

Evaluation agronomique d'un engrais enrobé

**Yachou Hasna ⁽¹⁾, Zouahri Abdelmjid ⁽¹⁾, Dakak Houria ⁽¹⁾, Zahouily Mohamed ⁽²⁾
et Douaik Ahmed ⁽¹⁾**

hasna.yachou@inra.ma

1 : Institut National de la Recherche Agronomique, Centre Régional de RABAT, Unité
de Recherche sur l'Environnement et la Conservation des Ressources Naturelles,
B.P: 6356, Instituts, 10101-Rabat, Maroc

2 : MASclR Fondation, Rabat Design, Rue Mohamed El Jazouli, Madinat Al Irfane
10100 Rabat. Moroc.

Résumé

L'utilisation des Engrais Enrobés (EE) constitue une direction prometteuse qui offre la possibilité d'améliorer la gestion de l'application des nutriments par la réduction des menaces environnementales tout en maintenant des rendements élevés et une production de bonne qualité. Cette étude de recherche vise à effectuer une évaluation agronomique d'un engrais enrobé à base de polymère biodégradable à travers une expérimentation élaborée sur la tomate cultivée sous serre. Les résultats ont montré, que l'application de l'EE a permis de maintenir le rendement de la tomate avec une tendance d'amélioration (11.62kg/m² de fruits) par rapport à l'engrais conventionnel ou l'Engrais Non Enrobé (ENE) (11.25kg/m² de fruits). En outre, l'augmentation significative de l'efficacité d'utilisation de l'azote en cas de l'EE a démontré une gestion efficace de l'azote et une meilleure synchronisation entre la disponibilité de l'azote et de son absorption par la culture de la tomate. De ce fait, on pourrait déduire que l'engrais enrobé (ELC : 15-15-15) est en mesure de satisfaire les besoins en azote des cultures à cycle similaire à la tomate ou moins court dans les conditions contrôlées.

Mots clés : Engrais à libération contrôlée, enrobage, efficacité d'utilisation d'azote.

Agronomic evaluation of a coated fertilizer

Abstract

The use of Coated Fertilizers (EE) is a promising direction that offers the possibility of improving the management of nutrient application by reducing environmental threats while maintaining high yields and good quality production. This research study aims to carry out an agronomic evaluation of a coated fertilizer based on biodegradable polymer through an elaborate experiment on tomato grown in greenhouses. The results showed that the application of EE helped to maintain tomato yield with an improvement trend (11.62kg/m² of fruit) compared to conventional fertilizer or Uncoated Fertilizer. (ENE) (11.25kg/m² of fruit). In addition, the significant increase in the efficiency of nitrogen use in the case of EE demonstrated an effective management of nitrogen and a better synchronization between the availability of nitrogen and its absorption by tomato. From this, it could be deduced that the coated fertilizer (ELC: 15-15-15) is able to satisfy the nitrogen needs of crops with a cycle similar to tomato or less short under controlled conditions.

Keywords: Controlled release fertilizer, coating, nitrogen use efficiency.

التقييم الزراعي لسماذ مغلف

يشو حسناء، زواهي عبد المجيد، الدقاق حورية، الزهويلي محمد والدويك أحمد

ملخص:

يعد استخدام الأسمدة المغلفة اتجاهًا واعدًا يوفر إمكانية تحسين إدارة استخدام المغذيات من خلال تقليل التهديدات البيئية مع الحفاظ على عوائد عالية وإنتاج جيد الجودة. تهدف هذه الدراسة البحثية إلى إجراء تقييم زراعي لسماذ مغلف بمادة البولييمر القابل للتحلل الحيوي من خلال تجربة مفصلة على الطماطم المزروعة داخل البيوت المغطاة. أظهرت النتائج أن استخدام هذا السماذ المغلف جعل من الممكن الحفاظ على محصول جيد للطماطم في اتجاه نحو التفوق (11.62 كجم /م² من الفاكهة) مقارنة بالسماذ التقليدي أو السماذ غير المغلف (11.25 كجم / م² من الفاكهة). بالإضافة إلى ذلك، فإن الزيادة الكبيرة في كفاءة استخدام النيتروجين التي أظهرها السماذ المغلف قد برهنت على تمكنه من إدارة فعالة للنيتروجين وتحقيقه لتزامن أفضل بين فترة توافر النيتروجين مع فترة امتصاصه من قبل مزارع الطماطم. بهذا، يمكن استنتاج أن السماذ المغلف الذي قمنا بتقييمه قادر على تلبية احتياجات النيتروجين للمحاصيل ذات الدورة المشابهة للطماطم أو التي مدتها أقل والتي زرعت في ظروف البيوت المغطاة.

