅' pour USG. 200 kg ha⁻¹ de NPK 15-15-15 ont été appliqués comme fumure de fond pour tous les traitements de fertilisation. La réponse du rendement en fruits frais de tomate à la dose d'urée ordinaire (UO) et d'urée super granulée (USG) a été modélisée. Les modèles quadratiques obtenus ont servi à déterminer les doses économiques optimales d'application de N. En première période, la dose économique optimale d'application a été de 131 et 118 kg de N ha⁻¹ respectivement pour l'UO et l'USG. En deuxième période, la dose économique optimale a été de 122 et 123 kg de N ha⁻¹ respectivement pour l'UO et l'USG. Toutes ces doses ont permis de dégager des profits économiques variant typiquement entre 10 et 18 millions de F CFA ha⁻¹, avec une plus grande profitabilité pour l'USG à la deuxième période de production.

Mots clés : tomate, dose économique optimale d'application, rendement économique optimal, urée ordinaire, urée super granulée

ABSTRACT

Maximizing the efficiency of using Nitrogen (N) in tomato cultivation is a condition for optimizing crop production. It was carried out over three years, six tomato crops spread over two periods (September to January 2017-2019 and from February to May 2018-2020) on ferrallitic soil at the Lomé Agronomic Experimentation Station following an experimental device in complete random blocks with three repetitions. Eleven fertilization formulas coupled with the Mongal variety were the subject of the study. Two forms of urea (UO: Ordinary Urea and USG: Super Granulated Urea) were used at identical doses of N (0; 30; 60; 90; 120; 150 kg ha⁻¹) as supplemental manure respectively the T⁺, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ for UO and T⁺, T₁' , T₂' , T₃' , T₄' , T₅' for USG. 200 kg ha⁻¹ of NPK 15-15-15 was applied as a basic fertilizer for all fertilization treatments. The response of fresh tomato fruit yield to the dose of ordinary urea (UO) and super granulated urea (USG) was modeled. The quadratic models obtained were used to determine the optimal economic application rates of N. In the first period, the optimum economic application rate was 131 and 118 kg of N ha⁻¹ respectively for UO and USG. . In the second period, the optimal economic dose was 122 and 123 kg of N ha⁻¹ respectively for UO and USG. All these doses made it possible to generate economic profits typically varying

between 10 and 18 million CFA F ha⁻¹, with greater profitability for the USG in the second production period.

Keywords tomato, optimal economic application rate, optimal economic yield, ordinary urea, super granulated urea

INTRODUCTION

L'agriculture est la principale source de revenus et d'emplois pour 70% de la population mondiale pauvre vivant en milieu rural (Banque Mondiale, 2014). Secteur clé des économies Africaines, elle reste le principal moyen de subsistance pour un continent qui devrait voir sa population passer de 700 millions de 2007 à 1,2 milliard en 2030 (FAO, 2003). Au Togo, Le secteur agricole fait vivre les 2/3 de la population active, contribue en moyenne à hauteur de 38% au PIB et participe pour 20% aux recettes d'exportations (MAEP, 2007). Avec une population qui devrait avoisiner 9,76 millions d'habitants en 2031 dont 4,79 millions d'hommes et 4,97 millions de femmes (INSEED, 2015), la recherche de l'équilibre alimentaire s'impose. Pourtant dans le domaine de maraichage et surtout dans la production de tomate (*S. lycopersicum* L.), les systèmes de production existant au Togo notamment la culture sur sol en plein champ ou en jardins familiaux ont toujours aboutit aux rendements relativement faibles qui n'excèdent pas 5 Mg ha⁻¹ malgré l'utilisation de la fumure (ITRA, 2011; FAOSTAT, 2018). Ces faibles rendements sont dus, aux contraintes récurrentes dans les différentes régions économiques et qui sont entre autre les attaques parasitaires et des ravageurs, les maladies, l'appauvrissement des sols, la divagation des animaux, le manque de main d'œuvre, l'approvisionnement en eau, les problèmes foncier et financier (Kanda et al., 2014). Pour Adden et al., 2016, la perte de fertilité des sols est la principale contrainte de la baisse des rendements. Etant donné que le sol est épuisable, il apparaît nécessaire d'envisager des modes de gestion qui permettent une exploitation rationnelle et durable des terres (Mandi, 2000). Or l'azote étant le moteur de la croissance végétale (Mustapha, 2012) et par conséquent indispensable à la production de la tomate. Cependant, en raison de divers phénomènes de perte (lixiviation, volatilisation, adsorption sur les colloïdes du sol, immobilisation microbienne et minéralisation), la quantité d'azote du sol disponible pour la plante peut changer drastiquement sur une courte période, rendant difficile la formulation de recommandations spécifiques à chaque agroécosystème (Detchinli and Sogbedji, 2015). Il est important d'optimiser la fertilisation de l'azote qui consiste à trouver un bon équilibre entre besoins de la plante, reliquats du sol et apports exogènes. L'enjeu est de taille tant pour la rentabilité de l'exploitation que pour le bilan environnemental à l'échelle de la parcelle. Pour évoluer vers une agriculture de précision, il est nécessaire de concevoir de nouveaux systèmes de culture répondant au mieux à la multiplicité des objectifs, économiques, environnementaux et sociaux. La modélisation est devenue l'outil incontournable qui permet de connaître, comprendre, inventer et partager ces nouvelles manières de produire. C'est dans cette optique que la présente étude intitulée «Maximisation de l'efficacité d'utilisation de l'azote par la tomate sur les ferrasols du Sud du Togo» est initiée. L'objectif général de l'étude est d'optimiser la production en fruits de tomate. Plus précisément, il s'agit : (i) de déterminer l'effet de la forme et de la dose d'application de l'azote sur le rendement en fruits de la tomate ; (ii) d'étudier la réponse du rendement en fruits de la tomate à la forme et à la dose d'application de l'azote ; (iii) d'évaluer la rentabilité économique de l'utilisation de l'azote sous culture de tomate.

