II.2.3. N potentiellement disponible dans le sol simulé du modèle DSSAT

Dans la Figure 9, qui représente en fonction de N apporté sous forme d'engrais sur l'expérimentation GSRUSE en deux saisons (2015 et 2016) et STRADIV en une saison (2017), les quantités de N minéral potentiellement disponibles sur l'ensemble du profil racinaire du riz (80 cm), et sur l'ensemble du cycle de riz (120 jours). Nous remarquons :

- Avec 0 N apporté, une offre en N supérieure avec les AC L 2015 et AC L 2016 par rapport aux autres traitements ;
- Avec 32 N apporté, une offre fortement supérieure en AC L 2017 par rapport aux autres traitements ;
- Avec 60 N apporté, une offre supérieure par rapport à 0 N et avec le même classement une offre en N supérieure avec les AC L 2015 et AC L 2016 par rapport aux autres traitements ;
- La quantité d'azote disponible dans le sol avec AC M n'est pas différente d'AC L les années 2015 et 2016.

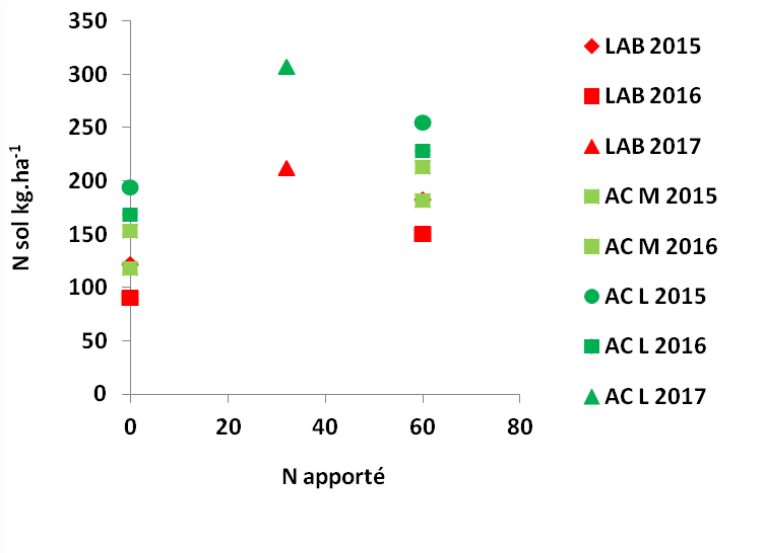

Figure 9. Relation entre N apporté et la quantité N sol disponible sur l'ensemble du cycle du riz avec le modèle DSSAT.

II.2.4. Bilan de N du sol potentiellement disponible entre quatre compartiments

Le devenir de l'azote du sol potentiellement disponible estimé dans la section précédente a été estimé avec le modèle DSSAT en 4 compartiments pour une étude qualitative (Figure 10 et Figure 11).

Pour le compartiment N absorbé Riz, pour GSRUSE, les valeurs varient de 56 N à 106 N pour LAB, 41 N à 70 N pour AC M et 67 N à 116 N pour AC L. Pour les deux apports 0 et 60 N, nous avons une absorption légèrement meilleure par le riz avec AC L par rapport au LAB et une absorption nettement

inférieure par le riz avec AC M par rapport aux deux autres traitements. Pour STRADIV, avec 32 N, N absorbé est supérieur pour AC L par rapport au LAB respectivement 120 N et 98 N.
Pour le compartiment N reliquat Sol, pour GSRUSE, les valeurs varient de 22 N à 31 N pour LAB, 53 N à 64 N pour AC M et 31 N à 50 N pour AC L. Pour les deux apports 0 et 60 N, nous avons un reliquat pour les campagnes suivantes. Un meilleur reliquat avec AC M suivi de AC L et enfin LAB. Pour STRADIV, avec 32 N, on constate un effet important avec AC L par rapport au LAB respectivement 131 N et 97 N.

Pour le compartiment N lixivié Sol, pour GSRUSE, les valeurs varient de 6 N à 42 N pour LAB, 25 N à 57 N pour AC M et 27 N à 75 N pour AC L. Pour les deux apports 0 et 60 N, nous avons une lixiviation importante avec les systèmes en AC. Pour STRADIV, avec 32 N, on constate un effet important avec AC L par rapport au LAB respectivement 34 N et 12 N.