الكلمات المفتاحية: السماذ المغلف والمتحكم في تحريره، كفاءة استخدام النيتروجين.

Introduction

La demande alimentaire est en perpétuelle hausse à cause de la croissance démographique qui ne cesse d'augmenter. De ce fait, le secteur agricole est amené à accroître le rendement de la production avec le souci majeur de préserver l'environnement. Des efforts ont été consentis partout dans le monde pour l'intensification de l'agriculture, notamment l'utilisation régulière des engrais avec des améliorations dans les pratiques d'application des nutriments. Cependant, l'efficacité d'utilisation d'éléments essentiels tels que l'azote et le phosphore reste non satisfaisante et engendre des effets nuisibles sur les ressources naturelles, notamment la pollution de la nappe phréatique. Ceci à cause de la déperdition des nitrates par lixiviation, ainsi que sur la santé humaine et animale (González et al., 2015). L'utilisation des engrais enrobés (EE), désignés également sous l'appellation de fertilisants à diffusion contrôlée (FDC) ou à diffusion lente (FDL), est une direction prometteuse qui offre la possibilité d'améliorer la gestion de l'application des nutriments par la réduction des menaces environnementales tout en maintenant des rendements élevés et une production de bonne qualité (Shaviv, 2005). En effet, la libération des éléments nutritifs contenus dans les engrais enrobés, étant synchronisée au mieux avec les moments de besoins cruciaux relatifs aux différents stades de développement des cultures, contribue à l'amélioration de l'assimilation des nutriments par les plantes et réduit ainsi de manière significative les pertes possibles en éléments fertilisants. Ainsi, l'utilisation des engrais enrobés rend possible l'atténuation des risques de pollution de l'environnement (Benlamlih, 2019 ;Trenkel, 2010) et permet l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation des nutriments (EUN).

L'évaluation effective des engrais enrobés doit s'appuyer sur deux volets importants. Le premier consiste en la détermination des caractéristiques et des mécanismes de libération des nutriments contenus dans l'engrais enrobé et des effets des facteurs environnementaux (température, humidité, type de sol, activité microbiologique, etc.) sur la diffusion de l'engrais. Le second volet, se rapporte à l'évaluation agronomique en termes des composants du rendement et en termes d'efficacité d'utilisation des engrais en étudiant le degré de synchronisation entre la demande en nutriments ou le besoin des cultures à différents stades de croissance et la disponibilité ou de la diffusion des éléments fertilisants. Par conséquent, tout engrais enrobé développé devrait être évalué selon cette procédure et nécessite des décisions à prendre en ce qui concerne les types d'enrobant et leur épaisseur, les types de sols et leur texture, le climat qui sévit dans la région, les types de cultures. Ces évaluations devraient faire l'objet d'essais et pourraient avoir lieu au laboratoire, en milieu contrôlé (serre) ou en plein champ (Azeem et al., 2014).

Toutefois, on note que les travaux sur l'évaluation agronomique des EE restent limités par rapport à ceux qui traitent plus l'aspect de leur conception. De ce fait, la présente étude vise à effectuer une évaluation agronomique d'un engrais enrobé à base de polymère biodégradable que nous allons appliquer pour la culture de la tomate sous conditions contrôlées.

Matériels et méthodes

La méthodologie adoptée pour l'évaluation agronomique d'un engrais enrobé ; consiste à la mise en place d'une expérimentation sous serre de de tomate cultivée en pot. L'engrais à libération contrôlée sujet de cette étude a été développé par la fondation MASclR. Il s'agit d'un engrais composé (ELC :15-15-15) enrobé par un revêtement à base de polymère biodégradable.

Avant de lancer l'expérimentation, une caractérisation globale du sol utilisé a été effectuée, elle comprend les analyses suivantes : la granulométrie, le pH, la conductivité électrique, le phosphore assimilable, le potassium échangeable, la matière organique, l'azote total et la capacité d'échange cationique (tableau 1).

Nous avons utilisé les semences de la variété « Campell 33 ». La germination et la levée a été effectuée dans une chambre de culture à 22°C pour éviter toute contamination de maladies. La mise en alvéole est réalisée 2 semaines après germination. L'expérimentation s'est poursuivie sous serre (24-26°C). Nous avons utilisé des pots en plastique contenant 5kg de sol. Quatre répétitions ont été envisagées pour 3 traitements : témoin absolu **T** ; témoin relatif **ENE** (engrais non enrobé) et engrais enrobés **EE**. Au total, 12 pots ont été mis en place selon un bloc aléatoire complet. L'analyse statistique des données a été effectuée avec le logiciel XLSTAT.