MATERIEL ET METHODES

Site expérimental

Les travaux ont été réalisés dans la région maritime au sud du Togo à la Station d'Expérimentations Agronomiques de Lomé (SEAL) sise dans l'enceinte de l'Université de Lomé (UL). Lomé est une ville de l'extrême Sud-Ouest du Togo dont elle est la capitale. Elle est localisée sur 6°10 latitude nord et 1°10 longitude Est (Detchinli et Sogbedji, 2015). Le climat est celui du sud-Togo, de type subéquatorial à deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. Les précipitations annuelles varient de 800 à 1200 mm et la température moyenne annuelle est entre 24 et 30°C. La température moyenne annuelle est de 27 °C (Worou, 2000). Le sol est de type ferrallitique communément appelé « terre de barre », qui s'est développé à partir des dépositions continentales (Saragoni et *al.*, 1992). Sa teneur en potassium (K) est inférieure à 2 cmol.kg⁻¹ ; il a un contenu en phosphore total variant de 250 à 300 mg.kg⁻¹, une capacité d'échange cationique de 3 à 4 méq.kg⁻¹, le N total est de 0,05 - 0,1% avec un rapport C/N de 7 – 11, un pH de 5,2 à 6,8 (Detchinli et Sogbedji, 2015).

Conduite de l'essai

L'essai a été mené sur trois ans, six cultures de tomate réparties sur deux périodes (Septembre à janvier 2017-2019 et de Février à Mai 2018-2020) sur un sol ferrallitique à la Station d'Expérimentations Agronomiques de Lomé suivant un dispositif expérimental en blocs aléatoires complets à trois répétitions. Le schéma cultural 50 cm x 60 cm a été adopté, soit une densité de peuplement de 33 333 plants ha⁻¹. Six doses identiques ont été appliquées de part et d'autre de l'USG et de l'UO à raison de (0, 30, 60, 90, 120, 150 kg ha⁻¹ respectivement T+, T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ pour UO et T+, T₁', T₂', T₃', T₄', T₅' pour USG) comme fumure de relais et 200 kg ha⁻¹ de NPK : 15 15 15 comme fumure de fond.

