

École supérieure d'Agriculture d'Angers
55 rue Rabelais
49007 ANGERS



IRD- UMR Eco&Sols
Place Viala
34000 MONTPELLIER
Éric Blanchart



PROPOSITION D'INDICATEURS MULTICRITÈRES D'ÉVALUATION DE PERFORMANCE DE PRATIQUES DE RESTAURATION DES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES DES SOLS : LE CONTEXTE DE LA RIZICULTURE PLUVIALE DES HAUTES TERRES DE MADAGASCAR.

Mémoire de Fin d'Etudes
Promotion 118
Date : 04/09/2020



Maurane DAMOISEAUX
Élève-Ingénieure ESA
Patron de mémoire : Mario CANNAVACCIUOLO

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

Auteur : Maurane Damoiseaux

Promotion : 118

Patron de mémoire : Mario CANNAVACCIUOLO

Sujet d'étude : Indicateurs multicritères d'évaluation des performances de pratiques de restauration des fonctions écologiques des sols : Le contexte de la riziculture pluviale des Hautes-Terres de Madagascar.

Signalement : Corps de texte : 73pages, 35 Tableaux, 11 Figures, 20 annexe

Mots-clés : Indicateurs, pratiques, performances, écologique, agronomique, perception paysanne

RÉSUMÉ D'AUTEUR

BUTS DE L'ETUDE

METHODES & TECHNIQUES

RESULTATS

CONCLUSION

Dans le contexte de la riziculture pluviale des Hautes-Terres de Madagascar, la restauration des fonctions écologiques des sols s'avère être pertinente pour améliorer la production et maintenir une fertilité acceptable des terres ferrallitiques très pauvres en éléments essentiels. Le projet SECuRE a été mis en place pour restaurer ces fonctions écologiques des sols à partir de 16 pratiques de fertilisation différentes « SFR ». Le but de cette étude est l'évaluation de ces SFR sur trois axes de performance écologique, agronomique et de perception paysanne permettant d'aboutir à un « indicateur global multicritères ». Après deux années d'expérimentation, une série de descripteurs des performances agronomiques, écologiques ainsi que de perception paysanne ont été mesurés sur les différents traitement SFR et constitue le jeu de donnée de départ. Les méthodes de construction d'indicateurs sont multiples et peuvent se décliner en quatre grandes étapes : la sélection, le scoring, la pondération et l'agrégation à plusieurs niveaux pour aboutir à l'indicateur recherché. Ces étapes peuvent être réalisées de différentes manière mais deux grandes approches ont pu être identifiées « les approches expertes » reposant sur l'avis d'expert et les sources bibliographiques ainsi que « les approches statistiques » basées sur des méthodes statistiques le plus souvent qu'elles le permettent. Il s'agit donc de se demander parmi toutes ces méthodes **quels sont celles qui permettent d'évaluer au mieux les pratiques SFR testées sur le site de la région Itasy sur leurs performances de restauration des fonctions écologiques au bénéfice de la production du riz pluvial et qui sont acceptable d'un point de vue de la perception paysanne.** Enfin, quels résultats peut-on tirer de l'indicateur retenu ? Les résultats de l'étude ont montré que les approches « statistiques » notamment pour sélectionner et pondérer les variables sont les plus robustes. Ce type d'indicateur a alors permis d'évaluer les pratiques SFR. De manière générale les indicateurs ont permis d'identifier les pratiques apportant le plus de matières organiques mélangées à des matières minérales comme étant les plus performantes. Ces pratiques apportent en effet le plus de phosphore, calcium, magnésium et azote, éléments limitant dans le contexte d'étude. Le SFR15 composé de fumier traditionnel, compost, lombricompost et guano permet de maximiser les performances sur les trois axes. En effet, il arrive premier de l'indicateur de performance agronomique et second de l'indicateur écologique, il reste acceptable (5^{ème} place) pour les paysans même si son coût élevé et sa difficulté d'approvisionnement identifiés peuvent freiner sa mise en place sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIC RECORD

Autor : Maurane Damoiseaux

Promotion :118

Tutor : Mario CANNAVACCIUOLO

Subject : Multicriteria indicator to evaluates the performance of different ecological soil function restauration practices : The context of rainfed rice cultivation in the highlands of Madagascar.