Pour le compartiment N dénitrifié Sol, pour GSRUSE, les valeurs varient de 8 N à 29 N pour LAB, 9 N à 29 N pour AC M et 17 N à 42 N pour AC L. Pour les deux apports 0 et 60 N, nous avons une dénitrification importante avec AC L, et même tendance pour LAB et AC M. Pour STRADIV, avec 32 N, on constate une forte dénitrification avec AC L par rapport au LAB respectivement 22 N et 6 N.

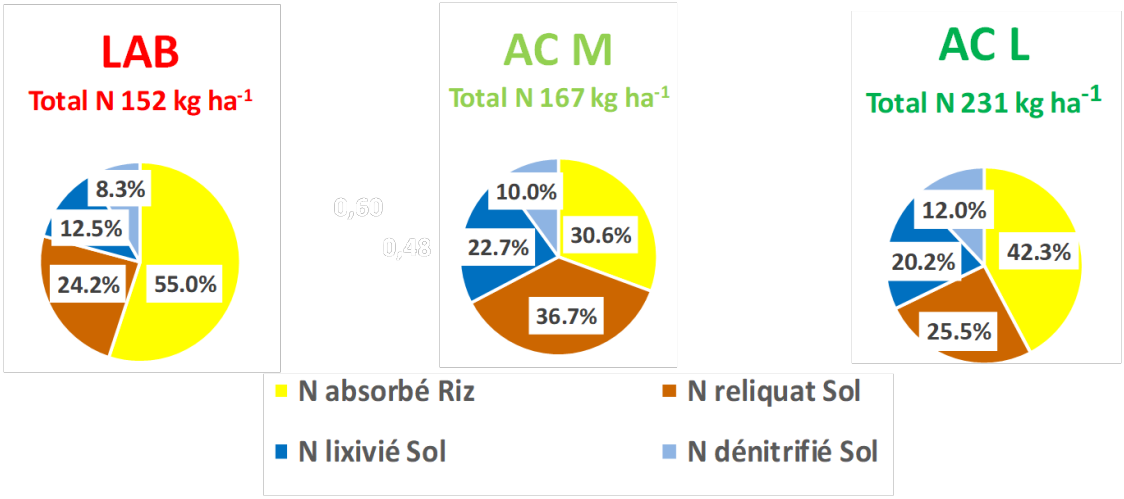

Figure 10. Synthèse du devenir de l'azote du sol simulé sur DSSAT.