Collecte et analyse des données

Le rendement en fruits frais de tomate sous chaque traitement et la rentabilité ont été déterminés à partir des lignes centrales de chaque parcelle élémentaire de tomate dont les fruits ont été récoltés et pesés. Le rendement potentiel a été calculé par extrapolation à partir du poids des fruits issus des plants récoltés et sur la base de la densité de peuplement de 33 333 plants ha⁻¹. Les données obtenues ont été traitées à l'aide du tableur Excel pour déterminer les modèles (ou fonctions) de la réponse du rendement en fruits frais de tomate aux différents traitements de fertilisation appliqués. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel GenSTAT Version 12.1, et le test de Duncan a été utilisé pour discriminer les rendements au seuil de 5%. La dose économique optimale de l'azote est définie comme la dose d'azote pour laquelle la valeur marchande du rendement marginal correspond au coût marginal de la fumure azotée. Pour les modèles quadratiques, elle est calculée en égalant les premières dérivées des fonctions obtenues aux ratios entre les coûts unitaires des fertilisants et les prix unitaires du produit (NAS, 1961 ; Nelson et *al.*, 1985 ; Sogbedji, 1999 ; Agbangba et *al.*, 2016 ; Detchinli et *al.*, 2017). La tomate a été vendue à 600 F CFA kg⁻¹ et 800 F CFA kg⁻¹ respectivement pour la première période et la seconde. Le prix d'achat de l'azote a été fixé à 695,65 F CFA kg⁻¹ pour l'urée ordinaire (soit 16 000 F CFA le sac de 50 kg d'urée ordinaire à 46 % N) et à 717,39 F CFA kg⁻¹ pour l'urée super granulée (soit 16 500 F CFA le sac de 50 kg d'USG à 46 % N). Le coût de la main d'œuvre est fixé sur la base de 2000 F CFA par homme-jour.

RESULTATS ET DISCUSSION

Influence de la forme et de la dose d'application de l'azote sur le rendement en fruits de tomate

Les rendements en fruits frais de tomate enregistrés au cours des deux périodes de cultures sont résumés dans le tableau 1 ci-après. L'analyse de la variance a révélé que les approches de fertilisations ont eu d'effet significatif sur le rendement en fruits. Les moyennes affectées d'une même lettre dans une même colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de Duncan. Les variations des rendements entre les deux périodes de cultures ont presque suivi les mêmes scénarii avec une augmentation de 2,34% à la deuxième période de culture sur la première. Durant les deux périodes de cultures, la forme USG a permis d'obtenir de meilleurs rendements par rapport à la forme UO. Ces résultats présentent des similitudes avec ceux obtenus par ; (IFDC, 2007 ; Detchinli et al, 2017) pour lesquels La technologie de l'USG améliore l'utilisation efficace de l'azote en gardant plus longtemps l'azote dans le sol, hors de l'eau de surface où il est plus susceptible de se perdre sous forme gazeuse ou par percolation ou encore par l'écoulement. Plusieurs facteurs expliquent l'efficacité de l'USG dont le principal facteur évoqué est la disponibilité de l'azote pour la plante tout au long du cycle de production car l'USG a cette faculté de libérer progressivement ses éléments nutritifs à la plante. Les pertes en azote par volatilisation, par nitrification et par dénitrification sont réduites de 2/3 avec l'utilisation des engrais azotés super granulés (Segda et al., 2006 ; IFDC, 2008). En ce qui concerne les doses d'applications de l'urée, les rendements ont varié selon les doses d'applications. Durant les deux périodes de cultures, les rendements ont été croissante pour les deux formes d'urée aux doses de (0 ; 30 ; 60 ; 90 ; 120 kg ha⁻¹) jusqu'à la dose 150 kg ha⁻¹ ou il commence par diminué. L'augmentation des rendements n'a été de plus en plus petite au fur et à mesure que les doses d'applications de l'azote augmentent par conséquent elle n'est pas proportionnelle aux doses d'application d'azote. Ceci se justifie par la loi de Mitscherlich (Mitscherlich, 1909), pour laquelle « Quand on apporte des doses croissantes d'éléments fertilisants, les augmentations de rendement sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que les doses s'élèvent ». Ces rendements sont largement supérieurs au rendement national qui n'excède pas 5 Mg ha⁻¹ (ITRA, 2011 ; FAOSTAT, 2018). Ces résultats sont en adéquation avec celui de (Mustapha, 2012) pour lesquels la fertilisation azotée joue un rôle essentiel sur la croissance des végétaux et le rendement des cultures et qu'elle contribue à augmenter la production agricole tout en ayant un impact sur la qualité des produits récoltés. La détermination de la dose optimale s'impose pour une production optimale et durable.