Signalement : 73 pages, 35 tables, 11 Figures, 20 annex.

Key-words : Indicator, practices, performance, ecological, agronomic, farmer perception.

SUMMARY

GAOLS

In the context of rainfed rice cultivation in the highlands of Madagascar, the restoration of the ecological functions of soils may improve crop production and will allow acceptable fertility of poor ferralitic soils which miss some essential nutrient (phosphorus, calcium, magnesium and nitrogen). The SECuRE project was set up to restore these ecological functions of soils from 16 different fertilization practices "SFR". The aim of this study is the evaluation of these practices « SFRs » on three performance axes : The ecological performance, agronomic performance and farmer perception, leading to a "global multi-criteria indicator". After two years of experimentation, a series of agronomic, acological descriptors as well as farmer's perception descriptors were measured on the various SFR treatments and constitutes the starting data set. Many methods of constructing indicators are referenced in the literature and can be broken down into four main stages: selection, scoring, weighting and aggregation at several levels to lead to the required indicator. These steps can be perform by different ways but two main approaches have been identified: "expert approaches" based on expert opinion and bibliographic sources as well as "statistical approaches" based on statistical methods as often as possible. It is therefore a question which could be ask : among all these methods, which ones may be the best to assess the SFR practices tested on the site of the Itasy region on their performance in restoring ecological functions for the benefit of rainfed rice production and which are acceptable from farmer's perception point of view. Finally, what results can be drawn from the chosen indicator? Results of study showed that "statistical" approaches, particularly for selecting and weighting variables, are the most robust. This type of indicator then made it possible to assess SFR practices. In general, the indicators which have allowed to identify the practices providing the most organic matter mixed with mineral matter as being the most efficient. These practices provide the most phosphorus, calcium, magnesium and nitrogen, which are the limiting elements in the study context. The SFR15, composed of traditional manure, compost, vermicompost and guano, maximizes performance on all three axes. Indeed, it comes first in the agronomic performance indicator and second in the ecological indicator, it remains acceptable (5th place) for farmers even if its high cost and its identified supply difficulty can slow down the setting up of this practice in the field by farmer.

METHODS &
TECHNIQUES

RESULTS

CONCLUSION

REMERCIEMENTS

C'est ici que s'achève la réalisation de mon mémoire de fin d'études. Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont rendu cette expérience possible :

*Je tiens particulièrement à remercier mes trois principaux encadrants que sont Eric Blanchart mon maître de stage, Laetitia Bernard et Jean Trap pour leur bienveillance, pour avoir pris le temps de m'accompagner, de m'expliquer, de répondre à toutes mes questions, tous les mails et de suivre l'avancée du stage de près et ce, même durant la période de confinement. Merci de m'avoir fait confiance pour me permettre d'apprendre à m'organiser et à développer mon autonomie. Une mention spéciale à Eric et Laetitia qui ont corrigé très efficacement tout mon rapport jusqu'à la fin et ce même durant leurs vacances !
Merci également à Onja Ratsiatosika pour son aide précieuse et sa vision d'une agronome de terrain.*

J'aimerais également remercier tous les chercheurs, doctorants et stagiaires qui ont travaillé précédemment sur le projet SECuRE et qui ont permis, suite à la mise en place des essais et de l'acquisition des données, de rendre ce stage possible. Je voudrais notamment remercier les responsables du WP3 Prof. Tantely Razafimbelo et Paulo Salgado et ceux du WP4 Laetitia Bernard et Richard Randriamanantsoa sans oublier ceux qui ont organisé les ateliers « paysans » notamment Sarah Audouin, co-responsable du WP5 et Patrice Autfray co-responsable du WP1 ainsi que Kanto Razanamalala.

Merci à Mario Cannavacciuolo mon patron de mémoire qui m'a aidé lors du démarrage de mon stage et qui s'est assuré par la suite du bon déroulement de celui-ci.

Cette expérience m'a permis de rencontrer mes collègues de travail Léo et Sylène qui sont très vite devenu des amis. Je les remercie pour leur aide, leur écoute, les cafés et les repas et bien-sûre les aventures ! Merci pour les sourires à pleines dents et les fous rires puissants.

