Efficience d'utilisation de l'azote par trois phénotypes de riz (*Oryza sativa*, L.) sur la ferme expérimentale de Mauger, Vallée de l'Artibonite

P. Duvivier[1], J. S. Antoine[2], D. Joseph[3], M. E. Alphonse[4] et F. Jean Baptiste[5]. [1]Département de Phytotechnie, Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV), Université d'Etat d'Haïti (UEH), [2]Programme de Mitigation des Désastres Naturels (PMDN), [3]Direction des Sols et Forets (DSF), [4]Direction de Recherche et de Documentation Agricole (DRA), [5]programme de gestion rationnelle de la fertilisation (PGRF), Ministère de l'Agriculture des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR)

RESUME

Duvivier, P., Antoine J. S., Joseph D., Alphonse M. E. et Jean Baptiste F. 2016. Efficience d'utilisation de l'azote par trois phénotypes de riz (*Oryza sativa*, L.) sur la Ferme de Mauger, Vallée de l'Artibonite, Haïti. RED 7 (2) : 3 - 10

Des études antérieures ont rapporté que les rendements du riz (*Oryza sativa*, L.) dans la Vallée de l'Artibonite n'augmentent pas avec l'augmentation des doses d'azote appliquées au-delà de 75 kg/ha et ont fait mention de surfertilisation azotée dans les rizières. Le présent travail a été réalisé pour déterminer l'efficience d'utilisation de l'azote appliqué par trois phénotypes de riz: variété Crête-à-Pierrot (CAP), variété TCS-10 et Lignée L1 soumis à trois doses d'azote (50, 75 et 100 kg/ha). Une expérience en parcelles divisées avec dose d'azote comme facteur principal et phénotype de riz comme facteur secondaire a été réalisée dans un dispositif en blocs complets aléatoires avec trois répétitions. L'urée ordinaire et le 20-20-10 ont été utilisés comme sources principales d'azote et l'urée enrichie à 5 % d'azote marqué N^{15} a été utilisée comme traceur. A maturité, après avoir déterminé la biomasse par gravimétrie et l'excès d'azote marqué N^{15} dans les plantes par spectrométrie de masse, le pourcentage d'azote dans les plantes dérivé de l'engrais appliqué et le taux d'assimilation de l'azote appliqué ont été calculés. Le taux d'assimilation de l'azote appliqué (efficience d'utilisation de l'azote appliqué), a varié non significativement entre les phénotypes, avec 17.24% pour TCS-10, 19.96% pour CAP et 20.13% pour L1. Il a varié non significativement entre les doses 75 et 100 kg d'azote appliquées, avec 15.62%, 14.59%, respectivement. Cependant, il a été significativement plus élevé pour la dose 50 kg/ha (28.89%) par rapport aux deux autres. Ces résultats montrent que la fertilisation azotée minérale n'est pas le facteur limitant du rendement du riz dans la zone d'étude et confirme l'hypothèse de la surfertilisation. Ainsi, il est recommandé une modération de la fertilisation azotée minérale.

Mots clés: dose d'azote, phénotype de riz, surfertilisation, taux d'assimilation de l'azote

ABSTRACT

Duvivier P., Antoine J. S., Joseph D., Alphonse M. E. and Jean Baptiste F. 2016. Nitrogen use efficiency by three rice (*Oryza sativa*, L.) phenotypes on Mauger Farm, Artibonite Valley, Haiti. RED 7 (2) : 3 - 10

Previous studies have reported that rice (*Oryza sativa* L.) yields in Artibonite Valley did not increase with increasing doses of nitrogen applied beyond 75 kg / ha and have mentioned overdoses of nitrogen in paddy fields. This work was conducted to determine the applied nitrogen use efficiency applied by three phenotypes of rice: Crete a Pierrot (CAP) variety, TCS-10 variety and L1 Line submitted to three nitrogen rates (50, 75 and 100 kg / ha). A split plot experiment with nitrogen rates as main factor and rice phenotypes as secondary factor was carried out in a randomized complete block design with three replications. Ternary 20-20-10 fertilizer and ordinary urea were used as major sources of nitrogen and urea enriched with 5% labeled N15 nitrogen was used as tracer. At maturity, after determining biomass by gravimetric techniques and excess labeled N15 nitrogen in plants by mass spectrometry, the percentage of nitrogen in plants derived from the fertilizer and the rate of assimilation of applied nitrogen were calculated. The applied nitrogen assimilation rate (applied nitrogen use efficiency) varied non-significantly among phenotypes, with 17.24% for TCS-10, 19.96% for CAP, and 20.13% for L1. It varied non-significantly between the doses 75 and 100 kg/ha of applied nitrogen, with 15.62% and 14.59%, respectively. However, it was significantly higher for the dosis 50 kg / ha (28.89%) compared to the other two. These results show that the mineral nitrogen fertilization is not the limiting factor for rice yield in the study area and confirms the hypothesis of over-fertilization. Thus, we recommend a moderation of mineral nitrogen fertilization.

Keywords: nitrogen dose, rice phenotype, over-fertilization, nitrogen assimilation rate

Introduction

La Vallée de l'Artibonite a longtemps été considérée comme le grenier d'Haïti en ce qui a trait à la production rizicole. En effet, 80% du riz haïtien est produit dans cette zone sur une superficie de 32000 ha irrigués (14), caractérisés essentiellement par la monoculture du riz sur des sols pauvres en matière organique (16). L'utilisation quasi exclusive des engrais minéraux par les riziculteurs, le brûlis ou l'exportation des résidus culturaux sans mesures de restitution entrainent une baisse du taux de matière organique dans le sol (1). Par ailleurs, aujourd'hui, le riz national ne compte que pour 20% du riz total consommé en Haïti (14). La différence est comblée par des importations entrainant une importante fuite de devises. Il importe donc d'augmenter la production nationale pour augmenter les revenus des producteurs locaux, améliorer le statut de la sécurité alimentaire et réduire la facture des importations.

