



PROGRAMME DE RECHERCHE DU CGIAR SUR LE

**Changement Climatique,
L'agriculture et la
Sécurité Alimentaire**



POLICY BRIEF 11

Novembre 2016

Engrais et développement sobre en carbone en Afrique subsaharienne

Meryl Richards, Martin van Ittersum, Tekalign Mamo, Clare Stirling, Bernard Vanlauwe and Robert Zougmore

Messages clé

- ▶ Les émissions de gaz à effet de serre provenant de l'utilisation des engrais en Afrique subsaharienne sont actuellement faibles en raison de l'application à faibles dosages d'engrais azoté.
- ▶ À mesure que les pays africains commencent à mettre en œuvre leurs contributions déterminées au niveau national à l'Accord de Paris, il est possible d'améliorer la productivité des cultures afin de répondre aux besoins alimentaires futurs tout en continuant efficacement à utiliser les engrais azotés organiques et inorganiques.
- ▶ L'utilisation efficace des engrais à base d'azote nécessite la combinaison d'éléments nutritifs équilibrés et appropriés et de bonnes pratiques agronomiques, telles que l'utilisation de variétés améliorées à haut rendement adaptées aux conditions et besoins locaux, l'application et le recyclage de la matière organique disponible, la collecte d'eau et l'irrigation dans des conditions propices à la sécheresse, et l'application de la chaux sur les sols ayant des problèmes d'acidité.
- ▶ Les politiques pour la gestion de la fertilité des sols dans le contexte des objectifs climatiques doivent tenir compte de la nécessité de :



Photo : G. Smith (CIAT)

- améliorer la disponibilité, l'accès et l'accessibilité financière des intrants nutritifs organiques et inorganiques, ainsi que d'autres intrants importants tels que les variétés à haut rendement ;
- renforcer les capacités de gestion adaptative des nutriments et les meilleures pratiques agronomiques qui soutiennent la productivité des cultures ;
- assurer un accès équitable aux intrants, en particulier pour les femmes et les groupes de personnes vulnérables.

Introduction

De nombreux pays en Afrique ont intégré l'utilisation des engrais, la gestion de la fertilité des sols et les intrants agricoles dans leurs contributions déterminées au niveau national à l'Accord sur le climat de Paris (voir Annexe 1). Bien que les engrais azotés (N) contribuent dans une large mesure aux émissions d'oxyde d'azote (N₂O) à l'échelle mondiale, les émissions des engrais sont encore faibles en Afrique subsaharienne. Au regard des projections des besoins alimentaires futurs en Afrique, il y a lieu d'accroître considérablement les nutriments sur les terres cultivables. Il existe en Afrique une opportunité de satisfaire ces besoins de sécurité alimentaire futurs en utilisant efficacement les engrais azotés (N) (voir Annexes 3 et 4).

Au moment où les pays africains s'apprêtent à mettre en œuvre leurs contributions déterminées au niveau national (CDN) et à affiner leurs stratégies de développement sobre en carbone, il convient de réfléchir de manière holistique au rôle de la gestion des engrais et de la fertilité des sols dans les stratégies d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de leurs effets. La présente note sur les politiques présente les principaux problèmes à prendre en compte au moment où les pays élaborent leurs stratégies spécifiques de gestion de la fertilité des sols en vue d'appuyer la sécurité alimentaire, de s'adapter aux changements climatiques et de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES).

Percer la courbe : une stratégie de gestion de nutriments pour l'Afrique

Dans de nombreuses régions du monde, l'application excessive des engrais azotés (N) a entraîné des dégâts environnementaux, notamment la contamination des eaux souterraines et de surface et les émissions d'oxyde d'azote, de gaz d'ammoniaque, et N₂O, un puissant GES. À l'échelle mondiale, l'agriculture représente 85 % des émissions de N₂O (Smith et al., 2007). La situation est différente en Afrique subsaharienne où l'utilisation des engrais est la plus faible au monde (Chianu et al., 2012). Le taux moyen d'utilisation d'engrais azoté N en 2016 était estimé à 12-15 kg N par hectare, bien que certains pays tels que le Nigeria, l'Éthiopie et le Malawi approchent les 50 kg (Sheahan et Barret, 2014).