Je voudrais adresser une mention très spéciale à tous mes colocataires du 27 rue PM, ces personnes incroyables avec qui j'ai passé tout le confinement en télétravail. Merci d'avoir su renouveler le temps, embaumer mes journées, me motiver et me reconforter. Ce sont des personnes qui inspirent et qui donnent, pour la suite, l'envie de faire du mieux possible.

Je ne voudrais surtout pas oublier de remercier ma grande sœur. Merci d'avoir les mots justes. Merci de toujours tout comprendre.

Enfin, maman, papa je vous dédie ce mémoire ce qui est la moindre des choses car c'est grâce à vous que j'ai eu la possibilité d'accéder à ces études et de faire mes choix avec sérénité. Merci pour votre amour qui me donne la plus belle des forces.

Table des matières

I.	INTRODUCTION	6
1.	1. L'organisme d'accueil et lieu de stage : L'IRD à l'UMR ECO&SOLS	6
2.	Le projet SECuRE : Problématique et enjeux	7
3.	Mission de stage : Évaluation de la performance des SFR	10
II.	ÉTAT DE L'ART	11
1.	Madagascar : Le contexte particulier de la riziculture des Hautes Terres sur sols ferrallitiques	11
2.	Les grandes fonctions des sols	11
3.	Pratiques de restauration des fonctions des sols SFR	12
4.	Notion de descripteurs	12
a)	DESCRIPTEURS DE PERFORMANCES DES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES DES SOLS	12
b)	DESCRIPTEUR DE PERFORMANCES AGRONOMIQUES	15
b)	Descripteurs de performances socio-économiques	16
5.	Étapes de construction des Indicateurs pour évaluer les performances des pratiques agricoles	16
a.	SÉLECTION DES DESCRIPTEURS	17
b.	NORMALISATION ET SCORING	19
c.	LA PONDÉRATION ET L'AGRÉGATION	20
4.	Les différentes approches aboutissant aux indicateurs de performance	21
III.	QUESTION DE RECHERCHE	23
IV.	MATERIELS ET MÉTHODES	24
1.	Matériel végétal	24
2.	Traitements étudiés : Les pratiques SFR	24
3.	Indicateurs d'évaluation de la restauration des fonctions écologiques des sols et des performances agronomiques des SFR	26
A.	DESCRIPTION DU JEU DE DONNÉES	26
B.	ETAPE DE CONSTRUCTION DES INDICATEURS	26
4.	Indicateurs d'évaluation des pratiques SFR par la perception paysanne	36
5.	Construction des indicateurs globaux (IG)	37
C.	COMPARAISON DES RESULTATS DES DIFFERENTES EVALUATIONS	38
V.	RÉSULTATS	39
1.	Résultats des étapes de construction de l'indicateur Agro/Eco	39
A.	RESULTAT DE LA SELECTION DES VARIABLES	39
B.	L'ETAPE DE SCORING	42
C.	PONDERATION DES VARIABLES	42
D.	RESULTATS DE L'AGREGATION DES VARIABLES	45
6.	Résultat des classements des SFR par la méthode Nanson	45
A.	RÉSULTATS DES CLASSEMENT DES SFR SUR L'AXE ÉCOLOGIQUE	45
B.	RÉSULTATS DES CLASSEMENTS DES SFR SELON LES DIFFERENTES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES	47
C.	RÉSULTATS DES INDICATEURS DE L'AXE AGRONOMIQUE	49
D.	RÉSULTATS DES CLASSEMENTS DES SFR SUR LES DIFFERENTES FONCTIONS AGRONOMIQUES	50
7.	Résultats des différents indicateurs construits, indices et classements	53
A.	RÉSULTATS DES INDICATEURS DE L'AXE ECOLOGIQUES (IAE)	53
B.	RÉSULTATS DES INDICATEURS DES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES (IAEIF)	54
C.	RÉSULTATS DES INDICATEURS DE L'AXE AGRONOMIQUE	56
D.	CORRELATIONS ENTRE INDICES DES SFR OBTENUES PAR DIFFERENTS INDICATEURS AVEC LES PROPRIETES DE CES SFR	57
E.	RESULTATS DES INDICATEURS DES FONCTIONS AGRONOMIQUES (IA IF)	58
F.	CORRELATIONS ENTRE INDICES DES SFR OBTENUES PAR DIFFERENTS INDICATEURS AGRONOMIQUES AVEC LES PROPRIETES DE CES SFR (Tableau XXVI)	60
8.	Comparaison des différents classements et corrélations des indicateurs	61
9.	Indicateurs de perception paysanne	65
A.	ÉVALUATION DES PERFORMANCES AGRONOMIQUES DES SFR PAR LES PAYSANS DE LA RÉGION ITASY	65
B.	ÉVALUATION TECHNICO-ÉCONOMIQUE DES SFR PAR LES PAYSANS DE LA RÉGION ITASY	66
VI.	DISCUSSION	67
1.	Comparaisons, similitudes et différences des différentes étapes de la construction des indicateurs	67
A.	INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET COMPARAISON DES ÉTAPES DE LA SÉLECTION	67
B.	INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DU SCORING ET COMPARAISONS DES DIFFÉRENTES MÉTHODES	68
C.	INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE LA PONDÉRATION ET COMPARAISON DES DIFFÉRENTES MÉTHODES	69
D.	INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE L'AGRÉGATION ET COMPARAISON DES DIFFÉRENTES MÉTHODES	70
2.	Quel type de construction d'indicateur retenir ?	70
3.	Quels sont les SFR qui améliorent le mieux les performances écologiques ?	72
A.	SUR L'AXE ÉCOLOGIQUE GLOBAL ?	72
B.	SUR LES DIFFÉRENTES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES DES SOLS	73
4.	Quels sont les SFR qui améliorent les performances agronomiques ?	74
A.	SUR L'AXE AGRONOMIQUE GLOBAL	74
B.	SUR LES DIFFÉRENTES FONCTIONS AGRONOMIQUES	75
5.	Les SFR qui obtiennent les meilleures performances écologiques sont-elles celles qui obtiennent les meilleures performances agronomiques ?	76
6.	Les meilleures SFR améliorant le plus les performances écologiques et agronomiques sont-elles bien perçues par les paysans de la région ?	76
7.	Quels sont les limites de la méthodologie appliquée et les pistes d'amélioration à envisager ?	77
VII.	CONCLUSION	79
	BIBLIOGRAPHIE	80

