



Effet du nitrate de calcium liquide synthétisé par le procédé Birkeland-Eyde sur la valeur fertilisante de l'amarante (*Amaranthus hybridus* L.) à Kinshasa (RDC)

David Mokoko Nkumu, Nickson Yoambale Nkolola, Juvenal Kimpanga Mafuku, Benjamin Kabila Kolongo, Anaclet Falang Lawaba, Luc Tshilenge Lukanda, Denis Bungu Mulombo

Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Production animale. BP 117 Kinshasa XI. E-mail : dnkumu@hotmail.com

Reçu le 02 août 2026, accepté le 23 septembre 2026, publié en ligne le 29 septembre 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i3.32>

RESUME

Description du sujet. En République Démocratique du Congo, l'accès aux engrais minéraux importés est limité par des coûts élevés. La production locale via des procédés chimiques simples, comme la méthode Birkeland-Eyde, représente une alternative stratégique pour la fertilisation des cultures maraîchères.

Objectif. Cette étude vise à synthétiser localement un engrais minéral liquide (Nitrate de calcium) par le procédé Birkeland-Eyde et à évaluer son efficacité agronomique sur la culture d'amarante (*Amaranthus hybridus*) par rapport aux fertilisants conventionnels.

Méthodes. Un dispositif expérimental en blocs complets randomisés avec cinq traitements (témoin sans engrais, nitrate de calcium synthétisé [NC], NPK 17-17-17, l'urée et la drêche de brasserie) et quatre répétitions a été installé au site de N'djili CECOMAF à Kinshasa. L'engrais a été synthétisé à l'aide d'un réacteur reproduisant l'arc électrique pour fixer l'azote atmosphérique.

Résultats. Ils révèlent que l'engrais minéral liquide a montré une efficacité agronomique comparable aux engrais de synthèse importés, comme l'urée. Le coût de production de cet engrais a été estimé à environ 0,6 \$ par litre, soit trois fois moins cher que celui de l'urée (2 \$ le kg) mais avec des performances identiques. Les rendements les plus élevés ont été de 7875,0 kg/ha pour l'urée et de 7093,8 kg/ha pour le nitrate de calcium sans différence significative entre les deux, mais dépassant largement le NPK (5265,6 kg/ha) et le témoin (2937,5 kg/ha).

Conclusion. Le nitrate de calcium produit localement avec le procédé Birkeland-Eyde permet d'offrir une solution durable et économique pour accroître la productivité de l'amarante à Kinshasa.

Mots-clés : Fertilisation, Nitrate de calcium, amarante, NPK, drêche, Birkeland-Eyde, Kinshasa.

ABSTRACT

Effect of liquid calcium nitrate synthesized by the Birkeland-Eyde process on the fertilizing value of amaranth (*Amaranthus hybridus* L.) in Kinshasa (DRC)

Description of the subject. In the Democratic Republic of Congo, access to imported mineral fertilizers is limited by high costs. Local production through simple chemical processes, such as the Birkeland-Eyde method, represents a strategic alternative for fertilizing vegetable crops.

Objective. This study aims to locally formulate a liquid mineral fertilizer (Calcium Nitrate) using the Birkeland-Eyde process and to evaluate its agronomic efficiency on amaranth (*Amaranthus hybridus*) compared to conventional fertilizers.

Methods. A randomized complete block experimental design with five treatments (control without fertilizer, synthesized calcium nitrate [NC], NPK 17-17-17, urea, and brewer's grain) and four replicates was set up at the CECOMAF N'djili site in Kinshasa. The fertilizer was synthesized using a reactor that simulates an electric arc to fix atmospheric nitrogen.

Results. They reveal that liquid mineral fertilizer demonstrated agronomic efficacy comparable to that of imported synthetic fertilizers, such as urea. The production cost of this fertilizer was estimated at approximately \$0.60 per liter—three times cheaper than that of urea (\$2 per kg) but with identical performance. The highest yields were 7,875.0 kg/ha for urea and 7,093.8 kg/ha for calcium nitrate, with no significant difference between the two, but both far exceeding those of NPK (5,265.6 kg/ha) and the control (2,937.5 kg/ha).