Selon les projections des besoins alimentaires futures, l'Afrique devra tripler sa production alimentaire d'ici à 2050 (voir Encadré 1), ce qui nécessitera des augmentations importantes des apports en nutriments sur les terres agricoles (Mueller et al., 2012) parallèlement à une bonne gestion agronomique. La plupart des sols en Afrique sont très dégradés et pauvres en nutriments. Par le passé, la fertilité des sols était traditionnellement gérée au moyen de longues périodes de jachère qui permettaient de restaurer les nutriments prélevés par les cultures. Mais, en raison de l'accroissement de la population et de la pression accrue sur la terre, ces périodes de jachère sont devenues plus brèves ou ces systèmes ont été abandonnés (Dreschel et al., 2001 ; Muyanga et Jayne, 2014). Par conséquent, l'exploitation des nutriments du sol est généralisée, avec un épuisement moyen combiné de l'azote, du phosphore (P) et du potassium (K) de 54 kg par hectare par an en Afrique subsaharienne (Sommer et al., 2013). L'azote (N) est le nutriment le plus limitant pour la production agricole, de nombreux sols agricoles en Afrique subsaharienne souffrent également de carence en P, K, soufre (S) et micronutriments (Sommer et al., 2013), ce qui rend essentiel des apports équilibrés de nutriments.

Cependant, en augmentant les apports de N et d'autres nutriments afin d'accroître la productivité, les agriculteurs doivent veiller à ce que les pays africains ne souffrent pas des conséquences négatives de l'utilisation excessive des engrais dont ont pâti d'autres pays lorsqu'ils se sont industrialisés. Les systèmes historiques de développement agricole montrent que l'efficacité de l'utilisation des nutriments (rendement des cultures par unité d'apport de N baisse, à mesure que les revenus augmentent aux premiers stades du développement agricole national, puis augmentent de nouveau aux étapes de développement plus avancées, avant de se stabiliser enfin à une limite biophysique (Figure 1) (Zhang et al., 2015). Dans la partie inférieure de cette courbe, l'application des nutriments à des fins agricoles, en particulier l'azote, peut dépasser considérablement le niveau nécessaire pour la croissance des cultures, l'excédent étant voué à être perdu dans l'atmosphère et l'eau.

L'opportunité qui s'offre au pays africains dans le cadre de leurs engagements à l'égard des changements climatiques consiste à « percer » la

courbe en passant directement de la production de culture à faible rendement avec une grande (dans bien des cas des niveaux non durablement élevés) efficacité de l'utilisation des nutriments à une production de culture à haut rendement avec une efficacité encore plus élevée de l'utilisation des nutriments (Figure 1). Ceci est assez similaire à l'approche de l'intensification durable, qui met l'accent sur l'amélioration de l'efficacité de la production (Campbell et al., 2014). L'on pourrait penser également que ceci réduit l'intensité des émissions agricoles (émissions par rendement unitaire des cultures ou unité alimentaire) en augmentant les rendements sans accroître les émissions (Bellarby et al., 2014). Un tel changement nécessiterait un saut qualitatif au-delà de l'évolution classique de la gestion agricole en introduisant des pratiques et en soutenant les politiques qui promeuvent une efficacité accrue de l'utilisation des nutriments tout en maintenant les réserves de nutriments du sol à des niveaux souhaitables sur le plan agronomique.

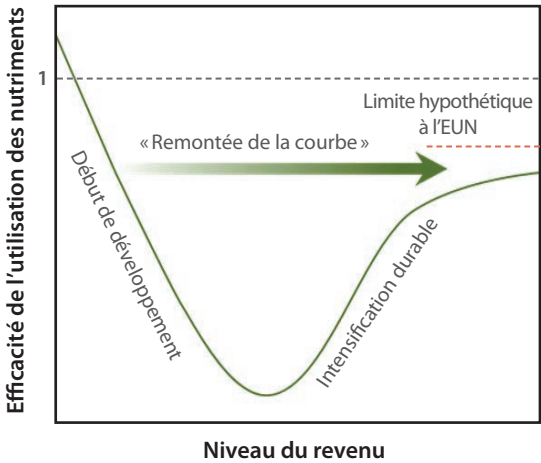


Figure 1. Courbe typique de l'efficacité de l'utilisation des nutriments (EUN) et évolution du niveau de revenu au fil du temps. Une valeur de l'efficacité de l'utilisation des nutriments de 1 signifie qu'il existe un parfait équilibre entre les apports totaux en nutriments et les nutriments extraits des cultures. Étant donné qu'aucun système biologique n'est totalement efficace, la limite hypothétique de l'efficacité de l'utilisation des nutriments est présentée comme étant proche de 1 mais inférieure à 1 (adapté de Zhang et al., 2015).