I. INTRODUCTION

1. 1. L'organisme d'accueil et lieu de stage : L'IRD à l'UMR ECO&SOLS

L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) est un établissement public français. Il est coordonné par le Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation d'une part et le Ministère de l'Europe et des Affaires Etrangères d'autres part. L'IRD apporte formation, recherche et partage des savoirs au bénéfice de tous pays et territoires des régions intertropicales et méditerranéennes qui feraient de ces trois leviers un enjeu majeur de leur développement durable et humain. Ses actions se font via des partenariats scientifiques dans ces pays.

L'unité mixte de recherche Eco&Sols dans lequel l'IRD est impliqué regroupe des chercheurs travaillant sur des projets visant à améliorer la compréhension de l'écologie des sols c'est-à-dire du rôle des organismes du sol et des plantes ainsi que de leurs interactions, entre eux et avec leur milieu, dans les cycles biogéochimiques en milieu cultivé. Dans le contexte actuel, ces travaux portent essentiellement sur l'ensemble des services écosystémiques apportés par les sols permettant des systèmes agronomiques tropicaux et méditerranéens plus résilients et durables.

Plus précisément cela consiste en la maîtrise des flux C, N, et P pour une production soutenue et durable des agroécosystèmes à bas niveaux d'intrants. Les travaux de recherches portent sur la comparaison d'itinéraires techniques mais aussi de systèmes de cultures et s'appuient sur l'observation, l'expérimentation, ou la modélisation. Ils concernent : (i) la gestion des intrants organiques et minéraux, (ii) l'introduction de géotypes de plantes ou d'organismes symbiotiques performants, (iii) l'utilisation de peuplements plurispécifiques et (iv) toute autre pratique agroécologique (non-labour, agriculture sous couvert végétal agriculture biologique, agroforesterie, zaï, etc.).

