

PARTIE III. DISCUSSION

III.1 Importance de l'azote pour le riz pluvial

Dans nos conditions du Moyen Ouest, notre première hypothèse, à savoir que l'azote a été un facteur limitant, a été confirmée par cette analyse de l'efficacité de l'azote apporté sous forme d'engrais minéral à travers le concept de l'efficacité de la réponse du rendement du riz à l'application de fertilisation azotée (NUSE). Cela confirme des études réalisées dans des conditions de plus haute altitude que le rendement du riz pluvial est fortement corrélé à l'offre en N du sol (Dusserre, J., et al., 2012). Les valeurs de ce rapport exprimé en kg grain par kg N apporté dans les expérimentations étudiées dans les Tableau 9, Tableau 10 et Tableau 11, sont en moyenne comprises entre 29 et 35 sauf pour STRADIV. Ces résultats suggèrent que des systèmes en AC avec une légumineuse annuelle n'apportent pas forcément d'amélioration sur la nutrition azotée par rapport à des systèmes conventionnels (Ranaivoson, L., et al., 2017). Plus généralement, cette absence d'amélioration est liée à de l'immobilisation de l'azote provoquée par des mulchs avec des C/N élevés (par exemple tige de maïs) ou à des pertes par lixiviation avec des mulchs à C/N faibles issus de légumineuses (Scopel, E., et al., 2013).

Les études de bilan hydrique sur PROBE-w et de la modélisation avec DSSAT mettent en lumière l'importance du régime pluviométrique sur le rendement du riz pluvial en relation avec la dynamique de l'azote. Par exemple la pluviométrie plus élevée en 2014-2015 provoque des plus fortes pertes en N (mobilité de l'ion nitrate) qui expliquerait des rendements sur GSRUSE plus faibles en 2015 qu'en 2016 avec en moyenne 2,30 contre 3,58 t ha⁻¹.

Cela confirme des études réalisées dans des conditions d'altitude similaires qui montraient de forte perte en NO₃⁻ dès le début du cycle en AC avec globalement plus de lixiviation sur le cycle de riz de par rapport au système conventionnel avec labour (Ranaivoson, L., et al., 2017).

III.2. Comparaison systèmes AC et Conventionnels par rapport à l'efficacité de l'azote

Dans ces conditions du Moyen Ouest, la deuxième hypothèse est également confirmée, à savoir que l'efficacité de cet apport N pouvait être différente selon le mode de gestion des sols et des cultures, avec par exemple en Tableau 11 la valeur 8 de NUSE pour AC L dans STRADIV très différente des autres valeurs de NUSE pour AC L pour GARP et GSRUSE. Également, les différents systèmes étudiés ont montré des dynamiques de l'azote contrastées suivant l'expérimentation (exemple : les dynamiques N minéral en début de cycle pour GSRUSE en Figure 6 et Figure 7).

Cette étude a permis une comparaison entre des systèmes avec une gestion des sols et des cultures s'inspirant de systèmes conventionnels (labour et exportation de résidus), avec des systèmes en AC (sans travail du sol et conservation des résidus et l'intérêt possible de l'AC dans certaines conditions.

En partant du postulat que l'AC permet de garantir une maîtrise totale de l'érosion, nos résultats montrent l'intérêt à court terme de légumineuses annuelles de type mucuna et sur le long terme de légumineuse pérenne de type stylosanthes. Ces résultats valident d'autres études réalisées dans des

conditions climatiques proches (Ranaivoson, L., et al., 2017) et sur le même site (Zemek, O., et al., 2018) avec le stylosanthes comme système en AC L avec des effets positifs sur le rendement.

L'offre en N en AC M sans légumineuses est limitée du fait d'une immobilisation N plus forte liée aux résidus de culture à C/N élevé autour de 80 pour les pailles de maïs pour l'expérimentation GSRUSE. Des études réalisées antérieures sur l'effet négatif des mulchs avec un rapport C/N élevé (ANNEXE 4) concluaient aux mêmes résultats (Ranaivoson, L., et al., 2017).

En plus, une offre moins importante en AC par rapport au LAB serait liée à une absence de déstructuration lors du travail du sol. En effet, il est reconnu que cette déstructuration des agrégats du sol lors du labour offre de l'azote minéral très rapidement (Huang, K., et al., 2012).