L'un des principaux axes sur lesquels agissent les acteurs concernés est la fertilisation. Ainsi, depuis la fin des années 90s, les autorités du Ministère de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR) ont accordé des subventions à l'achat des engrais minéraux dont la consommation est passée de 15 000 tonnes entre 2004 et 2008 à 32 000 tonnes entre 2008 et 2009, puis à 50 000 tonnes en 2011 (15). La plus grande partie est utilisée dans la Vallée de l'Artibonite (2). En riziculture, le facteur qui contrôle le plus le rendement est l'azote (3). Avec l'augmentation de la consommation des engrais, le rendement-grain est passé de 2.9 t/ha (8) à 3.5 t/ha (12, 13). Cependant, les rendements obtenus restent au-dessous du potentiel des variétés.

En effet, dans le souci d'apporter une réponse au problème de faibles rendements constatés, plusieurs

essais ont été conduits dans l'Artibonite en vue de tester la réponse à la fertilisation azotée, phosphatée et potassique des variétés de riz les plus cultivées par les agriculteurs. Les résultats générés ont prouvé que des rendements élevés, jusqu'à 6 tonnes/ha de paddy, peuvent être obtenus dans les conditions de culture de la Vallée de l'Artibonite avec des doses d'engrais n'excédant pas 115 kg/haN + 30 kg/ha P_2O_5 + 14 kg/ha K_2O (6). Or, les riziculteurs de l'Artibonite obtiennent un rendement moyen de 3.5 tonnes/ha en utilisant des doses d'engrais environ deux fois supérieures à celles utilisées dans les expérimentations scientifiques (6). Par ailleurs, des travaux de recherche sur la réponse du riz, variété TCS-10, à la fertilisation azotée dans la Vallée de l'Artibonite ont montré qu'il n'y a pas d'augmentation du rendement-grain au-delà de 75 kg/ha d'azote (13; 17). Les auteurs ont recommandé que les agriculteurs n'utilisent pas des doses d'azote supérieures à 75 kg/ha. Les recommandations n'ont pas été vulgarisées et les agriculteurs continuent d'appliquer des doses d'azote allant jusqu'à 150 kg/ha ou plus.

Or, le riz n'assimile pas l'azote de manière proportionnelle à la dose apportée ; il y a une diminution de l'efficience d'utilisation de cet élément au fur et à mesure que les doses appliquées augmentent (20). Des études réalisées à l'Estère et à Bocozelle sur la variété de riz TCS-10 en 2008 ont montré que seulement 10 % de l'azote appliqué a été absorbé (19). Les doses élevées utilisées par les agriculteurs posent un problème d'ordre économique dans la mesure où le producteur dépense plus pour l'achat des engrais azotés. Elle pose aussi un problème d'ordre environnemental parce que les engrais azotés sont sensibles aux pertes après leur application. La riziculture est un facteur important dans les émissions gazeuses de NH_3, de N_2O et de CH_4 vers l'atmosphère (19), contribuant ainsi au réchauffement climatique global par l'augmentation des gaz à l'effet de serre. Elle contribue également à la pollution des nappes par lixiviation des nitrates si les conditions de perméabilité du sol le permettent. Les pertes peuvent atteindre 60 % en moyenne et l'efficacité de prélèvement de l'azote est moins de 30 % (5). Il faut donc une gestion raisonnée de la fertilisation azotée pour une efficience d'utilisation maximale des apports sans conséquences néfastes sur l'environnement.

Cette étude a été réalisée dans le but de générer des informations devant contribuer à cette gestion raisonnée de la fertilisation azotée. Elle a eu pour objectifs spécifiques de : 1) Déterminer la production de biomasse et le rendement-grain des trois phénotypes de riz ; 2) Déterminer l'effet de trois doses d'azote sur la production de biomasse et le rendement /-grain; 3) Déterminer le taux d'assimilation de l'azote appliqué (efficience d'utilisation de l'azote).

Il s'agissait de trouver réponses à trois questions que soulèvent le manque d'adéquation entre les doses d'azote appliquées par les agriculteurs et les rendements obtenus : a) Les différents phénotypes de riz cultivés dans la Vallée de l'Artibonite répondent-ils de façon différente à la fertilisation azotée en termes de rendement-grain et de biomasse ? b) L'augmentation de la dose d'azote entraine-t-elle une augmentation de la production de biomasse à l'hectare sans affecter le rendement-grain? c) L'azote appliqué n'est-il pas efficacement utilisé par la culture ?

Le fait par les agriculteurs de continuer d'utiliser des doses d'azote élevées alors que la littérature rapporte un taux d'utilisation d'environ 10% de l'azote appliqué suggère trois hypothèses, non complémentaires : a) Les agriculteurs sont rationnels ; les différents phénotypes de riz cultivés répondent différemment à la fertilisation azotée dans des zones différentes en termes de rendement-grain ; b) une augmentation de la dose d'azote entraine une augmentation de la production de biomasse à l'hectare sans augmentation du rendement-grain, mais les agriculteurs n'en sont pas conscients parce qu'ils valorisent très peu les résidus de culture ; c) il y a effectivement sur-fertilisation azotée ; l'azote appliqué n'est pas utilisé efficacement par la culture.