ENCADRÉ 1 : Le défi de la production alimentaire en Afrique

Le 25 septembre 2015, les pays membres des Nations Unies ont adopté une série d'Objectifs de développement durable (ODD) afin de mettre un terme à la pauvreté et de protéger la planète. Bien que l'action climatique et la consommation et la production responsables figurent parmi les objectifs et soient essentielles pour le bien-être futur, l'objectif de l'éradication de la pauvreté et de la faim (ODD 1 et 2) devrait constituer la priorité. Les stratégies visant à réduire les contributions des systèmes alimentaires aux changements climatiques devraient renforcer ces objectifs.

L'Afrique subsaharienne doit produire trois fois plus de céréales d'ici à 2050 qu'au cours de la période 2005-2007 pour maintenir le niveau actuel d'autosuffisance (environ 80%), en raison de l'accroissement prévue de la population et de l'évolution des régimes alimentaires (Alexandratos et Bruinsma, 2012). La solution de rechange à l'autosuffisance, dans une certaine mesure, consiste à importer massivement des denrées alimentaires, ce qui passe par la croissance économique. Celle-ci, à son tour, est peu probable sans développement agricole (Van Ittersum et al., in press).

Le triplement de la production céréalière nécessiterait que les déficits de rendement – différence entre les rendements potentiels et réels – soient quasi entièrement comblés. Les agronomes utilisent l'expression « potentiel limité par l'eau » pour décrire les rendements maxima des cultures réalisables dans le cadre d'une gestion idéale, limités uniquement par la disponibilité de l'eau. À l'heure actuelle, les rendements moyens réels en Afrique subsaharienne représentent 20-25 % du potentiel limité par l'eau (Figure 2) ; le maintien du niveau actuel d'autosuffisance en termes de production nécessite une augmentation du rendement en le portant à 70% du potentiel limité par l'eau. Le maintien de l'autosuffisance sans combler les déficits de rendement nécessiterait une conversion à grande échelle des terres naturelles, avec des résultats peu souhaitables en termes d'émissions de GES, de biodiversité et de moyens d'existence tributaires de la forêt. Tandis que les forêts africaines ont de tout temps souffert de faibles taux de déforestation liée à l'agriculture (Galford, 2015 ; Rudel, 2013), la satisfaction des besoins alimentaires régionaux en 2050, sans accroître les rendements, nécessiterait la conversion d'environ 80 millions d'hectares de terre supplémentaire en terre agricole (Phalan et al., 2014) — soit environ la taille du Kenya et de l'Ouganda réunis.