La majorité de ces travaux sont inscrits dans des projets de recherche de diverses envergures financées par différents bailleurs : les instituts de recherche, l'agence nationale de la recherche ANR, des fondations (Agropolis, FRB...), l'ADEME, des ministères, l'Europe et d'autres partenariats. L'unité est organisée en 3 thèmes de recherche et 3 axes transversaux (figure 1). Le thème 1 a pour objectif la compréhension des processus et des interactions biologiques impliquées dans les cycles du C et des nutriments N et P. C'est à ce thème qu'est relié le projet SECuRE (Soil ECological function REstoration to enhance agrosystem services in rainfed rice cropping systems in agroecological transition), financé par la fondation Agropolis, et dans lequel s'inscrit ce stage de fin d'étude.

2. Le projet SECuRE : Problématique et enjeux

Dans le contexte actuel mondial du réchauffement climatique, de l'insécurité alimentaire accentuée par la croissance démographique, de la surexploitation des ressources naturelles ainsi que de la perte drastique de la biodiversité, l'adoption du concept d'agroécologie au sein des agrosystèmes est grandissante. En effet, une plus grande importance est aujourd'hui donnée aux processus écologiques que l'agroécologie essaie de maximiser au sein des agrosystèmes au bénéfice de la production. Cependant même si de nombreuses relations entre la biodiversité du sol et les fonctions écologiques du sol ont été démontrées, peu d'importance est encore donnée à ces fonctions du sol et cette biodiversité souterraine dans l'adoption des pratiques agricoles. Or, dans le contexte Malgache, l'étude de ces processus apparaît comme nécessaire pour la régénération des sols.

En effet, la **restauration des fonctions écologiques du sol** est pertinente pour les agricultures paysannes tropicales. A Madagascar, le riz est la base de l'alimentation de la population, et est traditionnellement produit en culture inondée dans les bas-fonds. Mais ce type de riziculture ne suffit plus à nourrir la population. Les paysans des Hautes Terres cherchent alors à cultiver des variétés pluviales sur les pentes des collines. Cependant, les sols de ces régions sont ferrallitiques, donc pauvres en matière organique MO et en nutriments (phosphore P et azote N) essentiels à la croissance des plantes, et très sensibles à l'érosion. De plus, cette riziculture est très souvent mise en place dans de petites exploitations où les agriculteurs disposent de peu de moyens. Les fertilisants chimiques sont trop chers et la fertilisation organique s'établit via les animaux d'élevage qui ne se trouvent pas en quantité suffisante. C'est pourquoi la fertilité des sols baisse au cours des années. Le territoire malgache est de plus très sensible au réchauffement climatique. Il est donc important d'optimiser la robustesse des fonctions écologiques des sols pour conserver la résilience des systèmes agricoles.

Le projet SECuRE, (Soil Ecological Function Restoration to enhance agrosystem services in rainfed rice cropping systems in agroecological transition) débuté en 2017, est un projet de recherche multidisciplinaire et multi-acteurs ayant comme objectif la régénération des fonctions écologiques des sols de Madagascar pour rétablir une riziculture pluviale durable et productive sur les Hautes Terres. Les objectifs de ce projet étaient d'identifier des pratiques innovantes de restauration des sols (SFR pour Soil Function Restoration) permettant d'accroître les performances écologiques, agronomiques et socioéconomiques des exploitations.

Les partenaires du projet sont des institutions françaises et malgaches travaillant en collaboration. Il implique l'Université d'Antananarivo (notamment le laboratoire LRI et l'École Supérieure des Sciences Agronomiques ESSA), le FOFIFA (Centre National de Recherche Appliquée au Développement Durable), le CIRAD (Organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes) et l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement). Ainsi, différents spécialistes sont intégrés au projet : agronomes, écophysiolgistes, sélectionneurs, socio-économistes, écologues du sol, pédologues et spécialistes en innovation qui travaillent en concertation étroite avec des ONG et des réseaux d'agriculteurs.

Deux sites d'étude étaient concernés par le projet (Figure 1), Itasy et Ivory. Ces deux régions se trouvent dans 2 contextes pédo-climatiques différents où les pratiques utilisées par les paysans diffèrent également. Le présent stage s'est focalisé sur les données récoltées dans la région d'Itasy sur le site d'Imerintsiatosika.