L'hypothèse d'une asynchronie entre l'offre et la demande sous AC L à base de légumineuse annuelle est apparue dans les expérimentations GSRUSE de la saison 2015 avec plus d'offre en N en début de cycle sous ce système par rapport au LAB mais sans effet sur le rendement par la suite (Figure 6). Cette asynchronie est liée à une forte disponibilité en N du sol alors que le système racinaire du riz n'est pas suffisamment développé pour capter d'azote minéral. Ce phénomène a déjà été mis en évidence lors d'études antérieures (Ranaivoson, L., et al., 2017). Dans le même sens, la modélisation avec DSSAT donne des valeurs supérieures d'azote disponible du sol avec AC L sans forcément d'effet significatif sur l'absorption N et le rendement (Figure 9). Par contre, sur l'essai STRADIV, cette forte disponibilité d'azote du sol a un impact important sur le rendement (Tableau 13). Cet effet pourrait être lié à une meilleure synchronie avec la plante de couverture stylosanthes cultivé in situ (STRADIV). Le stylosanthes pérenne aurait un potentiel de fourniture d'azote plus longue par rapport au mulch de mucuna ou de mulch à base de stylosanthes coupé (GSRUSE). Ces différences dans la relation « offre demande » seraient donc pilotées par le rapport C/N du mulch au moment du semis avec l'hypothèse d'une meilleure synchronie avec un mulch à C/N autour de 40, soit intermédiaire entre un mulch des légumineuses à C/N 15 et du maïs à C/N 80 (Rakotoarivelo, M., 2017).

Ces résultats sur l'AC dans le Moyen Ouest, contrastent avec ceux obtenus sur les Hautes-Terres avec des systèmes en AC toujours inférieurs aux systèmes conventionnels ((Dusserre, J., et al., 2012) et (Dusserre, J., et al., 2017). Ces différences seraient premièrement liées avec un développement des cultures retardées en AC sur les hautes terres dès le début de cycle et non constaté sur le Moyen Ouest. Deux hypothèses ont été suggérées pour expliquer ces différences à savoir un plus rapide développement racinaire en relation avec le travail du sol créant de la porosité et des minéralisations de l'azote plus faibles en AC (Dusserre, J., et al., 2012).

Les Tableau 14 et Tableau 15 synthétisent les résultats obtenus avec une analyse des Forces, Faiblesses, Opportunités et Menaces (FFOM) des deux différents systèmes de culture, le système conventionnel labour sans résidus et le système d'agriculture de conservation avec résidus. Les éléments présentés intègrent donc à la fois les résultats acquis dans cette étude, enrichis et des apports par d'autres expérimentations.

Pour le système conventionnel avec labour (Tableau 14), les forces sont principalement liées à l'apport d'azote minéral provenant de la déstructuration du sol (Huang, K., et al., 2012) et un meilleur potentiel de N absorbé par le riz en relation avec le système racinaire développé en surface sous l'effet du travail du sol (Dusserre, J., et al., 2012). Les faiblesses peuvent être liées à la réduction des activités biologiques du sol en l'absence d'apport organique récent (Kladivko, 2001; Liu, T., et al. 2016). Cette limitation d'apport organique peut engendrer une plus grande dépendance aux apports d'engrais azoté avec une plus grande sensibilité aux aléas climatiques (Wezel, A., et al., 2014).

Les opportunités comme dit plus haut sont un enracinement plus rapide en surface en début de cycle (Dusserre, J., Chopart, J.-L., Douzet, J.-M., 2012) et avec comme menaces principales, une dégradation de sol engendrée par l'absence de couverture avec le déclenchement de ruissellement et d'érosion. A terme l'absence de restitution organique engendre une dégradation des propriétés physico-chimiques du sol avec les conséquences connues concernant la productivité des cultures (Scopel, E., et al., 2005).

Pour le système AC (Tableau 15), les forces principales sont basées sur une offre en N sol augmentée par les apports permanents de matières organiques fraîches basées sur des légumineuses (Crews, T.E. et Peoples, M.B., 2005). En général, les meilleures efficacités d'absorption du riz sont obtenues avec des apports organiques à C/N intermédiaire (Zemek, O., 2016 ; Ranaivoson, L., et al., 2017 et Rakotoarivelo, M., 2017). Ces apports répétés en matière organique améliorent le stockage en N du sol et la résilience de ces systèmes de culture dans le temps.