Matériels et méthodes

Matériels

L'expérimentation a été conduite dans la Vallée de l'Artibonite, plus spécifiquement sur la Ferme de Mauger sur trois phénotype de riz : les variétés TCS-10 et Crête-à-Pierrot (CAP) et la Lignée L1. La TCS-10 est la variété la plus cultivée dans la vallée. CAP est aussi une variété populaire. La lignée L1 a été récemment mise à la disposition du MARNDR par l'Association pour le Développement du Riz en Afrique de l'Ouest (ADRAO) à travers l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). Les plantules ont été produites en pépinière dans des bacs en matière plastique de 40 cm x 25 cm x 15 cm. Ces bacs ont été remplis avec de la terre tamisée et arrosés avec de l'eau ordinaire. Les semences préalablement pré-germées ont été semées dans des sillons peu profonds, puis recouvertes d'une mince couche de terreau. La durée du séjour des plantules en pépinière a été de 22 jours. L'engrais ternaire 20-20-10 et l'urée ordinaire 46 % ont été utilisés comme sources principales d'azote. L'urée 46% enrichie en N^{15} à 5 % a été utilisée comme traceur.

Dispositif expérimental

Les doses d'azote et les phénotypes de riz ont été arrangés dans une expérience en parcelles divisées avec dose d'azote comme facteur principal et phénotype de riz comme facteur secondaire. Les trois doses d'azote ont été distribuées dans un dispositif en trois blocs complets aléatoires.

Chaque unité expérimentale a été subdivisée en trois sous-unités dans lesquelles les trois phénotypes de riz ont été assignés. Chaque sous-unité a consisté en une parcelle de

3.2 m x 3.5 m. Les sous parcelles voisines ont été séparées les unes des autres par un espace inter parcellaire de 2.5 m dans lequel ont été aménagés : une digue centrale de 0.8 m de large, un drain de 0.5 m de large, un canal de 0.5 m de large pour l'alimentation en eau des sous-unités expérimentales et deux diguettes de 0.35 m de large, chacune, servant de bordure aux sous-unités expérimentales.

Procédure expérimentale

Avant la mise en place de l'essai, le sol a été labouré, puis hersé avec un motoculteur. Ensuite, le terrain a été nivelé, puis tracé avec une rayonneuse en deux sens (Nord-Sud et Est-Ouest). Des digues et des canaux d'irrigation et de drainage ont été aménagés. Le repiquage se faisait à la main en suivant un tracé préalablement effectué à l'aide d'une rayonneuse à raison de 25 cm de distance entre les lignes et sur les lignes. Les plantules de riz ont été repiquées à raison de trois brins par touffe à 25 cm x 25 cm dans les intersections des lignes.

Trois doses d'azote ont été testées : 50, 75 et 100 kg/ha. Les doses de phosphore et de potassium ont été maintenues fixes (30 kg/ha de P et 15 kg/ha K). L'équivalent de 150 kg/ha (168 g /11.2 m^2) d'engrais ternaire 20-20-10 correspondant à 30 kg/ha N, 30 kg/ha de $P_2 0_5$ et 15 kg/ha de $K_2 0$ a été appliqué à toutes les sous-unités expérimentales en un seul apport au 28ème jour après repiquage. Pour compléter la quantité d'azote à appliquer dans chaque parcelle pour une dose donnée, 2000 g d'urée ordinaire et 1000 g d'urée enrichie en N^{15} à 5 % ont été mélangés, donnant un produit avec un pourcentage d'enrichissement de 1,67 % de N^{15}. L'urée a été appliquée aux stades suivants : 28 jours après repiquage (30% de la dose totale); 42 jours après repiquage (40 % de la dose totale) et 56 jours après repiquage (30% de la dose totale).

Tenant compte des 30 kg/ha d'azote apportés par le 20-20-10 à toutes les unités expérimentales et de la quantité du mélange 2 :1 d'urée ordinaire et d'urée enrichie à 5% N^{15}, il s'en est suivi que le N^{15} en excès a été de 0.67, 1 et 1.17% dans l'engrais appliqué dans les traitements 50, 75 et 100 kg/ha, respectivement (Tableau 1).

Tableau 1. Enrichissement en azote N^{15} pour les différentes doses appliquées

Doses d'azote (kg/ha)	Azote dans 20-20-10 (kg/ha)	Azote dans mélange 2 :1 urée ordinaire et urée enrichie (kg/ha)	% N^{15} en excès
50	30	20	0.67
75	30	45	1.00
100	30	70	1.17

L'irrigation a été faite régulièrement pour qu'une lame d'eau de 3 à 4 cm puisse être maintenue durant toute la phase végétative. A partir de la phase reproductive, il y a eu des alternances d'arrosage (5 jours) et d'assèchement (2 jours). Les mauvaises herbes ont été arrachées à la main et un binage a été réalisé deux jours avant chaque fertilisation. Une aspersion insecticide au Celcron a été réalisée le 38ème jour après repiquage pour lutter contre des punaises.

Mesure de la biomasse et de la teneur en azote

Un petit carré de 1m x 1m a été délimité à l'intérieur de chaque sous-unité expérimentale afin de faire des observations et mesures. Les observations et les mesures ont porté sur 16 touffes de riz à l'intérieur de chaque carré. A la récolte, des échantillons de racines, tiges, feuilles et graines ont été prélevés. Ces échantillons ont été séchés au soleil durant trois jours, pesés puis réduits en poudre fine (diamètre de particule < 1 mm) dans un moulin de laboratoire. De chaque échantillon ainsi préparé, un sous-échantillon de 5 g a été utilisé pour déterminer le pourcentage de matière sèche (MS) par la méthode thermogravimétrique. La biomasse totale a été calculée en additionnant les biomasses des différents organes. Un sous-échantillon de 200 g a été envoyé aux Laboratoires de Seibersdorf de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) en Autriche pour la détermination de la teneur en azote et de l'abondance de l'azote N^{15} par spectrométrie de masse. Cette méthode basée sur l'utilisation d'isotopes est l'un des moyens directs de mesurer la quantité de nutriment prélevée par une culture dans un engrais (9).

Détermination de la quantité d'azote assimilée par la culture

La quantité d'azote total exportée par la culture à l'hectare a été obtenue en multipliant la quantité de matière sèche en kg/ha par la teneur en azote (%N) des échantillons : N total (kg/ha) = MS*%N.