Tableau1. Caractérisation du sol de l'expérimentation

pH	CE(mS/cm)	MO(%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O(ppm)	CEC(meq/100g)	N(%)	Arg(%)	Lim(%)	Sab(%)
7.7	0.1	3.5	73.4	96.4	32.8	0.16	59	26	15



Figure1. Photos des plantations 4 et 6 semaines après germination

Déroulement de l'expérimentation

Avant de procéder au repiquage en pot au stade 4 feuilles (6 semaines après la levée), nous avons appliqué la fertilisation de fond de l'engrais non enrobé (ENE) tandis que la totalité de la dose préconisée a été appliquée pour le cas de l'engrais enrobé (EE). Ainsi, la plantation de 2 pieds de tomate par pot a été effectuée vers la fin du mois de juillet. La dose totale de fertilisation a été calculée sur la base d'un besoin en engrais de 350Kg/ha. Le plan de la fertilisation adopté est comme suit :

- Témoin : pas d'apport d'engrais
- ENE : *Apport de fond (50% de la dose totale) avant la transplantation des plants en pots
 - *Premier apport de couverture (25% de la dose totale) en phase de floraison ;
 - *Deuxième apport de couverture (25% de la dose totale) en phase de fructification ;
- EE : un seul apport (100% de la dose) avant transplantation.

Tous les traitements ont reçu une dose de sulfate de magnésium en phase de croissance pour éviter les carences et les facteurs limitant. L'irrigation est réalisée à une dose qui correspond à 80% de HCC (humidité à la capacité au champ) du sol appliquée en 2 fois par semaine. Nous avons dû placer des fils pour le tuteurage des pieds de tomate en phase de nouaison pour laisser grimper les fruits et éviter les pertes. L'expérimentation sous serre s'est étalée sur environ 16 semaines et a pris fin en début novembre.

Analyses au laboratoire et traitement des données

Vers la fin de l'expérimentation, un certain nombre d'analyse ont été effectués sur le sol et le végétal notamment la teneur en azote total. Sur la base des résultats obtenus, certains indices d'Efficiences d'Utilisation de l'Azote (EUA) ont été calculés (Incrocci et al., 2020)) en utilisant les formules suivantes :

- Efficience Agronomique de l'Engrais (EAE) = $(Y - Y_0)/F$
- Efficacité de récupération apparente par différence (REC) = $(U - U_0)/F$
- Efficience Physiologique de l'Engrais (EPE) = $(Y - Y_0) / (U - U_0)$

Avec : Y et Y₀ (g/m² sur la base du poids frais) sont les rendements de tomates avec et sans fertilisation N, respectivement ; F est le N total fourni (g N/m²) et U et U₀ (g N/m²) sont les teneurs en N dans les fruits avec et sans fertilisation en N, respectivement.

Résultats et discussions

Effet sur le rendement

Le tableau 2 montre que l'utilisation des engrais EE et ENE a affecté de manière significative le rendement de la tomate par rapport au traitement témoin. En revanche, en comparant le rendement du traitement EE à celui de ENE on constate que l'EE a légèrement amélioré le rendement en fruits mais cette amélioration reste non significative avec un rendement de 11.62 kg/m². En ce qui concerne les teneurs en azote total, on assiste à une augmentation de cette teneur dans le tissu des fruits dans le cas de l'ENE par rapport à l'EE. Par contre, avec EE, l'azote total a plus tendance à s'accumuler dans les feuilles et les tiges. Le même constat est applicable sur la teneur en protéine.

Tableau 2. Effet des différents traitements étudiés sur le rendement de la tomate et la composition des tissus en azote total et en protéine

Traitement	Teneur en N total (%MS)		Teneur en Protéines (%MS)		Rendement (Kg/m ²)
	fruits	feuilles et tiges	Fruits	feuilles et tiges	fruits
Témoin	1.3	0.74	7.9	4.67	6.8a
ENE	3.22	2.84	20.15	17.75	11.25b
EE	2.92	3.59	18.27	22.43	11.62b

Cela suppose que l'azote libéré par EE a été en majorité assimilé en phase végétative du stade de développement de la culture qui s'étale sur plus de 90 jours après plantation et qui coïncide avec le pic des besoins en azote (figure 2). Par contre, le fait d'appliquer une part de la dose de l'ENE à la phase de floraison et une autre part en début de fructification aurait favoriser l'accroissement de la teneur de l'azote et des protéines au niveau des fruits. Des résultats similaires ont été également rapportés pour différentes espèces de légumes, telles que les courgettes (Elia et Conversa, 2012).