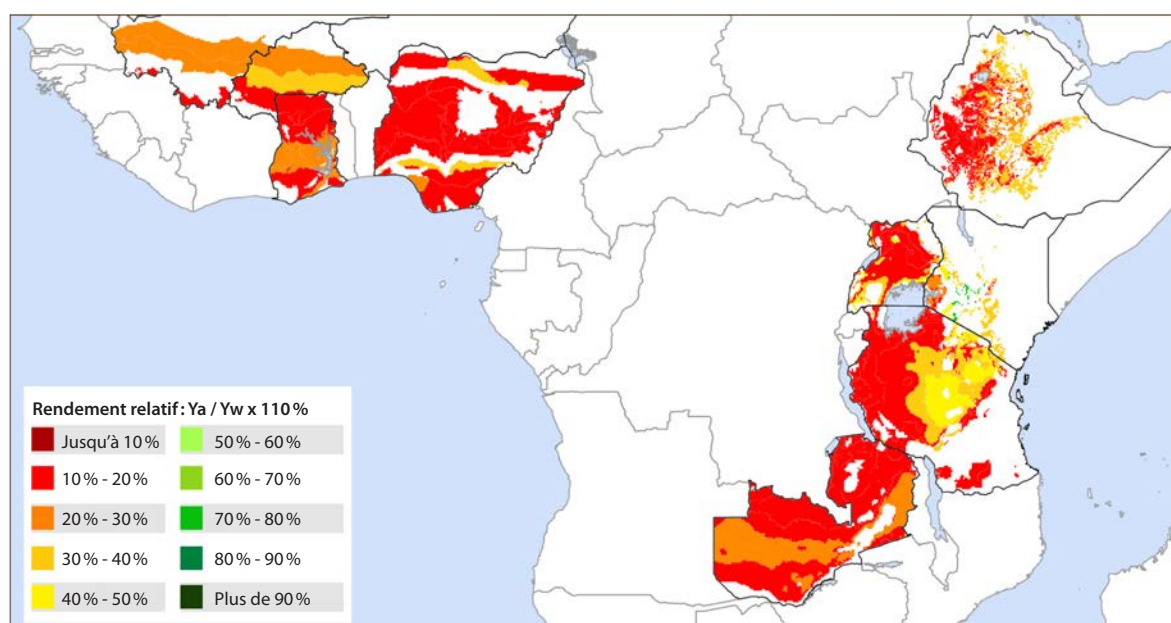


Figure 2. Comblant le déficit de rendement du maïs (les rendements réels du maïs (Ya) comme pourcentage de leur potentiel de rendement limité par l'eau (Yw)) pour les pays d'Afrique subsaharienne occidentale et orientale (données tirées de www.yieldgap.org).

Pratiques pour une efficacité élevée de l'utilisation des nutriments

Avec des taux d'application inférieurs aux besoins du sol et des cultures, les pertes d'azote tout comme de N_2O sont minimales. Dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, les apports d'azote pourraient être absorbés et accroître considérablement les rendements des cultures avec peu de risque immédiat d'accroître, dans une large mesure, les émissions de N_2O . Une étude du phénomène au Kenya est arrivée à la conclusion que les apports en nutriments pour l'accroissement des rendements ont peu d'impact sur les émissions de N_2O si les taux d'application demeurent à 100 kg de N par hectare ou sont inférieurs à ce niveau (Bellarby et al., 2014 ; Hickman et al., 2015).

Cependant, peu de personnes seraient favorables à une recommandation continentale de 100 kg de N par hectare ; les taux d'apports en nutriments appropriés diffèrent considérablement en fonction des types de sol et des besoins des cultures. Par ailleurs, l'azote en soi n'entraînera pas des rendements élevés, en l'absence de bonnes pratiques agronomiques. Des approches souples de la gestion de la fertilité du sol, plutôt que des recommandations générales concernant les engrais, peuvent aider les agriculteurs à faire un usage efficace d'apports équilibrés de nutriments et améliorer le rendement de l'investissement. Les

principes de l'utilisation efficace et efficiente des apports en nutriments sont souvent appelés les « 4R » :

1. utiliser la **bonne** source de nutriments (la bonne composition de nutriments, notamment d'autres que le NPK) ;
2. appliquer au taux **approprié** (selon les critères économiques et l'état de la fertilité des sols) ;
3. au **bon** moment (selon les besoins des cultures et le temps) ; et
4. au **bon** endroit (en ciblant les racines des plantes et en réduisant au minimum les pertes) (voir Annexe 2).

L'atteinte de niveaux élevés d'efficacité de l'utilisation des nutriments nécessite également la combinaison d'une utilisation efficace des apports en nutriments agronomiques afin d'améliorer la productivité des cultures, notamment l'utilisation de variétés améliorées à haut rendement qui sont adaptées aux conditions et besoins locaux, de l'application et du recyclage de la matière organique disponible (résidus de cultures et fumure), de la récolte de l'eau et de l'irrigation en cas de sécheresse, ainsi que de l'application de chaux sur les sols ayant des problèmes d'acidité. Une manière de réfléchir à cette approche intégrée consiste à adopter les paradigmes de la gestion intégrée de la fertilité des sols (Figure 3) (Vanlauwe et al., 2010 ; Roobroeck et al., 2015 ; Zhang et al., 2015).

La matière organique joue un rôle important dans l'amélioration de la productivité et de l'efficacité de l'utilisation des nutriments en fournissant les nutriments des plantes. Cependant, le débat qui a opposé les intrants organiques et les engrais inorganiques en tant que solution de rechange pour appuyer la croissance des cultures constitue une fausse dichotomie. Les engrais inorganiques et les intrants organiques — tels que la fumure des animaux, la fixation de l'azote biologique, les résidus de cultures, et l'engrais vert des légumineuses — jouent des rôles complémentaires dans les écosystèmes agricoles. Les engrais inorganiques apportent des quantités élevées de nutriments directement disponibles nécessaires pour la croissance des plantes, tandis que les ressources organiques apportent également du carbone — un ingrédient essentiel pour les sols sains — ainsi que d'autres nutriments. Les intrants organiques jouent un rôle important dans l'amélioration de l'efficacité de l'utilisation des engrais inorganiques et lorsque l'on les combine aux meilleures pratiques agronomiques, ils peuvent aider à améliorer la structure et la fertilité du sol. L'application combinée de tout ceci offre souvent des avantages supplémentaires. Par exemple, dans les situations de sécheresse, le fait de laisser les résidus de cultures comme du paillis peut alléger la pénurie d'eau et le stress lié aux températures élevées et permettre aux cultures d'absorber plus facilement les nutriments des engrais inorganiques (Zougmore et al., 2003 ; Thierfelder et al., 2013).