Détermination du pourcentage d'azote assimilé par la culture dérivé de l'engrais appliqué

Le ratio isotopique de l'azote, c'est-à-dire le rapport N^{15}/N^{14} en pourcentage dans les échantillons de plante a été mesuré directement par spectrométrie de masse aux Laboratoires de l'Agence Internationale d'Energie Atomique (IAEA) à Vienne (Autriche). L'abondance naturelle de N^{15} étant 0.366% contre 99.634% de N^{14} (9), le pourcentage d'atome de N^{15} en excès (% N^{15} e) ou l'enrichissement en N^{15} dans les échantillons de plante a été déterminé par soustraction de 0.336% de l'abondance de N^{15} dans les échantillons de plantes. Le pourcentage d'azote dans les échantillons de plantes dérivé de l'engrais appliqué (% N d. e.) a été calculé en divisant le pourcentage N^{15} en excès dans les plantes par le pourcentage d'azote N^{15} en excès dans l'engrais et en multipliant le résultat par 100, comme indiqué dans l'équation suivante : %N d. e = (% N^{15} e dans la plante/ % N^{15} e dans l'engrais)*100.

Détermination du taux d'assimilation de l'engrais appliqué ou efficience d'utilisation de l'engrais appliqué

La quantité d'azote exportée par la culture dérivée de l'engrais appliqué (N d. e. en kg/ha) a été obtenue en multipliant le pourcentage d'azote dans les échantillons de plantes dérivé de l'engrais appliqué par la quantité totale d'azote exportée par la culture à l'hectare.

N d. e. (kg/ha) = N total (kg/ha) X % N d. e.

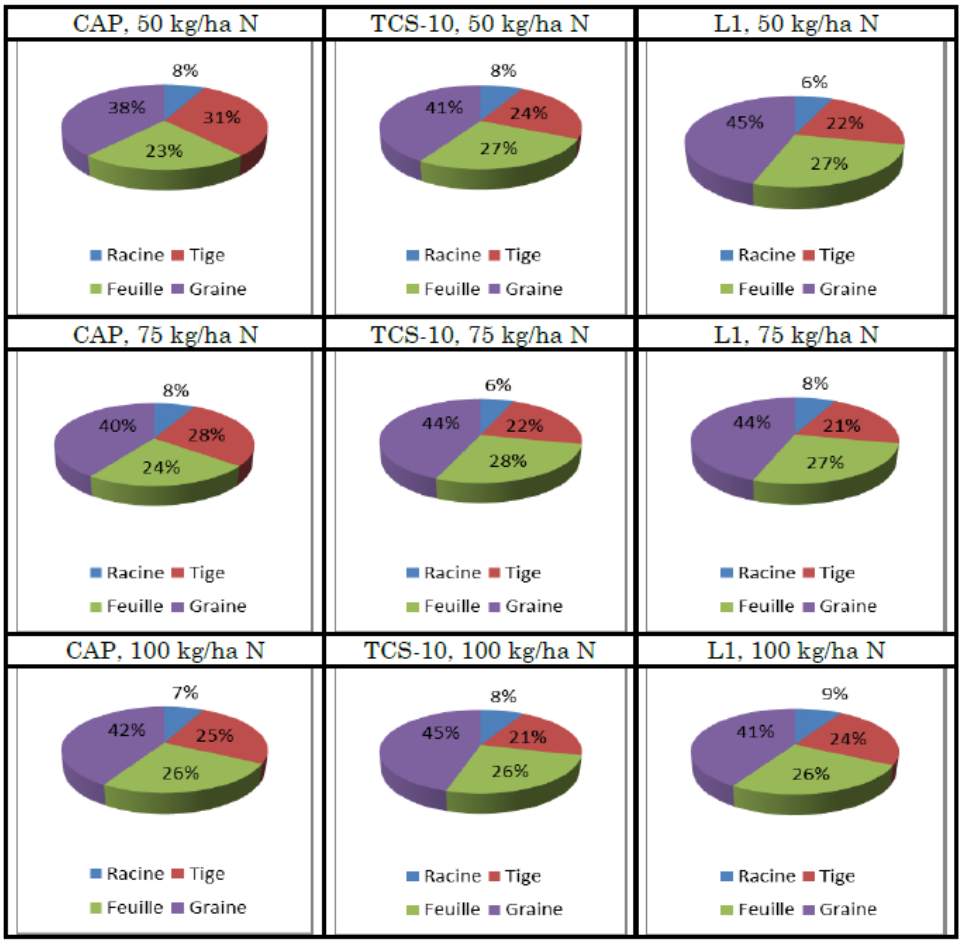
Le taux d'assimilation de l'engrais appliqué a été calculé en divisant la quantité d'azote exportée par la culture dérivée de l'engrais appliqué par la dose d'azote qui a été appliquée et en multipliant le résultat par 100.

Taux d'assimilation de l'azote appliqué= ((N d. e. (kg/ha) / dose N appliquée (kg/ha)) X100.

Analyse des données

Les données brutes ont été soumises à une analyse de variance de parcelles divisées. Les moyennes ont été comparées par la méthode de Duncan à 5 % de probabilité selon Kuehl (11). Le logiciel R, version R-2 -13-1 a été utilisé. Les résultats sont rapportés sous forme de moyenne ± écart-type. Les différences significatives entre traitements sont signalées par des lettres latines différentes.