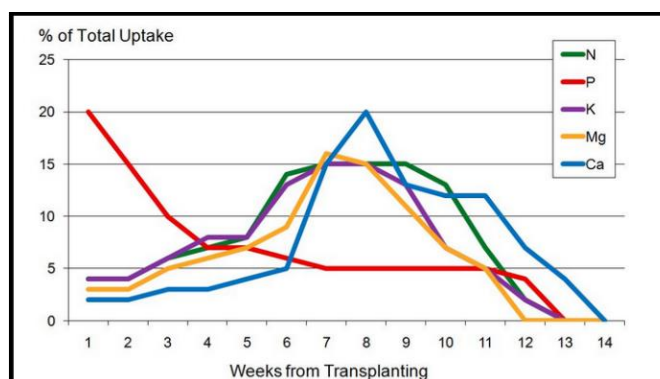


Figure 2. Rythme d'absorption des éléments majeurs et secondaires par l'ensemble de la plante de la tomate [source : www.yara.com]

Effet sur l'efficacité d'utilisation d'azote

L'efficacité de l'utilisation de l'azote par les plantes (EUN) est la résultante de (i) l'efficacité de prélèvement de l'azote par les racines (ii) l'efficacité de l'incorporation de l'azote dans la biomasse végétale et (iii) l'efficacité de remobilisation de l'azote vers les grains. Cette EUN est contrôlée d'une part par la capacité du sol à fournir l'azote et d'autre part par la capacité des plantes à utiliser cet élément (Cassman et al., 2002). (EUN) est exprimée par des indices :

- (EAE), l'indice de l'efficacité agronomique : correspond à la production supplémentaire par kilogramme d'éléments fertilisants épandus (relation entre la biomasse et l'azote appliqué). Lorsque la fourniture en azote est faible, l'efficacité agronomique est bonne. Elle diminue quand l'apport d'azote augmente.
- (EPE), l'indice d'efficacité physiologique : représente l'efficacité intrinsèque de l'utilisation de l'azote par la plante (relation entre la biomasse et l'azote accumulé par la plante). La différence entre l'azote appliqué et celui accumulé donne une information quant aux sources et pertes d'azote (Dobermann, 2005). En effet, l'azote peut provenir des précipitations, des réserves dans le sol et de l'application de fertilisants. Ceci affecte fortement la réponse apparente vis-à-vis de l'azote appliqué.
- (REC), indice de l'efficacité de récupération apparente par différence : dénote la capacité de la culture à absorber l'azote du sol.
- En analysant le tableau 3, on peut constater que l'EE a eu un effet significatif sur tous les indices de l'efficacité d'utilisation de l'azote (EUN). En effet, l'augmentation significative observée avec EE peut s'expliquer par un rendement de fruit plus élevé (tableau 2). Aussi, par une meilleure absorption de l'azote notamment en phase du pic de la demande de la culture en azote ce qui reflète aussi une assez bonne synchronisation de la libération de l'azote avec le cycle de la culture. Plusieurs auteurs (Ti et al., 2015 ; Jiang et al., 2009) ont rapporté des données similaires de l'EUN pour des systèmes de culture maraîchère distincts, soit sous serre, soit au champ.

Tableau 3. Effet des engrais étudiés sur les indices calculés de l'efficacité d'utilisation d'azote

	EAE	EPE	REC
ENE	237.37a	92.72a	0.38a
EE	257.12b	119.08b	0.32b

EAE : Efficacité Agronomique de l'Engrais ; EPE : Efficacité Physiologique de l'Engrais ;

REC : Efficacité de récupération apparente par différence ;

L'amélioration des indices de l'EUN en cas de EE témoigne d'une gestion efficace de l'azote en choisissant les bonnes sources d'azote et le moment de l'application pour synchroniser la disponibilité et l'absorption de l'azote par les cultures (Grant et al., 2012). Dans notre cas, il serait probable d'avoir une efficacité encore plus importante dans le cas d'une culture à cycle plus cours.