Cependant, les intrants organiques ne sont pas toujours disponibles en quantité ou en qualité suffisante pour améliorer — et mieux, accroître —

la productivité des cultures en Afrique subsaharienne (Vanlauwe et Giller, 2006). La production d'intrants organiques elle-même dépend d'apports suffisants en nutriments (autrement, les réserves du sol s'épuisent), et les engrais inorganiques sont souvent nécessaires pour accélérer la restauration du sol en rétablissant la productivité de la biomasse et les apports de carbone dans le sol (Tittonell et al., 2008). L'accroissement de la productivité des cultures se traduit également par une disponibilité accrue de résidus de cultures qui peuvent ensuite être recyclés directement comme fumure pour accroître les stocks de carbone de sol, une autre stratégie d'atténuation importante, qui est par ailleurs, au cœur de l'initiative « 4 pour mille » lancée récemment et pilotée par le Gouvernement français (Koch et al., 2015). Une stratégie de gestion rationnelle des nutriments devrait, par conséquent, utiliser de manière optimale la matière organique disponible au niveau local, et faire un usage judicieux et équilibré des engrais inorganiques (Vanlauwe et al., 2010 ; Roobroeck et al., 2015).

Un certain nombre de techniques de pointe liées aux engrais peuvent également réduire les pertes de nutriments et accroître l'efficacité, notamment une libération lente et contrôlée des engrais, la fertigation (utilisation des engrais solubles dans l'eau d'irrigation), et les engrais biologiques (traitements des semences avec les organismes vivants qui fixent l'azote ou, autrement, améliorent la disponibilité des nutriments pour la plante). De telles techniques peuvent devenir pertinentes à mesure que l'agriculture africaine se développe et que l'utilisation des engrais inorganiques devient plus généralisée. Toutefois, elles sont trop onéreuses, à l'heure actuelle, pour être attrayantes pour les producteurs africains, hormis éventuellement des engrais biologiques.



Photo : N. Palmer (CIAT)

ENCADRÉ 2 : Le passage aux engrais organiques constitue-t-il une option d'atténuation des changements climatiques ?

Les émissions des apports en azote organique ne sont pas inférieures à celles des engrais inorganiques. L'azote tiré des légumineuses, par exemple une fois converti sous forme inorganique dans le sol ne peut être distingué de l'azote tiré des engrais inorganiques (Rosenstock et al., 2014) et, sous réserve des mêmes mécanismes, pour la perte de NO. Il en va de même pour la fumure, qui peut avoir des émissions supplémentaires (méthane, par exemple mais également NO) liées au stockage et à l'application. La substitution des engrais inorganiques par les engrais organiques n'offre pas nécessairement une opportunité de réduire les émissions de NO (Bos et al. in press). En utilisant l'approche du cycle de vie, cependant, les intrants sous forme d'azote organique produit dans l'exploitation peuvent avoir des émissions plus faibles dues à la production et au transport que celles des engrais inorganiques.