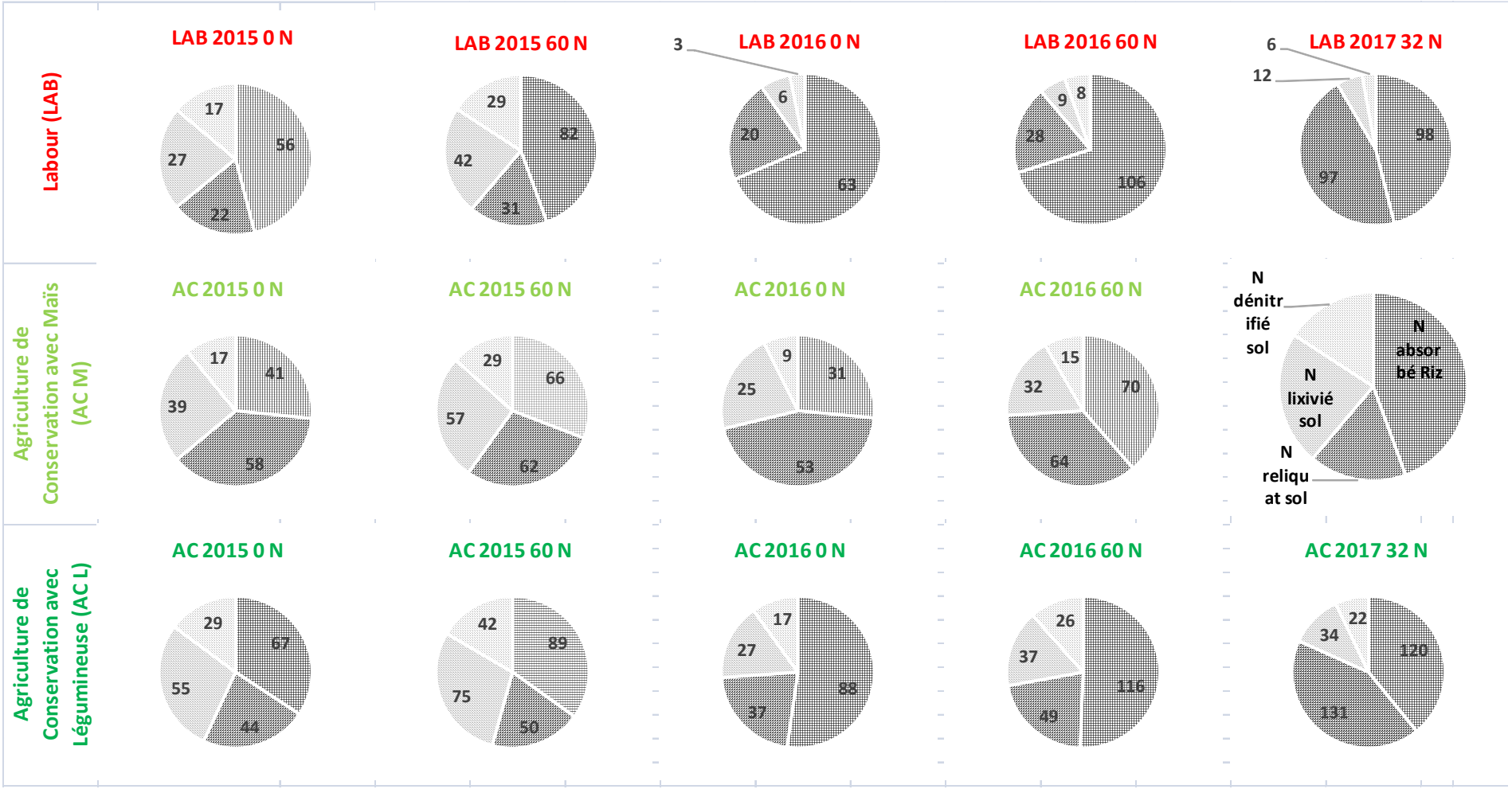

Figure 11. Bilan de N potentiellement disponible entre quatre compartiments

II.3. La relation entre l'azote disponible dans le sol et l'azote absorbé par la culture ou NUPE

II.3.1. Systèmes racinaires

Les profils racinaires réalisés à la montaison (environ 50 JAS) et à la floraison (environ 90 JAS) sur deux années de culture avec les mêmes fertilisations azotées (60 N) sur LAB et en AC L montrent différentes dynamiques (Figure 12) :

- En 2015, un démarrage plus rapide du système racinaire en AC L suivi d'un rattrapage au LAB à la floraison ;
- En 2016, une dynamique opposée par rapport à 2015 avec un démarrage plus rapide du LAB suivi d'un rattrapage d'AC L à la floraison.

Les différences liées au début du cycle sur les dynamiques racinaires peuvent être liées des périodes d'implantation dans les conditions sèches avec ; pour 2015 un effet en AC L positif en présence de paillage de légumineuse améliorant la conservation de l'eau après un semis plus précoce qu'en 2016.

A la floraison, les différences entre les années sont liées également à des meilleures conservations de l'eau avec une année 2016 plus sèche qu'en 2015.

Globalement, les systèmes racinaires du riz à la floraison sont plus développés en LAB par rapport en AC L à la surface et inversement en profondeur.