Conclusion. Calcium nitrate produced locally using the Birkeland-Eyde process offers a sustainable and cost-effective solution for increasing amaranth productivity in Kinshasa.

Keywords: Fertilization, Calcium nitrate, amaranth, NPK, spent grain, Birkeland-Eyde, Kinshasa.

1. INTRODUCTION

En République Démocratique du Congo (RDC), le secteur agricole est le socle de la sécurité alimentaire, occupant une part prépondérante dans l'économie nationale. Dans les zones urbaines et périurbaines comme Kinshasa, les cultures légumières notamment celle de l'amarante (*Amaranthus hybridus*) joue un rôle socioéconomique vital, fournissant des revenus rapides aux maraîchers et des nutriments essentiels aux populations (FAO, 2024). Cependant, la productivité de cette culture est fortement entravée par la faible fertilité des sols, majoritairement sablonneux et acides, nécessitant des apports constants en fertilisants (Ogbodo, 2016).

Malgré cette nécessité, l'agriculture congolaise reste tributaire des importations d'engrais minéraux, dont les coûts ne cessent de croître sur le marché mondial. Cette dépendance rend les intrants inaccessibles pour la majorité des petits producteurs, les poussant à utiliser des alternatives organiques comme la drêche de brasserie, dont l'efficacité peut être limitée par une minéralisation lente (Assandri D *et al.*, 2021). Face à ce défi, la recherche de solutions locales pour la synthèse d'engrais minéraux devient une priorité stratégique pour la souveraineté alimentaire (Patil *et al.*, 2018).

Le nitrate de calcium $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ est un fertilisant de choix pour les sols de Kinshasa, car il apporte non seulement l'azote indispensable à la croissance végétative, mais aussi le calcium, qui agit comme un amendement pour réguler l'acidité du sol (Liu & von Wirén, 2017). Le procédé Birkeland-Eyde, qui utilise un arc électrique pour fixer l'azote atmosphérique et le transformer en acide nitrique, offre une voie technologique prometteuse pour une production artisanale et décentralisée (Ingels & Graves, 2015). Bien que ce procédé soit historiquement connu, son application dans le contexte artisanal congolais pour la fertilisation maraîchère reste peu documentée.

C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude a comme objectif général de synthétiser localement un engrais minéral liquide (Nitrate de calcium) et d'évaluer ses performances agronomiques sur la culture de l'amarante à Kinshasa. Spécifiquement, il s'agit de comparer l'efficacité de cet engrais synthétisé localement avec les fertilisants conventionnels (NPK, Urée) et organiques (Drêche) utilisés par les maraîchers de N'djili CECOMAF.

L'intérêt de cette étude réside dans sa capacité à répondre simultanément à des enjeux économiques, agronomiques et environnementaux majeurs pour la ville-province de Kinshasa. Elle permet de

concevoir un intrant performant à partir de matières premières accessibles localement, stimulant l'économie circulaire. L'étude permet de réduire la dépendance des maraîchers kinois vis-à-vis des engrais chimiques importés, soumis aux fluctuations des prix mondiaux. Elle offre une alternative de fertilisation à moindre coût pour les petits producteurs des zones périurbaines (exemple : Ndjili, Kimwenza).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Site d'étude

L'expérimentation a été conduite au site maraîcher de N'djili CECOMAF, situé dans la commune de Kimbanseke à Kinshasa (RDC). Le site est localisé entre 4°26'10" de latitude Sud et 15°21'44" de longitude Est. Le climat est de type AW_4 selon la classification de Köppen, caractérisé par une alternance d'une saison pluvieuse (huit mois) et d'une saison sèche (quatre mois). Le sol présente une texture essentiellement sablonneuse.

2.2. Matériel biologique et intrants

Le matériel végétal utilisé est l'amarante (*Amaranthus hybridus* L.), variété Gombe. Les fertilisants comparés sont : (i) l'engrais minéral liquide (Nitrate de calcium) synthétisé localement, (ii) l'urée (46% N), (iii) l'engrais composé NPK 17-17-17 et (iv) la drêche de brasserie (amendement organique).