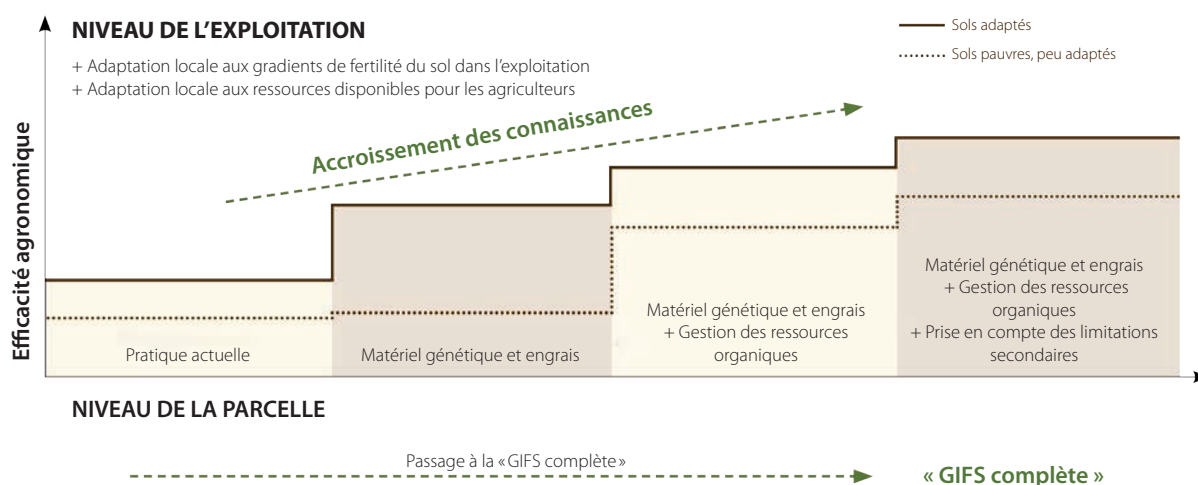


Figure 3. Relation conceptuelle entre l'efficacité agronomique des engrais et des ressources organiques et la mise en œuvre des différentes composantes de la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS), débouchant sur une GIFS complète vers la partie droite du graphique. Les sols adaptés aux engrais à base de NPK (en général, ceux qui contiennent déjà suffisamment de matière organique) et ceux qui sont pauvres et moins adaptés (en raison d'autres contraintes, outre les nutriments contenus dans les engrais) font l'objet d'une distinction. L'étape de la « pratique actuelle » suppose l'utilisation du taux moyen actuel d'application des engrais en Afrique subsaharienne (Vanlauwe et al., 2010).

Options politiques de gestion des nutriments dans le contexte des objectifs des CDN

Les engagements des pays, pris individuellement, doivent accorder la priorité aux pratiques agricoles durables qui assurent un équilibre entre le besoins d'accroître la nourriture tout en réduisant les émissions de GES, dans le but de mettre en place un système agricole à haut rendement qui utilise les engrais de manière efficace. Pour ce faire, les politiques de gestion de la fertilité des sols dans le cadre des objectifs des CDN pourraient envisager la nécessité de prendre les dispositions ci-après.

► **Renforcement des capacités en matière de gestion adaptée des nutriments.**

L'accroissement des rendements des cultures, tout en maintenant un niveau élevé d'efficacité de l'utilisation des nutriments, nécessite le renforcement des capacités, qui va au-delà des recommandations générales concernant les engrais. La formation peut conférer aux vulgarisateurs et aux producteurs les compétences en matière de bonnes pratiques de gestion de la fertilité

des sols s'articulant au tour de la gestion intégrée de la fertilité des sols et des « 4R » et promouvoir les pratiques locales efficaces. La base d'une gestion efficace des nutriments est la compréhension d'un état de fertilité donné. Lorsque les tests pédologiques ne sont pas disponibles, de simples indicateurs visuels (notamment les diagrammes de la couleur des feuilles) peuvent être utiles. La sensibilisation des acteurs de la chaîne de valeur peut également aider à éviter la pollution et la dégradation des sols due à la manutention et l'utilisation inappropriée des engrais.

► **Appuyer les apports équilibrés en nutriments.**

Afin d'améliorer la réponse aux engrais et l'efficacité de l'utilisation, les recommandations relatives aux engrais doivent prendre en compte les déséquilibres, non seulement concernant l'azote, le phosphore et le potassium, mais également pour d'autres nutriments tels que le soufre (S) et les micronutriments dont les déficits sont de plus en plus généralisés en Afrique. L'application équilibrée des engrais devrait

faire partie intégrante d'une stratégie globale de gestion intégrée de la fertilité des sols, y compris les intrants organiques pour compléter l'utilisation des engrais inorganiques et le chaulage.

- **Accès renforcé et équitable aux nutriments sous forme d'intrants.** Des politiques et un appui structurels ciblés et bien conçus sont nécessaires pour améliorer la disponibilité, l'accessibilité et l'abordabilité des nutriments — tant organiques qu'inorganiques. Pour les intrants organiques, le pays ferait mieux d'étudier une gamme de sources potentielles, depuis les arbres fixateurs d'azote jusqu'au compostage de fumure, tout en envisageant la disponibilité de terres et de main-d'œuvre pour la production et l'utilisation de ces intrants. Ceux-ci doivent aller la main dans la main avec l'amélioration de l'accès au marché et d'autres intrants agricoles, notamment les engrais inorganiques et les semences.
- **Mettre l'accent sur les liens institutionnels et l'équité sociale.** Les femmes jouent un rôle primordial dans l'agriculture, mais ont souvent peu de pouvoir décisionnel, ainsi qu'un accès limité aux engrais et une faible utilisation de ceux-ci. Les politiques et programmes doivent être conçus de manière à veiller à ce que les femmes aient davantage d'opportunité de tirer parti de la formation, du commerce et de l'utilisation d'intrants et des technologies afin d'améliorer les rendements et l'efficacité de l'utilisation des nutriments. Ceci pourrait nécessiter, par exemple, la collaboration avec les fournisseurs d'intrants afin de les aider à élaborer des stratégies commerciales adaptées à leurs besoins (Farnworth et al., 2015) ou des efforts en vue de veiller à ce que les ménages dirigés par une femme aient un accès égal à des coupons de subvention d'intrants (Chirwa et al., 2011).
- **Assurer la surveillance des intensités d'émissions de GES parallèlement aux émissions.** Pour être importants, la surveillance et les buts doivent tenir compte de l'intensité des émissions de GES dues à l'utilisation des engrais, parallèlement aux émissions absolues, pour prendre en compte la nécessité d'accroître la production tout en veillant à ce que la croissance se fasse de manière efficace et plus durable. L'intensité des émissions s'obtient en divisant les émissions dues à l'utilisation des engrais pour une culture donnée par le rendement de la culture.