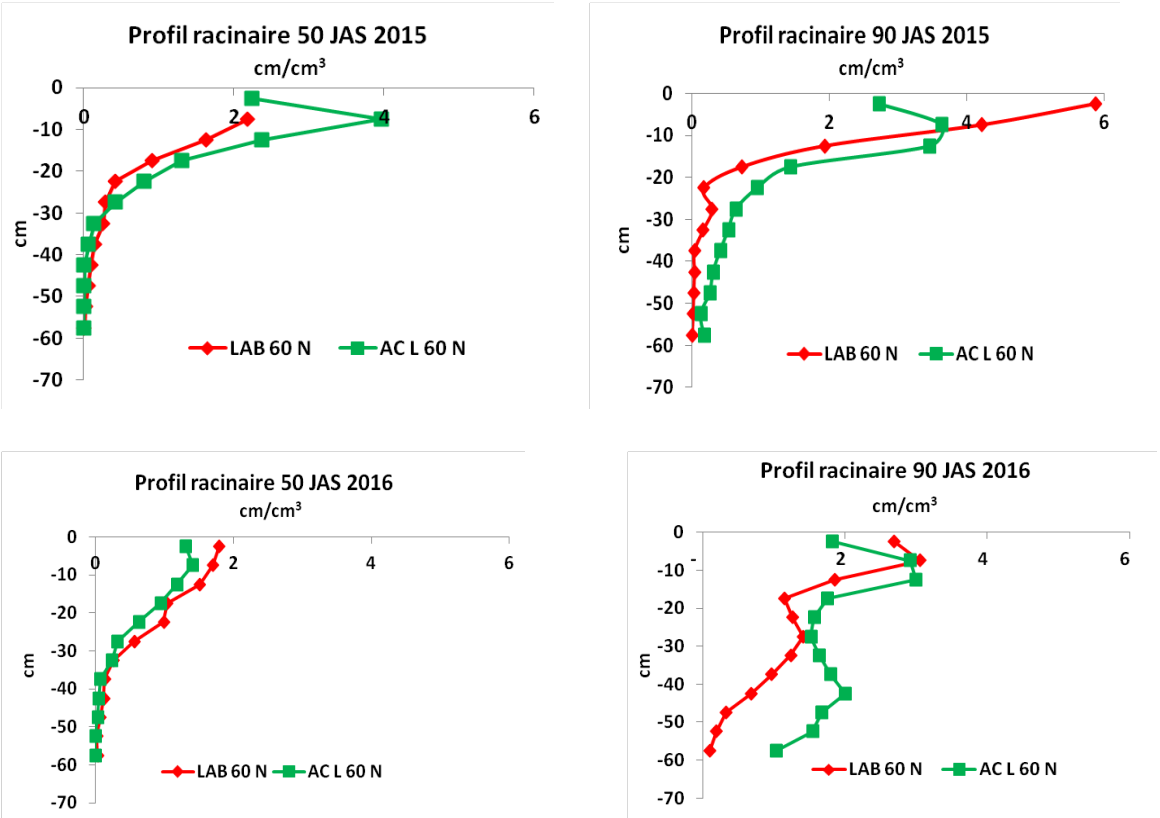

Figure 12. Profils racinaires à deux dates sur deux années de l'essai GSRUSE sur Labour (LAB) 60 N et agriculture de conservation légumineuse (AC L) 60 N

II.3.2. Parties aériennes du riz avec SPAD et SPIR

Le diagnostic sur la nutrition azotée (INN) du riz réalisée avec l'outil SPAD au stade montaison, en relation avec l'absorption N du riz grâce à l'outil SPIR à maturité de la culture présente des corrélations nettes (Figure 13**.**). Les valeurs SPAD indiquant la teneur chlorophyllienne varient entre 20 et 40 en 2015 et en 2016. Et les valeurs de N absorbées par le riz sont entre 20 et 60 en 2015 puis entre 20 et 100 pour 2016.

En 2015, pour 0 N, la plus forte valeur de SPAD et N mobilisé est AC L et la plus faible AC M. On constate qu'avec 60 N, un effet important sur la valeur SPAD avec sur LAB de 29,4 à 39,3, sur AC M de 21,8 à 30,5. L'effet sur AC L est moins important de 26,9 à 29,5.

En 2016, pour 0 N, la plus forte valeur de SPAD est LAB et la plus faible est AC M. On constate qu'avec 60 N, un effet important sur la valeur SPAD avec sur LAB de 34,7 à 38,6, sur AC M de 22,4 à 31,9. L'effet sur AC L est moins important de 32,7 à 35,5.

Pour l'absorption N (SPIR) du riz à maturité en 2015, des effets marqués de la fertilisation ont été observés soit en LAB de 19,4 kg ha^{-1}à 55.8 $kg.ha^{-1}$, en AC M de 17,5 $kg.ha^{-1}$ à 48,4 et en AC L de 28, 8 $kg.ha^{-1}$à 57,7 $kg.ha^{-1}$.

Pour l'absorption N (SPIR) du riz à maturité en 2016, des effets marqués de la fertilisation ont été observés soit en LAB de 71,8 kg ha^{-1}à 85,0 $kg.ha^{-1}$, en AC M de 14,5 $kg.ha^{-1}$ à 66,2 et en AC L de 70,7 $kg.ha^{-1}$à 101,9 $kg.ha^{-1}$.