2.3. Méthodes

Synthèse de l'engrais par le procédé Birkeland-Eyde

Le nitrate de calcium a été produit à l'aide d'un dispositif artisanal reproduisant le procédé Birkeland-Eyde. Le réacteur était constitué d'un transformateur haute tension (7,5 kV) relié à des électrodes en cuivre pour générer un arc électrique permanent dans un bocal de réaction. Trois étapes décrivent la synthèse du nitrate de calcium :

Fixation de l'azote : Une pompe à air injectait l'air ambiant à travers l'arc électrique, provoquant la réaction de l'azote (N_2) et de l'oxygène (O_2) pour former des oxydes d'azote (NO_x).

Oxydation et absorption : Ces gaz ont été acheminés dans un barboteur contenant de l'eau distillée, produisant une solution d'acide nitrique (HNO_3) avec un pH final de 1,67 après 30 jours de fonctionnement.

Neutralisation : La solution a été neutralisée par l'ajout de carbonate de calcium (CaCO_3) jusqu'à

l'obtention d'un nitrate de calcium liquide stabilisé à un pH de 5,85.

Dispositif expérimental et conduite de la culture

L'essai a été réalisé au site de N'djili CECOMAF à Kinshasa selon le dispositif expérimental en blocs

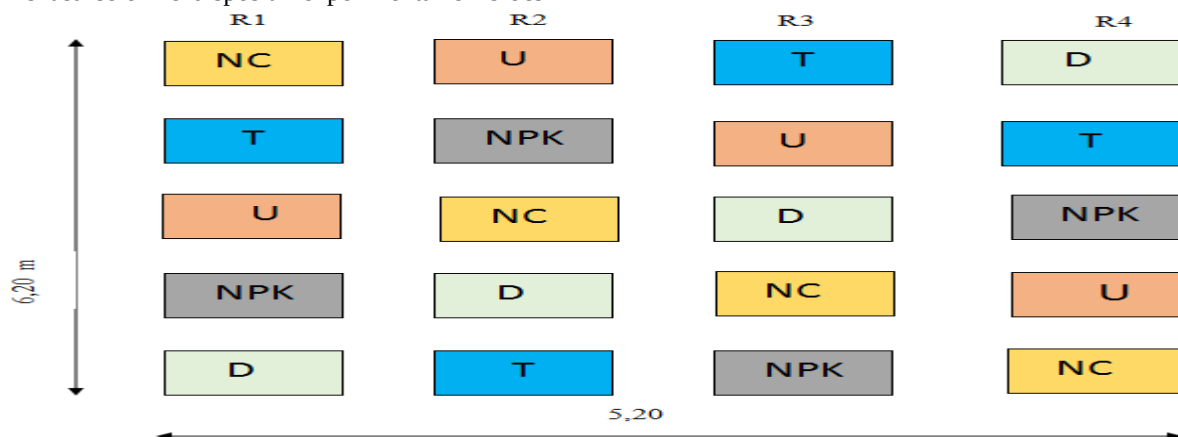


Figure 1. Dispositif expérimental

Légende : T : Témoin (sans fertilisation) ; NC : Nitrate de calcium synthétisé (50 ml par parcelle) ; Urée : 40 g par parcelle ; NPK : 40 g par parcelle ; D : Drêche de brasserie (1 kg par parcelle).

Chaque parcelle élémentaire mesurait 1 m² et le semis y a été effectué en pépinière, suivi d'un repiquage après 21 jours avec un écartement de 20 cm x 20 cm. L'entretien a consisté en des arrosages réguliers et des sarclages manuels.

complets randomisés avec cinq traitements (témoin sans engrais, nitrate de calcium synthétisé [NC], NPK 17-17-17, l'urée et la drêche de brasserie) et quatre répétitions (Figure 1). L'engrais a été synthétisé à l'aide d'un réacteur reproduisant l'arc électrique pour fixer l'azote atmosphérique.