Références

- Alexandratos N and Bruinsma J. 2012. *World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision*. ESA Working paper No. 12-03. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Bellarby J, Stirling C, Vetter SH, Kassie M, Kanampiu F, Sonder K, Smith P, Hillier J. 2014. Identifying secure and low carbon food production practices: A case study in Kenya and Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 197:137–146.
- Bos JFFP, ten Berge HFM, Verhagen J, van Ittersum MK. in press. Trade-offs in soil fertility management on arable farms. *Agricultural Systems*, in press.
- Campbell BM, Thornton P, Zougmore R, van Asten P and Lipper L. 2014. Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? *Current Opinion in Environmental Sustainability* 8:39-43.
- Chianu JN, Chianu JN, Mairura F. 2012. Mineral fertilizers in the farming systems of sub-Saharan Africa. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 32:545–566.
- Chirwa EW, Mvula PM, Dorward A. 2011. *Gender and Intra-Household Use of Fertilizers in the Malawi Farm Input Subsidy Programme*. Future Agricultures Working Paper. Sussex, UK: Future Agricultures.
- Crain J, Ortiz-Monasterio I, Raun B. 2012. Evaluation of a reduced cost active NDVI sensor for crop nutrient management. *Journal of Sensors* 2012:582028.
- Dreschel P, Gyiele L, Kunze D, Cofie O. 2001. Population density, soil nutrient depletion, and economic growth in sub-Saharan Africa. *Ecological Economics* 38(2):251-258.
- Farnworth CR, Baudron F, Andersson JA, Misiko M, Badstue L, Stirling CM. 2015. Gender and conservation agriculture in East and Southern Africa: towards a research agenda. *International Journal of Agricultural Sustainability* 14:142– 165.
- Federal Democratic Republic of Ethiopia. 2010. *Ethiopia's Climate-Resilient Green Economy Green economy (CRGE) strategy*. Addis Ababa, Ethiopia. 68p.
- Galford, GL, Soares-Filho BS, Sonter LJ, Laporte N. 2015. Will Passive Protection Save Congo Forests?. *PloS one* 10(6):e0128473.
- Hickman JE, Tully KL, Groffman PM, Diru W, Palm CA. 2015. A potential tipping point in tropical agriculture: Avoiding rapid increases in nitrous oxide fluxes from agricultural intensification in Kenya. *Journal of Geophysical Research Biogeosciences* 120:1–14.
- Koch A, McBratney A, Minasny B. 2015. 4 per 1000 - Soil Carbon to Mitigate Climate Change. *Global Policy* 6(4).
- Mueller ND, Gerber JS, Johnston M, Ray DK, Ramankutty N, Foley JA. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management. *Nature* 490:254–257.
- Muyanga M, Jayne TS. 2014. Effects of rising rural population density on smallholder agriculture in Kenya. *Food Policy* 14:98-113
- Phalan B, Green R, Balmford A. 2014. Closing yield gaps: perils and possibilities for biodiversity conservation. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 369:20120285.
- Roobroeck D, van Asten P, Jama B, Harawa R, Vanlauwe B. 2015. *Integrated Soil Fertility Management: Contributions of framework and practices to climate-smart agriculture*. Climate-Smart Agriculture Practice Brief. Copenhagen, Denmark: CGIAR Research

Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).

Rosenstock T, Tully K, Arias-Navarro C, Neufeldt H, Butterbach-Bahl K, Verchot L. 2014. Agroforestry with N₂-fixing trees: sustainable development's friend or foe? Current Opinion in Environmental Sustainability 6:15–21.