Les principales faiblesses sont liées à l'immobilisation en début de cycle provoquant une absorption réduite en N par le riz (Photo 9) (Dusserre, J., et al., 2017).



Photo 9. A gauche riz sur couverture maïs et à droite riz sur labour.

Les opportunités essentielles dans ces systèmes sont liées à l’insertion de légumineuse à fort potentiel de fixation biologique de l’azote atmosphérique comme le mucuna et le stylosanthes (Zemek, O., et al., 2018).

Les principales menaces connues en AC concernent les pertes potentielles par dénitrification liée à la présence de matière organique fraîche riche en N et à des conditions des sols très humides (Chapuis-Lardy, L., et al., 2009 ; Kassam, A., et al. 2009 et Kladvko, E.J., 2001). Ainsi que des possibles compétitions pour l’azote minéral par des pestes végétales lorsque la couverture du sol est insuffisante pour éviter le développement des mauvaises herbes (Ranaivoson, L., et al., 2018).

Tableau 14. FFOM du système labour

SYSTÈME CONVENTIONNEL LABOUR (sans résidus)

FORCES	FAIBLESSES
<p>Meilleure proportion N sol absorbé par le riz</p> <p>Réduction du processus d’immobilisation N du sol par absence de résidus</p> <p><i>Offre en N sol augmentée par déstructuration des agrégats</i></p>	<p>Plus grande sensibilité aux aléas climatiques</p> <p>Activités biologiques du sol réduites</p>
OPPORTUNITES	MENACES
<p>Enracinement en surface plus important</p> <p><i>Moins de compétition pour N du sol des mauvaises herbes</i></p>	<p>Moins de restitution d’origine organique</p> <p><i>Plus de perte en N par ruissellement et érosion</i></p> <p><i>Plus grande dépendance en engrais azoté</i></p>

Tableau 15. FFOM du système labour

SYSTÈME AGRICULTURE DE CONSERVATION (avec résidus)

FORCES	FAIBLESSES
<p>Offre en N sol augmentée par les MO (mulch et sol)</p> <p>N absorbé par le riz potentiellement meilleur avec un mulch à C/N intermédiaire</p> <p>Stockage N sol</p>	<p>Asynchronie entre l’offre et la demande C/N faible</p> <p>Plus de perte en N par lixiviation (humidité)</p> <p>Immobilisation d’N avec un mulch à C/N élevé</p>
OPPORTUNITES	MENACES
<p><i>Limitation de l’érosion et des pertes en N par ruissellement</i></p> <p><i>Fixation N atmosphérique légumineuses</i></p>	<p>Emission GES par dénitrification N₂O</p> <p><i>Compétition pour N des mauvaises herbes (mulch insuffisant)</i></p>

III.3. Sur le plan méthodologique

Le schéma quadripolaire de Van Noordwijk, M. and Van de Geijn, S.C. (1996) et Porter, J.R. and Christensen, S. (2013) adapté à la culture de riz pluvial, a montré son intérêt pour l'étude de l'efficacité de l'azote apporté sous forme d'engrais minéral (NUSE) (figure 3 Figure 3), par l'étude séparée des trois étapes que sont respectivement NAPE, NUPE et NUTE. Le NAPE (N Application Efficiency) estime la relation entre l'azote apporté sous forme d'engrais et l'azote disponible dans le sol (0-80 cm) ; le NUPE (N Uptake Efficiency), la relation entre l'azote disponible dans le sol et l'azote absorbé par le riz, le NUTE (N utilization Efficiency), la relation entre l'azote absorbé par la culture et le rendement grain en $t\ ha^{-1}$ du riz.

Pour NAPE, les mesures de l'azote minéral in situ à quatre périodes clés sur le profil cultural de riz pour la calibration du modèle DSSAT sur STRADIV, ont permis d'estimer les pertes par lixiviation pour l'ensemble des autres essais (Dusserre, J., et al., 2018).

Pour NUPE, l'intérêt de réaliser un diagnostic précoce avec l'outil SPAD à la montaison a été montré par une bonne corrélation entre cette mesure et le rendement final avec des équations différentes selon LAB et AC L (Figure 13).