Paramètres observés et analyses statistiques

Les données collectées ont porté les paramètres de croissance (Hauteur de la plante, en cm, diamètre au collet, en mm et nombre de feuilles) et les paramètres de rendement (Poids frais total par plante, en g et rendement à l'hectare, en kg/ha). Ces données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel Statistix 10.0. En cas de différences significatives, le test de la plus petite différence significative (LSD) au seuil de 5 % a été utilisé pour la différence des moyennes.

3. RÉSULTATS

3.1. Paramètres de croissance végétative

À la récolte, les plantes fertilisées avec l'urée et le nitrate de calcium (NC) ont montré la croissance en hauteur avec des moyennes respectives de 22,9 cm et 22,5 cm. Ces deux traitements sont statistiquement identiques mais supérieurs au NPK (19,8 cm), à la drêche (16,6 cm) et au témoin (15,5 cm).

Le NC a induit le diamètre le plus important (8,3 mm), suivi de près par l'Urée (8,1 mm), le NPK (6,8 mm) et la drêche (6,2 mm). Le témoin a présenté le diamètre le plus faible (5,7 mm). Le NC et l'urée ont produit en moyenne 12 feuilles par plante, surpassant légèrement le NPK (11,7 feuilles). Les traitements organiques et le témoin ont montré des valeurs significativement inférieures (environ 9 feuilles). L'ANOVA a révélé des différences significatives ($p < 0,05$) entre les traitements pour tous les paramètres de croissance observés.

Tableau 1. Résultats des paramètres végétatifs

Traitements	Nombre moyen de feuilles par plante	Hauteur des plantes (cm)	Taux de reprise	Diamètre au collet moyen (mm)
Témoin	8,000b	15,500c	100a	6,2825c
NC	12,000a	22,500a	100a	8,3212a
NPK	11,750a	19,813b	100a	6,8138b
D	12,000a	16,625c	100a	8,0875a
U	9,250b	22,938a	100a	5,7375d
CV	12,32	6,39	-	3,95
PPDS	2,0112	1,9165	NS	0,4294

3.2. Paramètres de rendement

Les performances de production confirment la supériorité des engrais minéraux à haute disponibilité d'azote s'explique par les paramètres suivants :

La biomasse par plante : Le poids frais moyen par plante le plus élevé a été enregistré avec l'Urée (31,5 g) et le NC (28,3 g). Ces deux valeurs appartiennent au même groupe de précocité statistique (Groupe A), se distinguant nettement du NPK (21,0 g), et de la drêche (13,7 g) (groupe B).

Le rendement, estimé à l'hectare (tableau 2) : L'urée a permis d'atteindre 7875,0 kg/ha et le nitrate de calcium a synthétisé 7093,8 kg/ha. Le rendement du NC est supérieur de 34,7 % à celui du NPK 17-17-17 (5265,6 kg/ha) et de plus de 140 % par rapport au témoin non fertilisé (2937,5 kg/ha).

Tableau 2. Résultats des paramètres de production

Traitements	Poids moyen par plantes (g)	Rendement estimatif (kg/ha)
Témoin	11,750c	2937,5c
NC	28,375a	7093,8a
NPK	21,063b	5265,6b
U	31,500a	7875,0a
D	13,750c	3437,5c
CV	12,23	12,23
PPDS	4,0108	1002,7

4. DISCUSSION

Les résultats de cette étude révèlent que l'engrais minéral liquide synthétisé par le procédé Birkeland-Eyde a présenté une performance agronomique similaire à celle des engrais de synthèse comme l'urée, tout en coûtant environ 0,6 \$ par litre, contre 2 \$ le kg pour l'urée. Les rendements maximaux étaient de 7875,0 kg/ha pour l'urée et 7093,8 kg/ha pour le nitrate de calcium, sans différence significative, tandis que les rendements pour le NPK et le témoin étaient largement inférieurs.

La similarité de rendement entre le nitrate de calcium (7093,8 kg/ha) et l'urée (7875,0 kg/ha) indique que le nitrate de calcium satisfait les besoins azotés des cultures maraîchères. De plus, en apportant du calcium, le nitrate de calcium améliore le pH du sol et sa texture, ce qui est crucial pour les sols de Kinshasa. Ces résultats sont en harmonie avec ceux des autres chercheurs. Selon Sarmiento-García *et al.* (2020), l'analyse de l'influence de la fertilisation azotée sur *Amaranthus hybridus* indique qu'une fertilisation entre 45 et 120 kg N/ha augmente le rendement en feuilles fraîches de plus de 75 %. Cela améliore également la teneur en protéines et acides aminés essentiels, ainsi que la coloration verte, augmentant la valeur marchande.