Sur les deux années, la valeur SPAD en LAB 0 N présente des valeurs supérieures par rapport aux AC L alors que pour le N total absorbé en 2015 est supérieur en AC L alors qu'en 2016, elles sont sensiblement les mêmes.

En 2015 et 2016, AC M 0 N présente les plus faibles valeurs en SPAD ainsi qu'en quantité de N absorbé surtout en 2016.

En 2015 et 2016, AC M 60 N par rapport à AC M 0 N permet d'augmenter la valeur SPAD et N absorbé sans pour autant atteindre les mêmes valeurs que pour LAB 60 N et AC L 60 N.

Sur les deux années, la valeur SPAD en LAB 60 N présente des valeurs supérieures par rapport aux AC alors que pour le N total absorbé en 2015 les valeurs sont sensiblement les mêmes et relativement faibles (autour de 60 kg N ha^{-1}) et avec en 2016 une plus forte variabilité entre 66,2 kg. ha^{-1} et 101,9 kg ha^{-1} avec un effet supérieure en AC L.

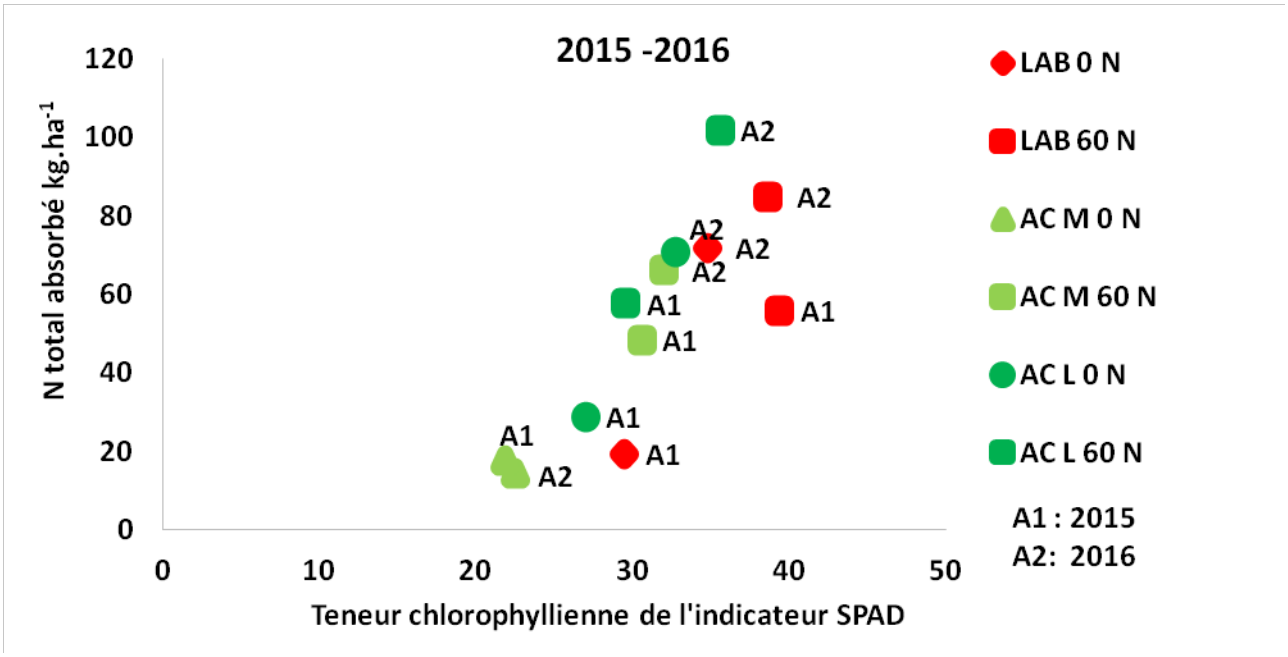

Figure 13. Corrélation entre valeur SPAD au stade montaison et la quantité totale N absorbée à maturité en A1=2015 et en A2=2016.

II.3.3. Relation entre N sol disponible et N absorbé du riz

Dans la Figure 14, nous avons rapporté la relation entre l'azote disponible du sol et l'azote absorbé par le riz estimés par le modèle DSSAT pour les expérimentations GSRUSE et STRADIV. La relation d'ensemble est linéaire avec une tendance d'une meilleure efficience d'absorption de l'azote en système conventionnel LAB par rapport à l'AC, seules deux situations en AC L sont meilleures par rapport au LAB en terme d'azote par le riz AC L 2016 N 60 et AC L 2017 N 33.