Modèles de la réponse du rendement en fruits de tomate à la dose d'azote

La réponse du rendement en fruits frais de tomate à la dose d'azote a donné des modèles quadratiques, c'est à dire des fonctions de type $Y(X) = aX^2 + bX + c$, avec Y = rendement en fruits frais exprimé en 10³ kg ha⁻¹, X = dose d'azote exprimée en kg ha⁻¹, a = un coefficient quadratique, b = un coefficient linéaire et c = une constante. Les coefficients de détermination (R²) obtenus sont très élevés (0,9741 à 0,8665), indiquant ainsi d'une part que le rendement en fruits de tomate est fortement corrélé à la dose d'azote minéral appliqué et d'autre part que tous les modèles obtenus sont valides ((Azaïs et Bardet, 2012). Bien que valides, les modèles obtenus portent les insuffisances ou limites soulignées par (Agbangba et al., 2016) à savoir notamment la difficulté d'interprétation agronomique des paramètres (coefficients quadratiques, coefficients linéaires et constantes). Par exemple, les constantes c des différents modèles ne correspondent pas exactement aux rendements enregistrés sous le témoin positif (correspondant à x = 0).

Tableau 1. Rendement en fruits de tomate en Mg ha⁻¹.

Traitements	Période 1		Période 2	
	UO	USG	UO	USG
T+= N0	18,50 g	18,50 g	18,67 f	18,67 f
T1= N30	22,26 f	22,88 f	21,58 e	23,91 d
T2= N60	24,12 e	24,40 e	24,69 d	26,03 c
T3= N90	25,68 d	26,84 bc	26,66 c	27,72 b
T4= N120	27,61 b	31,00 a	28,23 b	31,62 a
T5= N150	25,98 cd	26,34 cd	26,29 c	27,77 b
Moyenne	22,32	23,15	22,50	23,87

PPDS Période 1 : 1,0512 ; PPDS Période 2 : 1,0512 ; Période 1 : Septembre à Janvier ; Période 2 : Février à Mai ; 200 kg ha⁻¹ de NPK : 15 15 15 a été associé à tous les traitements ; tous les traitements ayant reçu le NPK ont également reçu une dose de 0 ; 30 ; 60 ; 90 ; 120 ; 150 de USG : Urée Super Granulée ou UO : Urée Ordinaire.

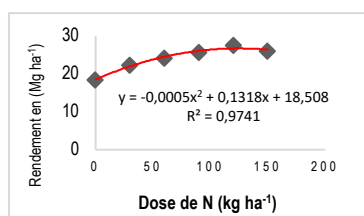


Figure 1 : Modèle quadratique du rendement en fruits de tomate en fonction de la dose d'azote minéral appliqué à la 1^{ère} période sous forme UO

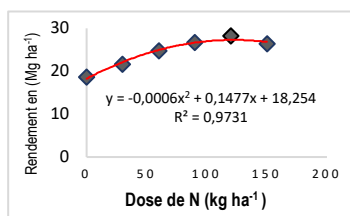


Figure 2 : Modèle quadratique du rendement en fruits de tomate en fonction de la dose d'azote minéral appliqué à la 2^e période sous forme UO

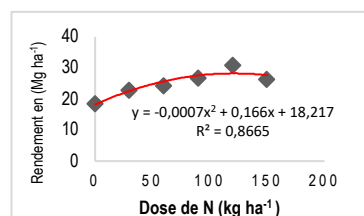


Figure 3 : Modèle quadratique du rendement en fruits de tomate en fonction de la dose d'azote minéral appliqué à la 1^{ère} période sous forme USG

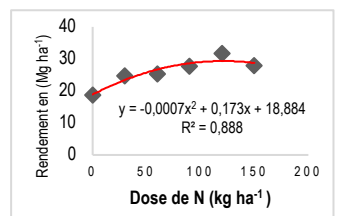


Figure 4 : Modèle quadratique du rendement en fruits de tomate en fonction de la dose d'azote minéral appliqué à la 2^e période sous forme USG

Doses économiques optimales de l'azote

Les doses économiques optimales de l'azote obtenues pour l'urée ordinaire et pour l'urée super granulée ont présenté différentes variations d'amplitude suivant la période de culture (Tableau 2).