Toutefois, un excès d'azote peut nuire à la qualité sanitaire, car la plante stocke le surplus sous forme de nitrates. L'efficacité de l'azote varie selon le climat, avec un lessivage important dans les zones humides. L'association d'engrais organiques et minéraux est recommandée pour une meilleure libération des nutriments. Cela souligne l'importance d'un dosage équilibré pour la qualité nutritionnelle et la sécurité sanitaire.

Pour Bindraban *et al.* (2020), le calcium favorise la floculation des argiles et de la matière organique (formation du complexe argilo-humique), améliorant ainsi la structure du sol, sa rétention en eau et sa résistance à l'érosion. Le chaulage relie l'argile et l'humus pour former le complexe argilo-humique, stabilisant la structure du sol.

Yamanashi *et al.* (2024) a exploré l'utilisation du gaz N_2O_5 produit par plasma comme source d'azote innovante pour les plantes. D'après les travaux de Mafuka *et al.* (2017), bien que son utilisation soit plus lente, la drêche de brasserie offre des avantages supérieurs pour les sols sableux et pauvres de Kinshasa. La teneur en humus augmente en améliorant ainsi la rétention d'eau des sols sableux. La libération progressive des nutriments réduit le lessivage par rapport aux engrais chimiques, tout en nourrissant la faune et la microflore du sol pour une fertilité durable.

Mian & Ndior (2018) a démontré que le faible rendement de la drêche de brasserie s'explique par sa nature d'engrais organique. En effet, les nutriments qu'elle renferme sont soumis à une minéralisation lente par la microflore du sol. Par conséquent, elle s'avère incapable de combler rapidement les besoins nutritionnels élevés d'une culture à cycle court comme l'amarante, qui exige des éléments immédiatement disponibles pour optimiser son développement végétatif.

5. CONCLUSION

Cette étude a permis de démontrer la faisabilité technique et l'efficacité agronomique de l'engrais minéral liquide (Nitrate de calcium) synthétisé localement via le procédé Birkeland-Eyde. Les

résultats de cet engrais artisanal sur l'amarante (*Amaranthus hybridus*) à N'djili CECOMAF montrent qu'il peut égaler les fertilisants minéraux conventionnels. Le nitrate de calcium synthétisé a produit une croissance et un rendement (7093,8 kg/ha) similaires à ceux de l'urée, surpassant le NPK 17-17-17, le calcium et la drêche. Sa richesse en calcium aide également à corriger l'acidité des sols sablonneux à Kinshasa.

Sur le plan socioéconomique, l'adoption de cette technologie par les coopératives maraîchères permettrait de réduire considérablement les coûts de production, tout en diminuant la dépendance aux importations d'intrants. Ce procédé s'inscrit dans une démarche d'agriculture durable et de souveraineté alimentaire.

À l'avenir, il serait pertinent d'approfondir cette recherche par (i) l'optimisation du rendement énergétique du réacteur pour augmenter la concentration en azote, (ii) l'évaluation de cet engrais sur d'autres cultures maraîchères à cycle long et (iii) l'étude de l'effet résiduel de ce fertilisant sur les propriétés physico-chimiques du sol après plusieurs cycles de culture.