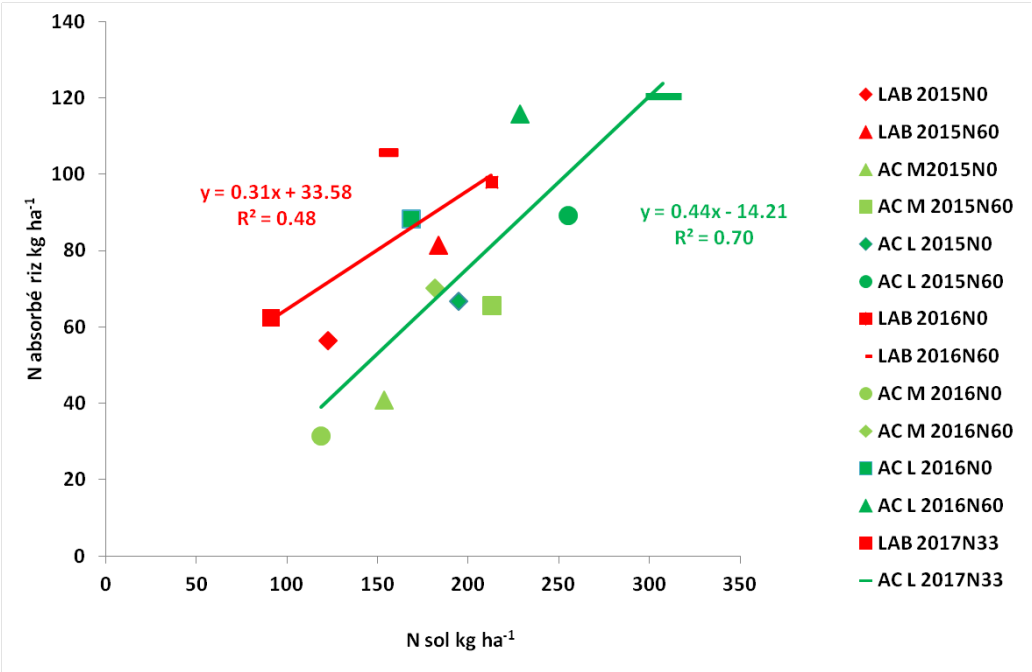

Figure 14. Corrélation entre N disponible dans le sol et N absorbé du riz selon la simulation DSSAT.

II.4. La relation entre l'azote absorbé par la culture et le rendement en grain ou NUTE

La relation entre N absorbé par le riz et le rendement en grain pour l'expérimentation GSRUSE est représentée dans la Figure 15 et Figure 16.

En 2015, la relation est linéaire à la fois pour LAB et AC. On remarque cependant que pour les systèmes en AC, il faut plus de N absorbé pour produire une même quantité de grains, par exemple pour environ 1,12 t de grains, il faut respectivement 20 N et 28 N pour LAB et AC L.

En 2016, la relation est également linéaire à la fois pour LAB et AC et demande plus d'azote absorbé pour produire mieux par rapport à celle de 2015.

La relation entre N absorbé et rendement en grains est globalement très différente sur les deux années, avec les deux droites de régression qui ont des coefficients de pente de 0,08 en 2015 et de 0,04 en 2016. L'efficience de transformation de l'azote total de la biomasse en grains a été bien meilleure en 2015 qu'en 2016.

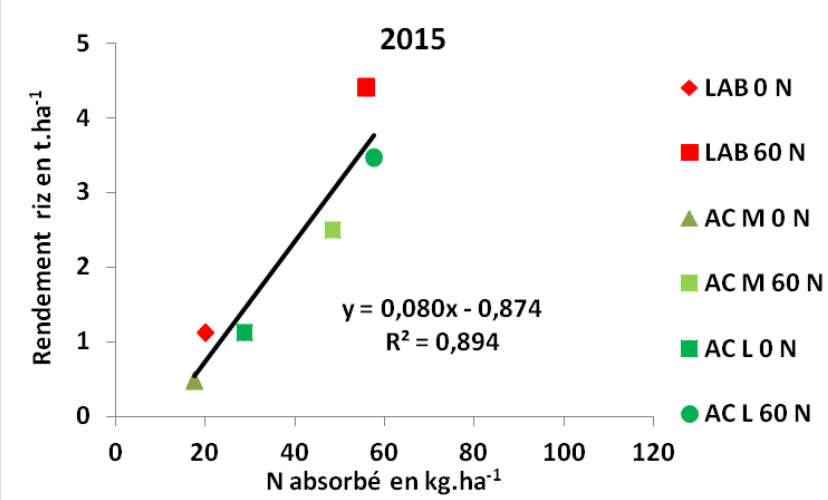

Figure 15. Rendement en riz en fonction de N total absorbé 2015.