Comparativement aux doses économiques optimales obtenues, pour l'urée ordinaire, les recommandations en vigueur pour la fertilisation azotée sur culture de maïs (ITRA, 2007) dont les producteurs ont tendances à étendre sur d'autres cultures vivrières notamment la tomate présentent des déficits (N kg ha⁻¹) de 54,60 et de 46,33 respectivement pour la première et deuxième période de cultures pour l'urée ordinaire contre des déficits (N kg ha⁻¹) de 41,71 et 46,93 respectivement pour la première et deuxième période de cultures pour l'urée super

granulée. En première période de cultures, la dose économique optimale de l'urée super granulée a été inférieure d'environ un sac (de 50 kg) à celle de l'urée ordinaire pour un rendement supérieur d'une tonne environ à celui obtenu sous urée ordinaire. En deuxième période de cultures, la dose économique optimale de l'urée super granulée a été presque identique à celle de l'urée ordinaire pour un rendement supérieur de plus de deux tonnes à celui obtenu sous urée ordinaire. Ces données indiquent la supériorité en culture de la tomate de la performance de l'urée super granulée comparativement à l'urée ordinaire, supériorité rapportée par plusieurs autres études sur le maïs et du riz (Yaosse, 2009 ; Laba and Sogbedji, 2015, Detchinli et al., 2017). La technologie du placement profond de l'urée (utilisation de l'urée super granulée, USG) est une technologie prometteuse pour l'amélioration de la production de la tomate sur les ferrasols du Sud du Togo. Il ressort de l'étude que l'utilisation des doses économiques d'azote est indispensable à l'obtention de haut rendement sous culture de tomate. L'application éventuelle de fortes doses de fumure minérale n'est envisageable que sur le court terme sur sol suffisamment pourvu en matière organique (par exemple sol mis en jachère pendant plusieurs années) ou en cas de contrainte incontournable d'accès à la fumure organique (Detchinli and Sogbedji, 2014, 2015a).

Tableau 2. Doses économiques optimales de l'azote sous urée ordinaire et sous USG.

	Période 1		Période 2	
	UO	USG	UO	USG
X optimal, kg ha ⁻¹	130,6	117,71	122,33	122,93
Q optimal, kg ha ⁻¹	283,91	255,89	265,94	267,24
Y optimal, Mg ha ⁻¹	27,19	28,06	27,34	29,57
X recommandé kg ha ⁻¹	76	76	76	76
Q recommandé kg ha ⁻¹	165,22	165,22	165,22	165,22
Déficit en N kg ha ⁻¹	54,60	41,71	46,33	46,93
Déficit en urée kg ha ⁻¹	118,70	90,85	100,72	102,02

Y = rendement en fruits de tomate exprimé en Mg ha⁻¹, X = dose d'azote exprimée en kg ha⁻¹ ; Q = quantité d'urée en kg ha⁻¹.

Effet de l'utilisation de l'azote sur la rentabilité économique de la culture de tomate.

Les profits à l'hectare générés sur la base des doses économiques optimales ont varié suivant la période et la forme d'urée. De manière générale, il a été pour la première période de 10 634 978 FCFA sous UO et de 11 221 183 FCFA sous USG soit une supériorité de 5,51% et de 16 248 829 FCFA sous UO et de 18 042 800 FCFA sous USG soit une supériorité de 11,04%. La culture de tomate est une spéculation rentable économiquement. Ces résultats sont en adéquation avec les résultats de Hanson, (2001) pour lesquels la culture de la tomate est une activité génératrice de revenus. Les profits enregistrés au cours de la seconde période sont supérieurs à ceux de la première période malgré que les tendances en termes de rendement soient similaires. En cette période les prix de vente de la tomate sont très attractifs.

CONCLUSION

La culture de la tomate est une activité génératrice de revenu. La détermination des doses économiques optimales d'azote devient alors une nécessité. A l'issue de cet essai conduit à la Station d'Expérimentations Agronomiques de Lomé ; il ressort que les doses économiques optimales d'azote sont supérieures à la recommandation en vigueur. A la première période de cultures, la dose économique optimale a été de 293,91 et 255,89 respectivement pour l'urée

ordinaire (soit 131 kg de N ha⁻¹) et pour l'urée super granulé (soit 118 kg de N ha⁻¹). A la deuxième période de cultures, la dose économique optimale a été de 265,94 et 267,24 respectivement pour l'urée ordinaire (soit 122 kg de N ha⁻¹) et pour l'urée super granulé (soit 123 kg de N ha⁻¹). Les formules de fertilisation pour la première période sont N₁₃₁ P₃₀ K₃₀ pour l'urée ordinaire et N₁₁₈ P₃₀ K₃₀ pour l'urée super granulée. Pour la deuxième période, elles sont N₁₂₂ P₃₀ K₃₀ pour l'urée ordinaire et N₁₂₃ P₃₀ K₃₀ pour l'urée super granulée. Toutes ces doses économiques obtenues durant les deux périodes de cultures sont économiquement rentables avec une plus grande profitabilité au cours de la deuxième période de culture. L'utilisation de l'urée sous la forme USG est plus avantageuse en termes de rendements et de rentabilité économique que la forme UO.