Références

- Aderibigbe O.R., Olayinka R. A., Oluwatosin B. Olomola & Oluwaseun P. B., 2022. Nutrient composition and postharvest management of *Amaranthus* species: A review. *Food Reviews International*, 38(1), 1-25.
- Anonyme, 2002. *Mémento de l'agronome*. Ministère des Affaires Étrangères, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), Groupe de Recherche et d'Échange Technologique, 1027 p.
- Anonyme, 2024. Livre blanc sur la fertilisation azotée. [En ligne], consulté le 23 juin 2024. URL : <https://www.lacooperationagricole.coop/filieres/grain/actualites/le-livre-blanc-sur-la-fertilisation-azotee>.
- Assandri D., Pampuro G. Cavallo G. & Cavallo E., 2021. Brewery spent grain as a soil amendment: Impact on soil chemical properties and plant growth. *Agronomy*, 11(1), 114.
- Banza M.J., Mwamba K.F., Esoma E.B., Meta T.M., Mayamba M.G. & Kasongo L.M., 2019. Evaluation de la réponse du maïs (*Zea mays* L.) installé entre les haies de *Tithonia diversifolia* à Lubumbashi, R.D. Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 134(1), 136-143.
- Bindraban P.S., Dimkpa C. & Pandey A., 2020. Exploring insights into fertilizer efficiency: Role of magnesium, calcium, and sulfur. *Frontiers in Plant Science*, 11, 584.
- Chang R. & Overby J., 2019. *Chimie générale*. ISBN13: 978-2-8073-2676-7.
- Crabre M., 1980. *Le climat de Kinshasa 1931-1970*. Bruxelles, 49 p.
- FAO, 2024. *La FAO en République démocratique du Congo : Le pays en un coup d'œil*. [En ligne], consulté le 12 mars 2024. URL : <https://www.fao.org/republique-democratique-congo/>.
- Hejna A., Fuxing X., Yong-Jun Z., Yu-Qing W., Hong-Ying Chen, Yan-Long Z. et al., 2020. Brewery spent grain as a resource for agriculture: Current trends and future perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 276, 123301.
- Ingels R. & Graves D.B., 2015. Plasma-activated water: A new and sustainable method for nitrogen fixation. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 48(44).
- Liu Y. & von Wirén N., 2017. Ammonium as a self-limiting nitrogen source when compared to nitrate in plants. *Frontiers in Plant Science*, 8, 152.
- Makoko, 1991. Les sols du mont-amba, caractéristiques pédagogiques, mécaniques et stock d'eau. *Revue zaïroise des sciences nucléaires*, 12(1), 72.
- Mafuka M. P., Nsombo M. B. & Muliele M. T., 2017. Dynamique de l'azote minéral dans le sol de Kimwenza (à Kinshasa en R.D. Congo) amendé avec de la drêche, de la pulpe de café, des feuilles de *Tithonia diversifolia*, d'*Acacia auriculiformis* et d'*Haumania liebrechtsiana*. *Congo Sciences*, 5(1), 53-62.
- Mian M. M. & Ndior M., 2018. Valorisation agricole des sous-produits agro-industriels : Dynamique de minéralisation de l'azote de la drêche de brasserie dans un sol tropical. *Revue d'Agronomie Africaine*, 30(2), 115-126.
- Ogbodo E.N., 2016. Effect of different rates of NPK fertilizer on the growth and yield of *Amaranth* (*Amaranthus hybridus* L.). *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 7(4), 1-8.
- Patil B.S., Wang Q., Hessel V. & Lang J., 2018. Plasma for nitrogen fixation: Process economics and scale-up challenges. *ChemSusChem*, 11(11), 1841-1853.
- Raemaekers R.H., 2001. *Agriculture en Afrique tropicale*. Direction Générale de Coopération Internationale, Bruxelles, pp. 429-433.
- Rouwenhorst K.H., Jardali F., Bogaerts A. & Lefferts L., 2020. From the Birkeland-Eyde process towards energy-efficient plasma-based NO_x synthesis. *Energy & Environmental Science*, 13(11), 4003-4034.
- Rouxel J., 2008. Acide nitrique. *Encyclopaedia Universalis*. [En ligne], consulté le 20 juillet 2023. URL : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/acide-nitrique/>.
- Sarmiento-García A., Olgun O., Kiliç G., Sevim B., Sami A. G.S. et al., 2020. Influence of nitrogen fertilization on the yield and quality of *Amaranthus hybridus* L. in different agro-ecological conditions. *Applied Sciences*, 10(21).
- Shukla S.K., Kumar R., Mishra R.K. & Pandey A., 2021. *Smart Fertilizers: Emerging Technologies for Efficient Nutrient Management*. Springer Nature, 172 p.