Rudel TK. 2013. The national determinants of deforestation in sub-Saharan Africa. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences* 368:20120405.

Sheahan M, Barrett CB. 2014. *Understanding the agricultural input landscape in Sub-Saharan Africa: recent plot, household, and community-level evidence*. Policy Research working paper no. WPS 7014. Washington, DC: World Bank Group. Available at: <http://bit.ly/2fzfQz9>

Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O. 2007. Agriculture. In: Metz B, OR. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Sommer R, Bossio D, Desta L, Dimes J, Kihara J, Koala S, Mango N, Rodriguez D, Thierfelder C, Winowiecki L. 2013. *Profitable and sustainable nutrient management systems for East and Southern African smallholder farming systems: challenges and opportunities: a synthesis of the Eastern and Southern Africa situation in terms of past experiences, present and future opportunities in promoting nutrients use in Africa*. Cali (Colombia): CIAT. The University of Queensland. QAAFI. CIMMYT.

Tittonell P and Giller KE. 2013. When yield gaps are poverty traps: The paradigm of ecological intensification in African smallholder agriculture. *Field Crops Research* 143:76-90.

Thierfelder C, Rusinamhodzi L, Ngwira AR, Mupangwa W, Nyagumbo I, Kassie GT and Cairns JE. 2013. Conservation agriculture in Southern Africa: Advances in knowledge. *Renewable Agriculture and Food Systems* 31(5): 414–428.

Van Ittersum M, Van Bussel W et al. In press. Can sub-Saharan Africa feed itself? In press at Proceedings of the National Academy of Sciences.

Verhulst N, Govaerts B, Sayre KD, Deckers J, Francois IM, Dendooven L, François IM. 2008. Using NDVI and soil quality analysis to assess influence of agronomic management on within-plot spatial variability and factors limiting production. *Plant and Soil* 317:41–59.

Vanlauwe B, Chianu J, Giller KE, Merckx R, Mokwunye U, Pypers P, Shepherd K, Smaling E, Woomer PL, Sanginga N. 2010. *Integrated soil fertility management: operational definition and consequences for implementation and dissemination*. Brisbane, Australia: 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World.

Vanlauwe B and Giller K. 2006. Popular myths around soil fertility management in sub-Saharan Africa. *Agriculture Ecosystems & Environment* 116:34–46.

Zhang X, Davidson EA, Mauzerall DL, Searchinger TD, Dumas P, Shen Y. 2015. Managing nitrogen for sustainable development. *Nature* 528:51–59.

Zougmore R, Kambou NF, Zida Z. 2003. Role of nutrient amendments in the success of half-moon soil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. *Soil Tillage Research* 71: 143-149.

Le Programme de recherche du CGIAR sur le changement climatique, l'agriculture et la sécurité alimentaire (CCAFS) est un partenariat stratégique entre le CGIAR et Future Earth piloté par le Centre international d'agriculture tropicale (CIAT). Les points de vue exprimés dans ce document ne peuvent être considérés comme reflétant la position officielle du CGIAR, de Future Earth ou de leurs bailleurs de fonds.

Remerciements

Les auteurs se félicitent des contributions apportées à cette note par les personnes suivantes : Charlotte Hebebrand, International Fertilizer Association, Patrick Heffer, International Fertilizer Association LiniWollenberg, Programme de Recherche du CGIAR sur le Changement Climatique, l'Agriculture et la Sécurité Alimentaire

Contacts

CCAFS Coordinating Unit – Faculty of Science, Department of Plant and Environmental Sciences, University of Copenhagen, Rolighedsvej 21, DK-1958 Frederiksberg C, Denmark. Tél: +45 35331046 ; Email: ccaafs@cgiar.org

ISSN : 1904-903X

Citation correcte

Richards M, van Ittersum M, Mamo T, Stirling C, Vanlauwe B, Zougmore R. 2016. *Engrais et développement des faibles émissions de gaz en Afrique subsaharienne*. CCAFS Policy Brief no. 11. Copenhagen, Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change and Food Security (CCAFS). Disponible en ligne sur : www.ccaafs.cgiar.org

© 2016 CCAFS. Ceci est un document d'accès libre dont la distribution est régie par les dispositions de la Creative Commons Attribution License, qui autorise son usage, sa distribution et sa reproduction illimités par tout moyen, à condition d'en citer l'auteur et la source initiaux.

Produit en partenariat avec :



Recherche financée par :