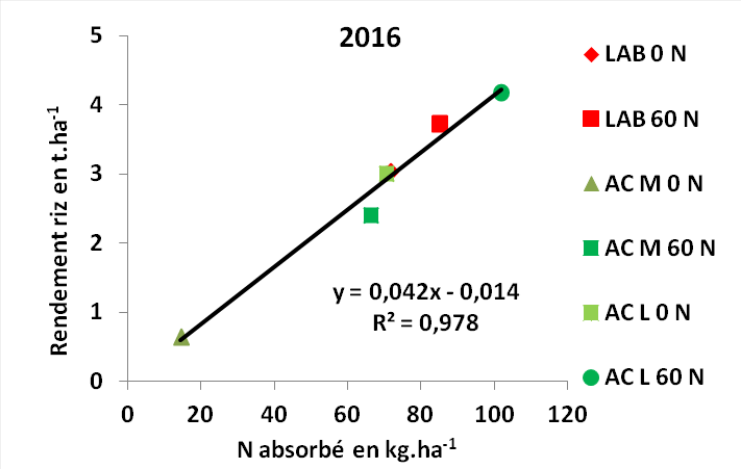

Figure 16. Rendement en riz en fonction de N total absorbé 2016.

II.5. L'efficience de la réponse du rendement du riz à l'application de fertilisation azotée NUSE

La relation finale entre la quantité d'azote et le rendement grain en t ha^{-1} sur les différents systèmes de culture LAB et AC est présentée sur les quatre expérimentations au niveau des Tableau 7, Erreur ! Source du renvoi introuvable., Tableau 12 et Tableau 13.

II.5.1. Réponse du rendement du riz à l'application de fertilisation azotée sur l'expérimentation GARP

Globalement, pour les cinq années et les trois niveaux de fertilisations azotées, les deux systèmes présentent une différence significative de rendement respectivement en LAB et en AC de 4,99 et 4,17 t ha^{-1} (Tableau 7) et son anova en ANNEXE 8.

L'écart de ces différences se fluctue selon les années est très importants en 2011, intermédiaire en 2010, 2012 et 2014 et nul en 2013.

Avec LAB et AC, il y a une réponse avec en 60 N et pas avec 120 N. Sur les deux systèmes, le bénéfice de 60 N est environ de 1,77 t ha^{-1} avec LAB et de 2,12 t ha^{-1} avec AC.

Tableau 7. Comparaison du rendement en grain en t ha^{-1} par niveau N apporté de l'essai GARP.

Facteurs		**Années de récolte GARP**					**Moyenne**
SC	**N**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	
LAB	**0**	**2.53**	**5.12**	**3.25**	**4.09**	**4.10**	**3,82 d**
	60	**4.82**	**6.36**	**4.45**	**6.36**	**5.94**	**5,59 a**
	120	**4.44**	**7.03**	**4.57**	**5.91**	**5.86**	**5,56 ab**
Moyenne		**3,93 cd**	**6,17 a**	**4,09 c**	**5,46 b**	**5,30 b**	**4,99 A**
AC	**0**	**2.63**	**1.22**	**2.21**	**4.10**	**3.29**	**2,69 e**
	60	**5.15**	**3.49**	**4.18**	**6.14**	**5.09**	**4,81 c**
	120	**4.83**	**5.38**	**4.27**	**6.09**	**4.62**	**5,04 bc**
Moyenne		**4,20 c**	**3,36 e**	**3,55 de**	**5,45 b**	**4,34 c**	**4,17 B**

II.5.2. Réponse du rendement du riz à l'application de fertilisation azotée sur l'expérimentation GSRUSE.

Globalement, les deux années présentent des niveaux de rendement contrastés soit respectivement 2,30 et 3,58 t ha^{-1} en 2015 et en 2016 (Tableau 8) et son anova en ANNEXE 7

Le rendement en moyenne sur les deux ans est du même niveau en LAB et en AC L soit environ 3 t ha^{-1} et de deux fois inférieur en AC M soit 1,5 t ha^{-1}.