Il y a des questionnements sur les études racinaires selon la priorité accordée quant à leur stade de réalisation et à leur profondeur. L'intérêt de réaliser des diagnostics racinaires en début de cycle apparaît limité pour les mettre en relation avec l'azote absorbé à la récolte. Ainsi, une préférence serait à accorder à des études racinaires à la floraison (Figure 12). En effet, les profils racinaires réalisés à la floraison ont permis de bien séparer les différenciations en surface et en profondeur et d'émettre certaines hypothèses nouvelles. Les différenciations racinaires en surface à la floraison seraient plus explicatives en terme de productivité liée à l'efficacité de l'azote en raison d'une meilleure proximité entre le système racinaire dense à la surface du sol et ressource azotée du sol principalement concentré à ce niveau. Une meilleure efficacité de l'azote pourrait être liée à une disponibilité en phosphore (P) augmentée. En effet, les différenciations en disponibilité en P du sol s'exprimeraient mieux sur l'horizon de surface grâce à une homogénéité de répartition du P apporté par les engrais en LAB. En LAB, le P sous forme d'engrais est bien réparti chaque année par le travail du sol avec pour conséquence une meilleure proximité avec les racines (élément très peu mobile). Et inversement en AC, le P sous forme d'engrais est localisé chaque année au niveau des poquets avec donc moins bonne proximité entre la ressource en P et le système racinaire en cours de développement. Cette préférence de réaliser un diagnostic autour de la floraison à la surface a été également mise en évidence dans un autre contexte (Dusserre, J., et al., 2012 et Dusserre, J., et al., 2015).

Pour NUTE, la mise en relation avec la variété de riz pluvial NERICA 4 pour les plus faibles valeurs d'azote absorbé et le rendement grain, suggère une très bonne capacité de cette variété à transformer l'azote en grain (Figure 15 et Figure 16). Ce résultat est important pour le programme de sélection et les agriculteurs de la région car cette variété commence à se diffuser par elle-même avec d'autres

qualités reconnues notamment à sa résistance à la peste végétale *Striga asiatica* (Randrianjafizana, M.T., et al., 2018).

L'apport du modèle DSSAT a été principalement de mettre en évidence les pertes liées à la lixiviation de l'azote en relation avec le régime pluviométrique montrant un excès d'eau sur trois mois de l'année (Figure 4) et lié aux variations interannuelles des régimes pluviométriques (Tableau 5) très dépendantes du régime pluviométrique. Ce flux de pertes est plus important en AC qu'en Labour notamment par la meilleure conservation de l'eau sur l'ensemble du profil, par la présence de couverture du sol qui sensée réduire le ruissellement et l'évapotranspiration du sol (Scopel, E., et al., 2004).

III.4. Limites de l'étude

Concernant l'étude d'efficience de l'azote sous forme d'engrais, seule l'expérimentation GSRUSE réalisée sans apport de fumure organique, a permis une réelle estimation de celle-ci. L'AZOTE minéral produit à court terme par la fumure organique est en effet difficile à estimer à la fois par la variabilité de sa concentration en N et des différentes formes de d'azote (Dusserre, J., et al., 2018).

L'efficience de l'utilisation de l'azote est reconnue interagir avec celle de la disponibilité en P (Chikowo, R., et al., 2010). Des études mériteraient donc d'être élargies au P par rapport à cette efficience de N. De fortes différenciations existeraient entre Labour et AC, en défaveur de l'AC pour de mêmes quantités apportées qui ne seraient pas bien réparties au niveau du système racinaire en surface en l'absence de travail du sol. En effet contrairement à l'azote qui est mobile pour l'ion NO_3^- , avec la possibilité donc pour des racines éloignées d'absorber cet élément, pour les ions phosphates, cela nécessiterait une meilleure proximité entre ces ions et les systèmes racinaires (Dusserre, J., et al., 2015).

Les meilleures croissances racinaires du riz en LAB par rapport à l'AC pourraient être liées à des effets sur une meilleure structure du sol sous LAB en raison du travail du sol. L'effet du labour sur la structure du sol serait de courte durée car des mesures effectuées à la fois sur le même site et le site de référence sur les Hautes-Terres en fin d'expérimentation GARP, n'ont pas montré de différenciation en fin de cycle sur la densité apparente, indicateur de porosité.