REFERENCES

- Adden AK, Mawussi G, Sogbedji JM, Sanda K, Kokou K. 2016. Cropping Systems Effects on Sustainable Maize Crop (*Zea mays* L.). Production on Depleted Tropical Soil. *Int. J. Pure App. Biosci.* 4 (3): 206-215.
- Agbangba CE, Sossa EL, Dagbenonbakin GD, Tovihoudji P, Kindomihou V. 2016. Modélisation de la réponse de l'ananas Cayenne lisse à l'azote, au phosphore et au potassium sur sols ferrallitiques au Bénin. *rev. cames* 4(2): 424-7235
- Azaïs JM, Bardet JM. 2012. Le modèle linéaire par l'exemple: Régression, analyse de la variance et plans d'expérience illustrés par R et SAS. 2^{ème} Edition DUNOD.
- Banque mondiale. 2014. Agriculture et développement rural: Data. Disponible sur <https://donnees.banquemondiale.org/theme/agriculture-et-developpement-rural>, consulté le 02 juin 2020).
- Detchinli K S, Sogbedji JM. 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 KS, Sogbedji JM. 2015. Assessment of the profitability and the effects of three maize-based cropping systems on soil health in Western Africa. Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé, Togo. Publié dans *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2 (6): 321-329.
- Detchinli KS, Sogbedji JM. 2015a. Yield performance and economic return of maize as affected by nutrient management strategies on ferralsols in coastal western Africa. *European Scientific Journal* 11: 1857-7881.
- Detchinli KS, Sogbedji JM, 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. cames* 5(01): 2424-7235.
- FAOSTAT. 2018. Production/rendement et surface cultivable de la tomate fraîche. Disponible sur <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC/visualize>. Consulté le 05 juin 2020
- Godard C. 2005. Modélisation de la réponse du rendement des grandes cultures et intégration dans un modèle économique d'offre agricole à l'échelle européenne. Application à l'évaluation des impacts du changement climatique. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, Ecole Doctorale ABIÉS, UMR Economie Publique, INRA - INA P-G.
- Hanson P, Chen JT, Kuo CG, Morris R, Open RT. 2001. Suggestions sur les pratiques culturales de la tomate. Learning center, pp 1 - 9.
- IFDC. 2003b. Adapting Nutrient Management Technologies Project (ANMAT). A project supported by International Fund for Agricultural Development (IFAD), Rome. Octobre 2003. 5p.