Figure 1. Répartition de la biomasse totale produite en pourcentage dans les différents organes en fonction de la dose appliquée et des phénotypes



Résultats et Discussion

Production de biomasse

La biomasse totale obtenue pour la culture a varié de 10.13 t/ha de matière sèche (MS) pour les parcelles ayant reçu 50 kg/ha de N appliqué à 13.26 t/ha pour celles ayant reçu 100 kg/ha de N (Tableau 2), avec une moyenne de 11.57±1.02 t/ha. La différence observée entre les doses de 50 et 75 kg/ha de N n'a pas été significative. Par contre, la dose 100 kg/ha de N s'est montrée significativement supérieure à celles de 50 et 75 kg/ha de N. Entre les phénotypes de riz, elle a variée de 10.32 t/ha de pour TCS-10 à 13.95 t/ha pour CAP. La difference de biomasse observée entre TCS-10 et L1 n'a pas été significative. Cependant, CAP s'est montré significativement supérieur par rapport à TCS-10 et L1 sur la base de cette variable. La production moyenne de biomasse à l'ha (tous les phénotypes et toutes les doses d'azote confondus) a été de 11.57 t (Tableau 2). Comme les agriculteurs font généralement deux récoltes par parcelle par an, cela correspond à 23.14 t de biomasse par ha par an.

Tableau 2. Production totale de matière sèche (t/ha) de trois phénotypes de riz, variétés : CAP et TCS-10 et la Lignée L1, en réponse à trois doses d'azote sur la ferme de Mauger Vallée de l' Artibonite

Doses d'azote appliquées (kg/ha)	Phénotypes			Moyenne
	CAP	TCS-10	L1	
50	11.90±2.04aA	8.78±2.70aA	9.71±2.04aA	10.13±0.38b
75	13.70±1.71aA	10.70±2.93aA	9.66±2.60aA	11.35±0.63b
100	16.28±2.01aA	11.53±2.82aAB	11.99±4.36aB	13.26±1.19a
Moyenne	**13.95±2.36A**	**10.32±1.02B**	**10.44±3.27B**	**11.57±1.13**

Les moyennes de phénotype accompagnées d'une même lettre minuscule dans une colonne ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité (p>0.05) selon le test de Duncan. Les moyennes de dose d'azote accompagnées d'une même lettre majuscule dans une ligne ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité (p>0.05) selon le test de Duncan.

De cette biomasse totale de 23.14 t/ha par an, les graines représentent 38 à 45 %. Les feuilles, les tiges et les racines représentent respectivement 23 à 28 %, 21 à 31% et 6 à 9 % (Figure 1). Considérant que, dans la Vallée de l'Artibonite, les feuilles et les tiges de riz sont généralement brulées, même si les animaux en mangent une certaine partie (10),

Tableau 3. Rendement grain (t/ha de matiere sèche) de trois phenotypes de riz, variétés : CAP et TCS-10 et la Lignée L1, en réponse à trois doses d'azote sur la ferme de Mauger Vallée de l' Artibonite

Doses d'azote appliquées (kg/ha)	Phénotypes			Moyenne
	CAP	TCS-10	L1	
50	4.82±0.51bA	3.62±0.95aA	4.34±1.09aA	4.26±0.85b
75	4.91±0.46bA	4.68±1.86aA	4.29±1.20aA	4.62±0.70b
100	6.75±0.66aA	5.22±0.88aA	4.96±2.26aA	5.64±0.86a
Moyenne	**5.49±0.10A**	**4.50±0.54A**	**4.53±0.64A**	**4.84±0.28**

Les moyennes de phénotype accompagnées d'une même lettre minuscule dans une colonne ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité (p>0.05) selon le test de Duncan. Les moyennes de dose d'azote accompagnées d'une même lettre majuscule dans une ligne ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité (p>0.05) selon le test de Duncan.

Tableau 4. Exportations totales d'azote (kg/ha) prélevée par la culture en fonction des phénotypes et de la dose appliquée

Doses d'azote appliquées (kg/ha)	Phénotypes			Moyenne
	CAP	TCS-10	L1	
50	84.54±17.47aA	65.95±22.93aA	75.76±33.25aA	75.41±8.01a
75	108.40±25.60aA	89.23±24.23aA	81.40±15.64aA	93.01±5.39a
100	131.07±20.20aA	90.20±32.72aA	87.84±35.79aA	103.03±8.25a
Moyenne	**108.00±21.10A**	**81.79±15.08A**	**81.67±10.97A**	**90.48±5.09**

Les moyennes de phénotype accompagnées d'une même lettre minuscule dans une colonne ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité (p>0.05) selon le test de Duncan. Les moyennes de dose d'azote accompagnées d'une même lettre majuscule dans une ligne ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité (p>0.05) selon le test de Duncan

cela correspond à environ 50 % de la biomasse totale (11.57 t/ha/an) qui part en fumée. Il faut noter aussi qu'après usinage, 100 kg de riz paddy donnent environ 60 kg de riz blanc, 10 kg de brisures, 10 kg de son et de farine et 20 kg d'enveloppe (7). Les enveloppes sont aussi brulées. Ces quantités importantes de matière organique perdues en fumée pourraient être utilisées pour améliorer la fertilité, la structure, la texture, le pH et la qualité des sols de rizière si la matière organique était compostée (7). Il parait très paradoxal qu'alors que les agriculteurs se plaignent du prix élevé des engrais chimiques, malgré la subvention entrepris par les gouvernements qui se sont succédés, la moitié de la biomasse produite avec ces engrais dans les rizières sont brulés.

Le rendement grain a varié significativement entre les phénotypes de 4.50 t /ha de MS pour TCS-10 à 5.49 t/ha pour CAP (Tableau 3). La variété CAP s'est révélée plus productive que TCS-10 et L1 qui ne se sont pas montrées significativement différentes l'une de l'autre. La variation entre les doses d'azote a été différente pour les trois phénotypes.

En effet, pour CAP, le rendement grain a varié significativement de 4.82 t/ha pour 50 kg/ha N appliqué à 6.75 t/ha pour 100 kg/ha N appliqué. Le rendement grain a été significativement plus élevé quand la dose de N appliquée a été 100 kg/ha. La différence entre 50 et 75 kg/ha n'a pas été significative. Le rendement grain a varié non significativement de 3.62 à 5.22 t/ha de MS pour TCS-10 et de 4.29 à 4.96 t/ha de MS pour L1.