Les limites du modèle DSSAT proviennent principalement des approximations des pertes par dénitrification qui sont apparues importantes (figure 9). La dénitrification se produit sur des sols gorgés d'eau dans les premiers centimètres de la surface, les nitrates étant transformés en oxydes d'azote et en azote élémentaire, tous deux gazeux et volatils. Les oxydes d'azote (NO_x) comprennent le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2). La dénitrification est la principale cause de perte d'azote sous conditions d'excès d'humidité, surtout dans les sols limoneux et argileux. Les nitrates provenant de toutes les sources d'azotes sont affectés: engrais de synthèse, fumiers, lisiers, engrais

verts, composts, matière organique, etc. La dénitrification demande de la matière organique facilement dégradable comme source d'énergie. Plus il y a de résidus organiques (fumiers, résidus de cultures, engrais verts) en surface, plus la dénitrification (donc les pertes d'azote) est importante. Les seules études réalisées sur des systèmes en AC dans la région ont montré que les pertes par émission de gaz à base de N_2O sont faibles également avec Labour (Chapuis-Lardy, L., et al., 2009).

III.5. Recommandations d'amélioration de l'efficacité de l'azote

Dans nos expérimentations, en système conventionnel, le labour effectué en culture manuelle à « l'angady » contrairement à la pratique des agriculteurs de la région d'utilisation qui utilisent la charrue en culture attelée, s'est montré particulièrement efficace vis-à-vis de l'efficacité de l'utilisation de l'azote par le riz. Les hypothèses de cette bonne efficacité seraient liées à une plus grande profondeur de travail du sol, avec deux effets possibles :

- Une l'amélioration de la porosité du sol permettant un meilleur enracinement des cultures;
- Une déstructuration du sol favorisant la minéralisation de l'azote.

En AC, l'insertion des légumineuses est primordiale en terme d'effet sur l'offre en N pour les céréales mais aussi nos résultats montrent l'importance de la qualité de cet apport pour éviter à la fois l'immobilisation de l'azote ou les pertes par lessivage. Les résultats montrent qu'en AC M, l'offre du sol en N et l'absorption en N du riz sont inférieures aux autres systèmes en relation avec immobilisation de l'azote par les pailles de maïs C/N élevé (jaunissement...), une plus forte lixiviation.

L'importance du semis précoce pour les deux types de systèmes est également mise en lumière pour limiter les pertes lors du drainage par lixiviation de l'azote minéral particulièrement abondant en début de cycle cultural.

Comme les deux modes de gestions présentent à la fois des forces et faiblesses il est aussi intéressant de combiner les deux pour voir s'il est possible d'obtenir un compromis.

CONCLUSION

Ce travail a montré que des systèmes conventionnels optimisés avec travail du sol pouvaient être aussi performants que des systèmes innovants en rupture basé sur l'AC sans travail du sol. Les conditions de ces performances sont un labour précoce et un minimum d'apport de fumure de fond.

Dans cette région du Moyen Ouest du Vakinankaratra, l'AC a un potentiel d'amélioration de la disponibilité de l'azote minéral du sol mais pas forcément avec une augmentation de l'azote absorbé par le riz en relation avec des phénomènes d'asynchronie de « l'offre demande » en N, voire d'immobilisation de d'azote. C'est ainsi que l'efficacité de d'azote apporté sous forme d'engrais est le plus souvent similaire en AC par rapport au LAB mettant en évidence que l'AC peut rester dépendante vis-à-vis des engrais azotés. Sur ce site de référence de Moyen Ouest, seul un système en AC L pérennisé de plusieurs années à base de stylosanthes a permis une moindre dépendance à des engrais de synthèse. Il conviendrait d'étudier d'autres types ou d'associations de légumineuses annuelles permettant de se rapprocher des caractéristiques du stylosanthes quand à la qualité de sa biomasse, qui doit être équilibrée en terme de teneur en N et avec une vitesse de dégradation convenable aux besoins de la culture.

D'autres perspectives futures s'offrent à nous, notamment de tester des systèmes de culture alternant des phases de semis direct et des phases de labour pour combiner les avantages respectifs des deux systèmes.