Concernant la réponse à 60 N, elle est très importante sur tous les systèmes en 2015 en facteur multiplicatif de 4, 5 et 3 respectivement pour LAB, AC L et AC M. Par contre en 2016, la réponse à ce même apport est beaucoup plus faible en LAB et AC L en LAB et AC L avec un facteur multiplicatif

environ 1,2 et 1,4 respectivement. Par contre, en AC M, le facteur multiplicatif reste élevé environ à 3,7.

Tableau 8. Comparaison de moyenne du rendement grain en t ha^{-1} par niveau N apporté de l'essai GSRUSE.

Facteurs		Années de récolte		Moyenne
SC	**N**	**2015**	**2016**	
LAB	**0**	**1,12**	**3,03**	**2,06 b**
	60	**4,41**	**3,72**	**4,06 a**
Moyenne		**2,76 bc**	**3,38 ab**	**3,07 a**
AC M	**0**	**0,48**	**0,64**	**0,56 c**
	60	**2,49**	**2,40**	**2,45 b**
Moyenne		**1,49 d**	**1,52 d**	**1,50 b**
AC L	**0**	**1,12**	**3,00**	**2,06 b**
	60	**3,47**	**4,17**	**3,82 a**
Moyenne		**2,30 c**	**3,58 a**	**2,94 a**

Les valeurs du rapport exprimé en kg grain par kg N apporté dans les expérimentations étudiées sont mentionnées dans les Tableau 9, Tableau 10 et Tableau 11, avec une gamme de valeur sensiblement les mêmes en moyenne pour les systèmes conventionnels (LAB) et en agriculture de conservation (AC). Ces valeurs sont en moyenne comprises entre 29 et 35 sauf pour STRADIV (Tableau 11).

Tableau 9. Les valeurs de NUSE en labour par type d'expérimentation

	GARP	**GSRUSE**	**STRADIV**
NUSE en LAB	**29**	**33**	**26**

Tableau 10. Les valeurs de NUSE en AC L par type d'expérimentation

	GARP	**GSRUSE**	**STRADIV**
NUSE en AC M	**-**	**32**	**-**

Tableau 11. Les valeurs de NUSE en AC L par type d'expérimentation

	GARP	**GSRUSE**	**STRADIV**
NUSE en AC L	**35**	**29**	**8**

II.5.3. Rendement du riz sur l'expérimentation STRIGA

Globalement, sans fertilisation azotée, les rendements sont relativement faibles en moyenne sauf en 2014 pour les deux systèmes de culture. Sur les trois premières années, les rendements en AC L sont égaux ou inférieurs au LAB alors que les deux dernières années, AC L est supérieur au LAB, cette différence est particulièrement importante en 2015 avec 50 % de rendement en plus en AC L, (Tableau 12).

Tableau 12. Comparaison de moyenne du rendement en grain en t ha^{-1} au niveau de l'essai STRIGA.

Facteurs	Année de récolte					Moyenne
SC	2012	2013	2014	2015	2016	
LAB	2,01 c	2,20 bc	4,13 a	2,04 c	1,47 c	2.37
AC L	1,67 c	0,54 d	4,33 a	3,00 b	1,82 b	2.27
Moyenne	1.84 bc	1.37 c	4.23 a	2.52 b	1.64 bc	2,32

II.5.4. Réponse du rendement du riz à l'application de fertilisation azotée sur l'expérimentation STRADIV.

Pour l'expérimentation STRADIV, avec une seule année de résultat, AC L présente un rendement significativement supérieur par rapport au LAB dont respectivement 2,98 et 1,85 t ha^{-1} (Tableau 13). Son annova en ANNEXE.

En AC L, le rendement sans N n'est pas significativement différent par rapport à 33 N.

Sur les deux systèmes, les deux niveaux de N (0 et 33) ne présentent aucune différence significative.

Tableau 13. Comparaison de moyenne du rendement grain en t ha^{-1} par niveau N apporté de l'essai STRADIV.

SC	N	2017	Moyenne
LAB	0	1,42 b	1,85 b
	33	2,28 ab	
AC L	0	2,85 a	2,98 a
	33	3,11 a	
MOYENNE	2,42		