Absorption totale d'azote par la culture

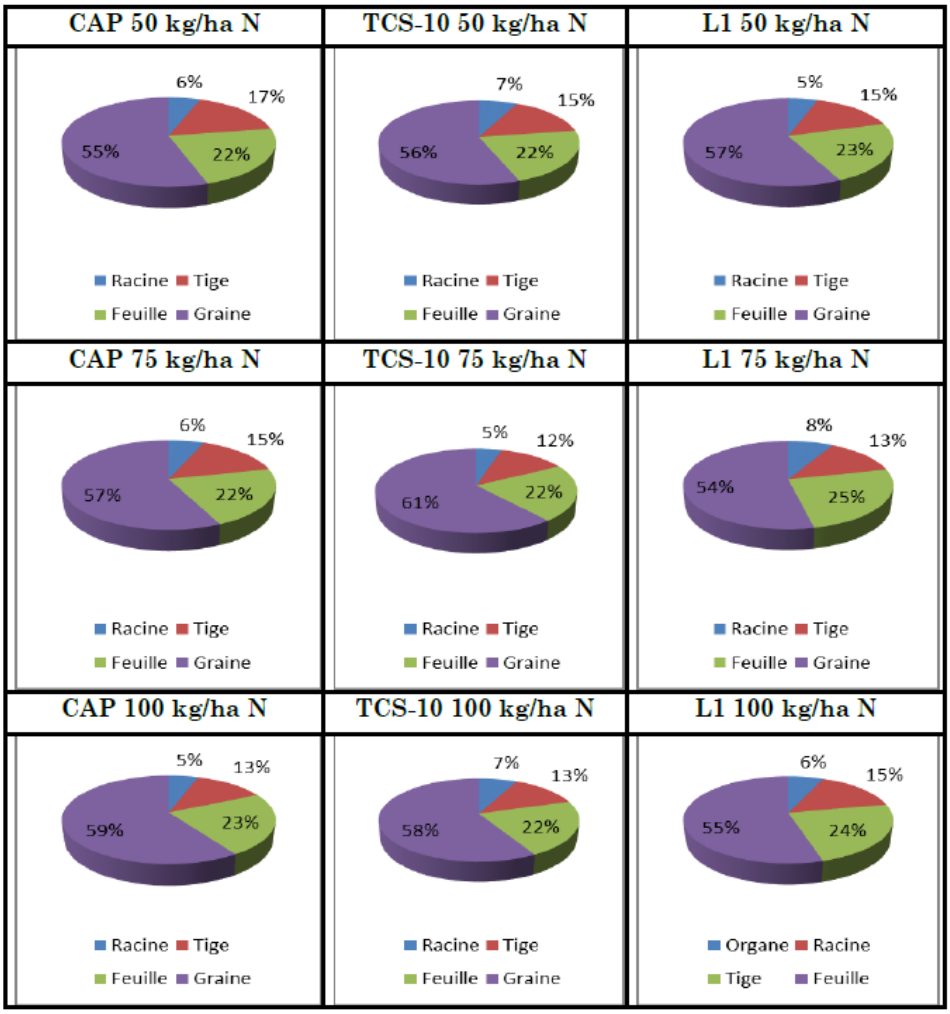
La quantité d'azote totale prélevée par la culture a varié entre les doses appliquées de 75.41 kg/ha pour 75 kg/ha appliqués à 103.03 kg/ha pour 100 kg/ha appliqués (Tableau 4). La différence observée entre les doses d'azote n'a pas été significative. Cependant, l'absorption d'azote a été significativement plus élevée quand la dose appliquée a été 100 kg/ha par rapport aux doses de 50 et 75 kg/ha. Entre les phénotypes de riz, la quantité d'azote totale prélevée par la culture a varié de 81.67 kg/ha pour la lignée L1 à 108.00 kg/ha pour CAP. Sur la base de cette variable, la variété CAP s'est montré significativement supérieur à TCS-10 et L1 qui n'ont pas été différentes l'une de l'autre. De la quantité totale d'azote assimilée par la culture (90.48 kg/ha), les graines exportent 54 à 61%. Les feuilles, les tiges et les racines exportent respectivement 22 à 25%, 12 à 17% et 5 à 7% (Figure 2). Ce qui représente environ 40% de l'azote exportée par la culture qui part en fumée avec la pratique du brulis des résidus.

L'absorption totale d'azote à l'hectare (tous les phénotypes et toutes les doses d'azote confondus) a été en moyenne de 90.48 kg/ha (Tableaux 4). Comme les agriculteurs font généralement deux récoltes par parcelle par an, cela correspond à 181.51 kg d'azote par ha par an. L'analyse de la figure 3 montre que les graines, les feuilles, les tiges et les racines contiennent respectivement 57, 23, 14 et 6% de cet azote. La pratique du brulis des feuilles et des tiges en cause la perte de 37%, soit 67.16 kg/ha par an. Il faut urgemment arrêter cette pratique afin de faire des économies de fertilisants et pour plus de responsabilité environnementale.

Pourcentage d'azote dérivé de l'engrais appliqué par rapport à la quantité totale dans les plantes

Le pourcentage d'azote dans les plantes dérivé de l'engrais appliqué par rapport à l'azote total prélevé par la culture a varié non significativement entre les doses appliquées de 55.31% pour 100 kg/ha appliqués à 59.11% pour 75 kg/ha appliqués

Figure 2. Répartition de l'azote total assimilé par la culture dans les différents organes en fonction de la dose appliquée et des phénotypes



(Tableau 5). Entre les phénotypes, il a varié de 47.37% pour CAP à 63.29% pour L1. La différence observée entre TCS-10 et L1 n'a pas été significative. Par contre, le pourcentage observé pour CAP a été significativement inférieur à ceux observés pour TCS-10 et L1.