Conclusion

Cette étude a montré, qu'avec l'application de l'EE, d'une part, le rendement de la tomate était maintenu avec même une tendance à l'amélioration par rapport à l'engrais conventionnel ENE. D'autre part, l'augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'azote en cas de l'EE témoigne d'une gestion efficace de l'azote et d'une bonne synchronisation entre la disponibilité et l'absorption de l'azote par la culture de la tomate. Par conséquent, l'EE (ELC : 15-15-15) pourrait satisfaire les besoins en N des cultures à cycle similaire ou moins court que la tomate, évitant en même temps une concentration excessive de l'élément dans la zone racinaire. Ce résultat est cohérent avec les performances attendues d'un engrais à libération contrôlée, qui devraient mieux répondre aux besoins nutritionnels des plantes que les engrais solubles ou stabilisés, en assurant une libération progressive d'azote dans le sol, évitant ainsi sa lixiviation vers la nappe phréatique et par conséquent une meilleure préservation de l'environnement. Néanmoins, des travaux supplémentaires (en particulier, un essai de validation approprié) sont nécessaires pour étendre les résultats obtenus sous serre aux conditions de culture en plein champ. Il serait également profitable d'étudier l'effet de l'épaisseur de l'enrobge ainsi que du type de sol sur la cinétique de libération des éléments fertilisants et leur efficacité d'utilisation pour d'autres cultures.

Références bibliographiques

- Azeem B., Kushaari K., Man Z.B., Basit A. et Thanh TH. (2014). Review on materials and methods to produce controlled release coated urea fertilizer. *Jour. Controlled Release*, 181. p. 11–21.
- Benlamlih F.Z. Evaluation d'une nouvelle generation d'engrais enrobe pour diminuer le lessivage des éléments minéraux et réduire les émissions de gaz à effet de serre (N₂O) (2019). Mémoire de Maîtrise en sol et environnement. Université LAVAL. (<https://www.scribd.com/document/481462414/l-enrobage-des-engrais>).
- Cassman K.G., Dobermann A., and Walters D.T. (2002). Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Ambio* 31. p. 132-140.
- Dobermann, Achim R.(2005) "Nitrogen Use Efficiency – State of the Art". *Agronomy&Horticulture- Faculty Publications*. 316. <https://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/316>
- Elia A., Conversa G.(2012). Agronomic and physiological responses of a tomato crop to nitrogen input. *Eur. J. Agron.* 2012, 40. p. 64–74.
- González M.E., Cea M., Medina J., González A., Diez M.C., Cartes.(2015) . Evaluation of biodegradable polymers as encapsulating agents for the development of a urea controlled release fertilizer using biochar as support material. *Sci. Total Environ.* 505 (2015). p. 446–453.
- Grant CA., Wu R., Selles F., Harker KN., Clayton GW., Bittman S., Zebarth BJ. et Lupwayi NZ. (2012). Crop yield and nitrogen concentration with controlled release urea and split applications of nitrogen as compared to non-coated urea applied at seeding. *Field Crops Rese.* 127. p. 170–180.
- Incrocci L., Maggini R., Cei T., Carmassi G., Botrini L., Filippi F., Clemens R., Terrones C., Pardossi A. (2020). Innovative Controlled-Release Polyurethane-Coated Urea Could Reduce N Leaching in Tomato Crop in Comparison to Conventional and Stabilized Fertilizers. *Agronomy* 2020, 10, 1827. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111827>.
- Jintakanon N., Opaprakasit P., Petchsuk A., and Opaprakasit M. (2008) "Controlled-Release Materials for Fertilizer Based on Lactic Acid Polymers," vol. 57. p. 905–908.
- Liu X., Yang Y., Gao B., and Li Y.(2016), "Organic silicone-modified transgenic soybean oil as bio-based coating material for controlled-release urea fertilizers," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 133, no. 41. p. 1–8.
- Majeed Z., Ramli N. K., Mansor N., and Man Z. (2015). "A comprehensive review on biodegradable polymers and their blends used in controlled-release fertilizer processes," *Rev. Chem. Eng.*, vol. 31, no. 1. p. 69–95.
- Tachibana M. (2007). Chissoasahi Fertilizer Co., Ltd: Personal report.
- Ti C., Luo Y., Yan X. (2015). Characteristics of nitrogen balance in open-air and greenhouse vegetable cropping systems of China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2015, 22. p. 18508–18518.
- Trenkel ME. (2010). Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: An option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture. International Fertilizer Industry Association: Paris.
- Jiang, H.M., Zhang J., Yang J.C., Liu Z.H., Song X.Z., Jiang L.H.(2009). Effects of models of N application on greenhouse tomato N uptake, utilization and soil NO₃-N accumulation. *J. Agro-Environ. Sci.* 2009, 28. p. 2623–2630. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTALNHBH200912034.htm