BIBLIOGRAPHIE

- Balasubramanian, V., Morales, A.C., Cruz, Thiyagarajan, T.M., Nadu, T., Nagarajan, R., Babu, M., Abdurachman, S., Hai, L.H. (2000). Adaptation of the chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: a review. Philippines: IRRI.
- Banque Mondiale. (2016). Indicators.[Data World Bank]. <http://data.worldbank.org/indicator> consulté le 01,06,18
- Boddey, R. M., Sã, J. C. M., Alves, B. R. J., and Urquiaga, S. (1997). The contribution of biological nitrogen fixation for sustainable agricultural systems in the tropics. *Soil Biology and Biochemistry* 29, 787-799.
- Bonny, S., (2011). L'agriculture écologiquement intensive: nature et défis. *Cah. Agric.* 20, 451–462.
- Chapuis-Lardy, L., Metay, A., Martinet, M., Rabenarivo, M., Toucet, J., Douzet, J.M., Razafimbelo, T., Rabeharisoa, L., Rakotoarisoa, J., (2009). Nitrous oxide fluxes from Malagasy agricultural soils. *Geoderma* 148, 421–427.
- Chikowo, R., Corbeels, M., Mapfumo, P., Tittonell, P., Vanlauwe, B., Killcr, K. (2010). Nitrogen and phosphorus capture and recovery efficiencies, and crop responses to a range of soil fertility management strategies in sub-Saharan Africa *Nutr Cycl Agroecosyst* 88:59-77
- Chopart, J.L., Sine, B., Dao, A., Muller, B. (2008). Root orientation of four sorghum cultivars: application to estimate root length density from root counts in soil profiles. *Plant Root* 2: 67-75. doi:10.3117/plantroot.2.67
- Chopart, J.L., Mézo, L., Mézino, M., (2009). RACINE2: A software application for processing spatial distribution of rootlength density from root intersections on trench profiles. CIRAD, France.
- Crews, T.E., Peoples, M.B., (2005). Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 72, 101–120.
- Dusserre, J., Chopart, J.-L., Douzet, J.-M., Rakotoarisoa, J., Scopel, E., (2012). Upland rice production under conservation agriculture cropping systems in cold conditions of tropical highlands. *Field Crops Res.* 138, 33–41.
- Dusserre, J., Rakotoarivelo, M., Autfray, P., Chopart, J.L., (2015). Root mapping of upland rice to access potential root extraction ratio in soil. Poster presented at the International Symposium of International Society of Root Research 6,9- Canberra, Australia.
- Dusserre, J., Raveloson, H., Michellon, R., Gozé, E., Auzoux, S., Sester, M., (2017). Conservation agriculture cropping systems reduce blast disease in upland rice by affecting plant nitrogen nutrition. *Field Crops Res.* 204, 208–221.
- Dusserre, J., Autfray, P., Rakotoarivelo, M., Rakotoson, T., Raboin L.M., Porter, J. (2018). Use of simulation tools to help decrypt the effects of seasons and cropping systems on yield response to fertilizer and crop residue applications in upland rice crop. *Field Crops Research*. Submitted on April 2018.
- FAO. (2015). Nourrir une population mondiale croissante exige des investissements en milieu rural. <http://www.fao.org/news/story/fr/item/338200/icode/> consulté le 01, 06, 18.
- FAO-UN. (2016). Soils and pulses symbiosis for life. Rôme: FAO.
- Huang, K., Whitlock, R., Press, M.C., Scholes, J.D., (2012). Variation for host range within and among populations of the parasitic plant *Striga hermonthica*. *Heredity* 108, 96.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T., (2003). The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron.* 18, 235–265.
- Kassam, A., Friedrich, T., Shaxson, F., Pretty, J., (2009). The spread of Conservation Agriculture: justification, sustainability and uptake. *Int. J. Agric. Sustain.* 7, 292–320.
- Kladivko, E.J. (2001). Tillage systems and soil ecology. *Soil Tillage Res* 61: 61–76.
- Liu, T., Chen X, Hu, F., Ran, W., Shen, Q., Li, H., Whalen, J.K. 2016. Carbon-rich organic fertilizers to increase soil biodiversity: evidence from a meta-analysis of nematode communities. *Agric Ecosyst Environ* 232:199–207.
- Michellon, R., Husson, O., Moussa, N., Randrianjafizanaka, M.T., Naudin, K., Letourmy, P., Andrianaivo, A.P., Rakotondramanana, Raveloarijaona, N., Enjalric, F., Penot, E., Séguy, L., 2011, *Strigaasiatica* : a drivinh-force for dissemination of conservation agriculture systems based on *Stylosanthesguianensis* in Madagascar. Paper presented at the 5th World Congress of

- Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conference, Brisbane, Australia.
- Porter, J.R., Christensen, S., (2013). Deconstructing crop processes and models via identities: Crop models for climate change. *Plant Cell Environ.* n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/pce.12107>
- Raharison, T. (2014). Politiques publiques de développement à Madagascar et durabilité de l'agriculture et des exploitations agricoles, Etude de cas dans le Moyen Ouest. Master Recherche Agriculture, Alimentation et Développement Durable. Montpellier SUPAGRO.
- Rakotoarivelo, M., (2017). Le rôle de *stylosanthes* sur la résilience des sols cultivés sur les plateaux d'altitude à madagascar. Master recherche Biodiversité et Ecologie des Systèmes Tropicaux Terrestres. Université de La Réunion.
- Ranaivoson, L., Naudin, K., Ripoche, A., Affholder, F., Rabeharisoa, L., Corbeels, M., (2017). Agroecological functions of crop residues under conservation agriculture. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 37.
- Ranaivoson, L., Naudin, K., Rabeharisoa, L., Corbeels, M. (2017). Soil dynamics under conservation agriculture in the lake Alaotra region of Madagascar. Wageningen Soil Conference. 2017. Poster.
- Ranaivoson, L., Naudin, K., Ripoche, A., Rabeharisoa, L., Corbeels, M., (2018). Is mulching an efficient way to control weeds? Effects of type and amount of crop residue in rainfed rice based cropping systems in Madagascar. *Field Crops Res.* 217, 20–31. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.027>
- Randrianjafizanaka, M.T., Autfray, P., Andrianaivo, A.P., Ramonta, I.R., Rodenburg, J., (2018). Combined effects of cover crops, mulch, zero-tillage and resistant varieties on *Striga asiatica* (L.) Kuntze in rice-maize rotation systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 256, 23–33.
- Ratnadass, A., Fernandes, P., Avelino, J., Habib, R., 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 273–303.
- Raunet, M., (2008). Initiation à la lecture des paysages morho-pédologiques de Madagascar. BVPI/SEHP. 58 p.
- Razafimahatratra, M.H., Raharison, T., Bélières, J.F., Autfray, P., Salgado, P., Rakotofiringa, H.Z. (2017). Systèmes de production, pratiques, performances et moyens d'existence des exploitations agricoles du Moyen-Ouest du Vakinankaratra. Antsirabe: SPAD.
- Scopel, E., Da Silva, F.A.M., Corbeels, M., Affholder, F., Maraux, F., 2004. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. *Agronomie* 24, 383–395.
- Scopel, E., Douzet, J.-M., da Silva, F.-A.M., Cardoso, A., Moreira, J.A.A., Findeling, A., Bernoux, M., (2005). Impacts des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) sur la dynamique de l'eau, de l'azote minéral et du carbone du sol dans les cerrados brésiliens. *Cah. Agric.* 14, 71–75.
- Scopel, E., Triomphe, B., Affholder, F., Da Silva, F.A.M., Corbeels, M., Xavier, J.H.V., Lahmar, R., Recous, S., Bernoux, M., Blanchart, E., de Carvalho Mendes, I., De Tourdonnet, S., (2013). Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33, 113–130.
- Van Noordwijk, M., Van de Geijn, S.C., (1996). crop growth limited by water or nutrients. *Plant Soil* 1, 1–25.
- Wezel, A., Bellon, S., Doré, T., Francis, C., Vallod, D., David, C., (2009). Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 503–515.
- Wezel, A., Casagrande, M., Celette, F., Vian, J.-F.J.-F., Ferrer, A., Peigné, J., (2014). Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34, 1–20.
- Zemek, O., (2016). In transition to conservation agriculture nitrogen dynamics in a rice *Stylosanthes guianensis* crop rotation in the Midwest highlands of Madagascar. Thèse 3^{ième} cycle, Université Polytechnique Fédérale, Zurich.
- Zemek, O., Frossard, E., Scopel, E., Oberson, A., (2018). The contribution of *Stylosanthes guianensis* to the nitrogen cycle in a low input legume-rice rotation under conservation agriculture. *Plant Soil* 1–24.