Efficience d'utilisation de l'azote appliqué

Le taux d'utilisation de l'azote appliqué a varié de 14.59% pour 100 kg/ha appliqué à 28.89% pour 50 kg/ha appliqué (Tableau 6). La différence observée entre les doses de 75 et 100 kg/ha n'a pas été significative. Par contre, l'efficience d'utilisation pour la dose 50 kg/ha a été significativement supérieure à celles observées pour 75 et 100 kg/ha. Entre les phénotypes, il a varié non significativement de 17.24% pour TCS-10 à 20.13% pour L1.

Les résultats de cette étude montrent que l'efficience d'utilisation de l'azote par le riz dans la Vallée de l'Artibonite est faible (19,11% en moyenne; moins de 30% dans le meilleur cas). Ces résultats sont conformes à ceux de Thélusmond qui a rapporté aussi une efficience d'utilisation de 11,47 % de l'azote par le riz (19) et de Patrick qui a observé que le taux d'utilisation de l'azote par le riz récolté au stade laiteux se situe entre 17 et 23 % pour des doses respectives de 56 et 112 kg/ha de N appliqué (18).

La faible utilisation de l'azote appliqué par la culture peut être due à des facteurs divers. Des colloïdes du sol peuvent absorber une partie de l'azote appliqué et diminuer sa disponibilité pour la culture. La perte de l'azote par dénitrification, volatilisation ou lessivage peut aussi survenir et entraîner une diminution de sa disponibilité pour la culture. Un autre facteur qui peut être évoqué est la condition d'hydromorphie qui prédomine dans les rizières. En effet, de faibles pourcentages d'utilisation de l'azote appliqué sont généralement associés à des situations extrêmes de disponibilité de l'eau telles que sécheresse, pluviométrie élevée ou irrigation excessive. Dans ce cas, une fraction importante de l'azote appliqué peut être assimilée par des micro-organismes du sol qui la transforment sous formes organiques stables non disponibles pour la culture (3). Dans l'éventualité d'un effet significatif de l'irrigation excessive sur la diminution du taux d'utilisation de l'azote par le riz, le système de riziculture intensif (SRI) dans lequel les assèchements sont fréquents et importants est une alternative pour améliorer l'efficience de l'utilisation de cet élément.

Conclusion

La biomasse obtenue a été plus grande avec la dose maximale d'azote testée (100 kg/ha), tandis

Tableau 5. Pourcentage des exportations d'azote dérivé de l'engrais appliqué assimilé par la culture en fonction des phénotypes et de la dose appliquée

Doses d'azote appliquées (kg/ha)	Phénotypes			Moyenne
	CAP	TCS-10	L1	
50	55.31±9.43aA	45.44±5.46bB	69.28±6.87aAB	56.67±2.01a
75	44.77±0.55bB	63.39±8.94aA	69.19±3.80aA	59.11±4.23a
100	42.04±2.13abB	72.48±5.42aA	51.41±9.54aB	55.31±3.71a
Moyenne	**47.37±4.73B**	**60.43±2.02A**	**63.29±2.87A**	**57.03±1.38**

Les moyennes de variété accompagnées d'une même lettre minuscule dans une colonne ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité (p>0.05) selon le test de Duncan. Les moyennes de dose d'azote accompagnées d'une même lettre majuscule dans une ligne ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité (p>0.05) selon le test de Duncan

Tableau 6. Le taux d'assimilation de l'azote appliqué par la culture

Doses d'azote appliquées (kg/ha)	Phénotypes			Moyenne
	CAP	TCS-10	L1	
50	32.68±15.78aA	24.20±06.06aA	29.80±10.45aA	28.89±4.86a
75	15.31±01.80abA	14.48±19.98aA	17.09±6.20aA	15.62±9.48b
100	11.88±05.60bA	14.81±04.98aA	17.09±15.84aA	14.59±6.09b
Moyenne	**19.96±07.22A**	**17.24±08.36A**	**20.13±04.83A**	**19.11±1.80**

Les moyennes de variété accompagnées d'une même lettre minuscule dans une colonne ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité (p>0.05) selon le test de Duncan. Les moyennes de dose d'azote accompagnées d'une même lettre majuscule dans une ligne ne sont pas significativement différentes à 5% de probabilité (p>0.05) selon le test de Duncan.

qu'elle n'a pas varié significativement entre les doses 50 et 75 kg/ha. Pour la variété CAP, la dose de 100 kg/ha de N appliqué a donné le rendement grain le plus élevé, tandis que pour TCS-10 et L1, il n'y a pas eu de différence significative entre les doses pour cette variable. Ces résultats confirment la première hypothèse de travail, à savoir « les différents phénotypes de riz cultivés répondent différemment à la fertilisation azotée en termes de rendement-grain ». Ils confirment aussi, pour la variété TCS-10 et la lignée L1, la deuxième hypothèse de travail avançant que : « une augmentation de la dose d'azote entraine une augmentation de la production de biomasse à l'hectare sans augmentation du rendement-grain ». Ces effets interactifs des phénotypes de riz cultivés et des doses d'azote appliquées sur le rendement grain constituent des nuances qui ne sont pas forcément évidentes pour les agriculteurs.

Le taux d'utilisation de l'azote appliqué a été faible en général (19.11% en moyenne ; moins de 30% dans le meilleur cas) et a montré une tendance à diminuer avec l'augmentation de la dose appliquée. Cette faible efficience d'utilisation de l'azote appliqué confirme la troisième hypothèse de travail affirmant que : « il y a effectivement surfertilisation azotée dans les rizières de la Vallée de l'Artibonite; l'azote appliqué n'est pas utilisé efficacement par la culture ». Par ailleurs, les tiges et les feuilles de riz représentent environ 50% de la biomasse produite et contiennent environ 40% de l'azote exporté par la culture. Ainsi, la pratique courante du brulis des résidus dans la Vallée de l'Artibonite entraine la perte de 50% de la biomasse produite et de 40% de l'azote exporté.