- IFDC Report. 2007. Actualités des travaux et des progrès de l'IFDC- Un Centre International pour la Fertilité des Sols et le Développement Agricole. Vol 32, N° 2, 8p.
- IFDC. 2008. An International Center for Soil Fertility and Agricultural Development. www.ifdc.org. Consulté le 07/06/2008.
- INSEE. 2016. Rentabilité économique. <https://comptabilite.ooreka.fr/> (consulté le 05 juin 2020).
- ITRA. 2007. Situation de référence sur les principales céréales cultivées au Togo : maïs, riz, sorgho, mil. Lomé : Institut Togolais de Recherche Agronomique, pp. 9-38. Consulté le 03 juin 2020.
- Kanda M, Akpavi S, Wala K, Boundjou GD, Akpagana K. 2014. Diversité des espèces cultures et contraintes à la production en agriculture maraichère au Togo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 8(1): 115-127, February, issn 1997-342X (Online).
- Laba BS, Sogbedji JM. 2015. Identification of land degradation and climate change resilient soil and crop management strategies for maize production on West African ferralsols. *International Invention Journal of Agriculture and Soil Science* 3(2): 13-20.
- MAEP. 2007. Deuxième rapport sur l'état des lieux des ressources phytogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture au Togo. Disponible sur <http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/Togo>.
- Mitscherlich EA. 1909. Das gesetz des minimums und das gesetz des abnehmenden bodenertrages. 38: 537-552.
- Mustapha A. 2012. Etude de la nutrition uréique et ammoniacale chez le colza (*Brassica napus* L.) et développement de nouveaux inhibiteurs d'uréases et de la nitrification. Thèse de doctorat. Sciences du Vivant [q-bio]. Université de Caen Basse Normandie.
- National Academy of Sciences – National Research Council. 1961. Statistical methods of research in economic aspects of fertilizer response and use. Committee on economic of fertilizer use of the agricultural board, NAS-NRC pub. 918, NAS-NRS, Washington, DC.
- Nelson LA, Voss RD, Pesek JT. 1985. Agronomic and statistical evaluation of fertilizer response. P. 53-90. In O.P. Angelstad (Ed.) *Fertilizer technology and use*, 3rd ed. ASA, Madison.
- RECA (Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger). 2016. La tomate au Niger.
- Saragoni H, Poss R, Marquett J, Latrille E. 1992. Fertilisation et succession des cultures vivrières au sud du Togo: synthèse d'une expérimentation de longue durée sur terres de barre. *Agronomie Tropicale* 46 : 107-120.
- Segda Z, Sie M, Mando A, Haefele M, Wopereis M, Kebbeh M, Miezán K, Sedogo M, Guindo S, 2006. Performance d'une gestion intégrée des nutriments pour la production du riz irrigué dans la plaine de Bagré au Burkina Faso. *Agronomie Africaine*, N° spécial 5, année internationale du riz, 29-39.
- Sogbedji JM. 1999. Maize nitrogen utilization and nitrate leaching modeling in Togo and New York. Ph.D. Thesis, Cornell University, New York, USA.
- Worou SK. 2000. Sols dominants du Togo: Corrélation avec la Base de Référence Mondiale. In: AG/AGL (Ed). Quatorzième réunion du sous-comité ouest et centre africain de corrélation des sols pour la mise en valeur des terres. AG/AGL. Page 227. Disponible sur www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file.htm (17 février 2016).
- Yaosse G. 2009. Test de l'efficacité de la technologie du placement en profondeur de l'urée briquette (UDP) sur le périmètre rizicole irrigué de la vallée de Zio. Mémoire d'Ingénieur Agronome, Ecole Supérieure d'Agronomie, Université de Lomé. Lomé, Togo.

Annexe 1. Tableau résumant les rendements des six saisons de cultures.

PERIODE 1 : Septembre à Janvier (2017-2019)					PERIODE 2: Février à juin (2018-2020)				
Traitements	Culture 1	Culture 2	Culture 3	Moyenne 1	Traitements	Culture 1	Culture 2	Culture 3	Moyenne 2
T+	19,01 f	18,56 f	17,93 h	18,50 g	T+	18,42 h	19,40 f	18,18 h	18,67 g
T1	24,41 de	21,27 e	21,10 g	22,26 f	T1	22,60 g	21,22 f	20,91 g	21,58 f
T2	26,21 bc	23,28 cde	22,87 f	24,12 e	T2	25,32 e	26,43 de	22,32 f	24,69 d
T3	25,71 cd	25,92 cd	25,42 de	25,68 d	T3	27,37 cd	27,55 bcd	25,05 de	26,66 c
T4	26,31 bc	28,69 b	27,83 b	27,61 b	T4	28,29 bc	29,13 b	27,26 b	28,23 b
T5	25,98 cd	25,81 cd	26,14 cde	25,98 cd	T5	25,83 e	27,50 bcd	25,54 de	26,29 c
T1'	23,33 e	22,42 e	22,89 f	22,88 f	T1'	24 f	24,75 e	22,97 f	23,91 e
T2'	25,21 cd	23,07 de	24,91 e	24,40 e	T2'	26,45 de	26,97 cd	24,66 e	26,03 c
T3'	27,87 b	25,69 cd	26,97 b	26,84 bc	T3'	27,82 c	28,61 bc	26,72 bc	27,72 b
T4'	29,47 a	33,45 a	30,08 a	31,00 a	T4'	32,57 a	33,47 a	28,82 a	31,62 a
T5'	26,54 bc	26,09 bc	26,37	26,34 cb	T5'	29,09 b	28,21 bcd	26,01 cd	27,77 b
Moyenne	24,54	23,96	23,43	23,98	Moyenne	25,08	25,48	23,07	24,54