Dans ce contexte, d'autres essais seront conduits par l'équipe et seront orientés de manière à formuler des recommandations de fertilisations pour améliorer l'efficience d'utilisation de l'azote. En attendant, il est recommandé aux autorités MARNDR et de l'Organisme du Développement de la Vallée de l'Artibonite (ODVA) de mettre en place un service de vulgarisation agricole pour des pratiques de fertilisation agronomiquement plus efficaces, économiquement plus rentables et écologiquement plus responsables. De leur côté, les agriculteurs doivent urgemment cesser de brûler les résidus de culture de riz. Ils doivent plutôt les composter et les utiliser pour améliorer la texture, la structure, la fertilité et la qualité des sols de rizière et réduire les dépenses et le gaspillage d'argent dans l'achat des engrais minéraux.

Références bibliographiques

1. Bado B. V., Sedogo M. P., Cescas M. P., Lompo F. et Bationo A. 1997. Effet à long terme des fumures sur le sol et les rendements du maïs au Burkina Faso. Cahiers Agricultures 6 (6) : 571-575.
2. BID 2009. Programme d'intensification agricole de la Vallée de l'Artibonite : Une contribution à la relance agricole en Haïti. Article en ligne. Adresse URL : http://www.iadb.org/fr/infos/articles/
3. Blankenau K. and Kuhlmann. H. 2000. Effect of N supply on apparent recovery of fertilizer N as crop N and N min in soil during and after cultivation of winter cereals. Journal of plant Nutrition and soil science 163:91-100.
4. Cassman K. G., Peng S., Olk D. C., Ladha J. K., Reichardt W., Dobermann A., and Singh U. 1998. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems. Field Crops Research 56 (1-2): 7-39.
5. Dobermann, A. and C. Witt. 1999. The potential impact of crop intensification on carbon and nitrogen cycling in intensive rice systems. Carbon an Nitrogen Dynamics in Flooded Soils, Los Banos, Philippines, IRRI
6. Duvivier P. et Louissaint J. 2005. Rapport d'avancement du projet d'élaboration d'un référentiel technique fiable pour la fertilisation rationnelle et économique des terres rizicoles de la Vallée de l'Artibonite. Damien, Haïti. 21 p.
7. Duvivier. P., Antoine. J. S., Joseph. D., Alphonse M. E. 2014. Mesure du rendement et de la biomasse de trois phénotypes de riz (*Oryza sativa*, L.) en réponse à quatre doses d'azote sur la ferme de Mauger, Vallée de l'Artibonite. RED 6 (1): 10- 15.
8. FAO. 1994. African experience in the improvement of post-harvest techniques. Synthesis Based on the Workshop held in Accra, Ghana, 4-8 July 1994 Agricultural Support Systems Div. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome Italy.
9. IAEA. 2001. Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. FAO/IAEA Agriculture and Biotechnology Laboratory, Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and agricul-

ture. Vienna, Austria. 247 p.

10.Innocent L. 2012. Diagnostic du mode de gestion de la fertilité des sols de la commune de Verettes, Vallée de l'Artibonite, Haïti. Mémoire d'Ingénieur-Agronome, FAMV, UEH, Haïti. 44 p.

11.Kuehl O. R. 1999. Design of experiments: Statistical principles of research design and analysis, 2nd edn. Brooks/Cole, Florence, KY, USA. 659 p.

12.Louissaint J. et Duvivier P. 2003. Rapport final de la première phase du projet d'élaboration d'un référentiel technique fiable pour la fertilisation rationnelle et économique des terres rizicoles de la vallée de l'Artibonite. 34 p.

13.Louissaint J. et Duvivier P. 2005. Principales caractéristiques des terres rizicoles de la Vallée de l'Artibonite (Haïti) et disponibilités réelles en éléments majeurs. Revue Scientifique de la FAMV : Recherche, Etude, Développement (RED) 2 (1) :32-36.

14.MARNDR. 2006. Rapport final du diagnostic par filière du Programme d'Intensification Agricole. Port-au-Prince, Haïti. 6 p.

15.MARNDR. 2011. Base de données sur l'utilisation des engrais minéraux en Haïti. Non publié.

16.Nébié B. 1995. Etude des contraintes agro pédologiques déterminant la production du riz irrigué dans la vallée du Kou au Burkina Faso. Thèse docteur-ingénieur, option sciences agronomiques, faculté des sciences et technique, Université Nationale de Côte d'Ivoire, 209 p.

17.Orélien E. 2008. Réponse du riz (*Oryza sativa*, L.) variété Malaika à la fertilisation azotée et phosphatée dans quatre zones de la Vallée de l'Artibonite (Haïti). Mémoire de fin d'études d'Ingénieur-Agronome, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Episcopale d'Haïti. 49 p.

18.Patrick W.H., Delaune R.D. and Peterson F.J. 1973. Nitrogen Utilization by Rice Using 15N-Depleted Ammonium Sulfate. Iowa State University. 23-90 p.

19.Thélusmond J. R. 2008. Évaluation de l'efficience d'assimilation de l'azote par le riz (*Oryza sativa*, L.), var. TCS-10, en utilisant les techniques d'isotope dans la Vallée de l'Artibonite. Mémoire d'Ingénieur-Agronome, FAMV/ UEH, Damien, Haïti. 62 p.

20.Wopereis, M. C. S., C. Donovan, B. Nebié, D. Guindo and M. K. N'diaye .1999. Soil fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savanna regions. Part I. Agronomic analysis. Field Crops Research 61: 125-145.