Imerintsiatosika est une petite commune de la région d'Itasy, située à une vingtaine de km à l'Ouest d'Antananarivo, qui se trouve à 1300 m d'altitude avec en moyenne 1300 mm de précipitations annuelles et 18°C de température annuelle. Les sols sont des Ferralsols argileux où la teneur en carbone ainsi que la disponibilité des éléments nutritifs sont très faibles (20 gC.kg⁻¹ de sol, 1,2 gN.kg⁻¹ de sol et 1,6 mg P disp.kg⁻¹ de sol). La composition moyenne des sols en argile-limon-sable est en moyenne de 40-20-40% dans la couche supérieure. Le pH_{eau} des sols est autour de 5,1. Les exploitations de la région sont de petites exploitations de 50 à 100 ares en moyenne avec comme principales productions le riz (essentiellement de bas-fonds) associé à des cultures maraichères et des arbres fruitiers. Souvent quelques animaux d'élevage sont également présents dans les exploitations (1 à 2 zébus et 1 à 2 porcs en moyenne par exploitation).

Depuis le début du projet, l'identification des connaissances locales et des connaissances scientifiques sur la restauration des fonctions des sols a été réalisée. En conséquence, vingt-cinq pratiques SFR ont été intégrées à un essai agronomique mis en place sur une parcelle de savane mise à disposition par un agriculteur du projet. Dans ces pratiques SFR, des amendements locaux organiques (fumier traditionnel, fumier amélioré, composts, lombricomposts etc.) et inorganiques (cendres, dolomie, guano, etc.) de qualité et de quantité différentes, seuls ou en association, ont pu être testés. De même des organismes clés dans la réalisation des fonctions écologiques (mycorhizes et vers de terre) ont été apportés sur les parcelles. Les effets, sur le sol comme sur les plantes, des matières organiques et/ou minérales et/ou biofertilisants apportés ont été étudiés grâce à de nombreux descripteurs de fonctionnement écologique du sol de données agronomiques. En parallèle, les agriculteurs ont été invités à appréhender les différentes pratiques sur un plan socio-économique.

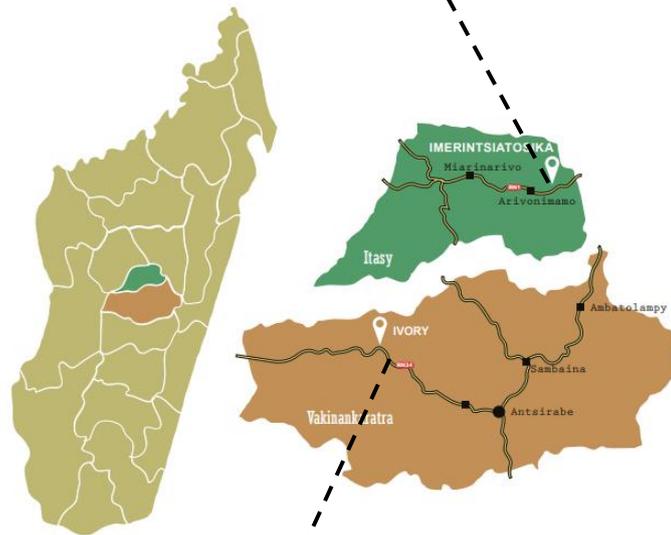


FIGURE I : SITES D'EXPERIMENTATIONS D'ITASY (EN HAUT) ET DE VAKINRANKARATRA (EN BAS).

3. Mission de stage : Évaluation de la performance des SFR

La mission, confiée durant ce stage, s'insère dans le WP d'évaluation des pratiques SFR. Après deux années d'expérimentations, une série importante de descripteurs sur le fonctionnement écologique du sol (variables physicochimiques ou biologiques) ainsi que de descripteurs des performances agronomiques a été récoltée. Suite à des ateliers mis en place avec les paysans de la région, des descripteurs de perception paysanne ont également été mis à disposition. Il apparaît aujourd'hui important d'évaluer la performance de ces pratiques SFR les unes par rapport aux autres tenant compte de la **performance écologique**, de la **performance agronomique** et de la **perception paysanne** de ces SFR. L'ambition de la mission est de **construire un indicateur multicritère de performance** en sélectionnant les descripteurs les plus sensibles aux pratiques. Concernant les descripteurs écologiques, on retiendra les mieux corrélés aux principales fonctions écologiques pour ensuite les agréger dans un indice global de performance écologique. Il en sera de même sur les descripteurs agronomiques pour construire un indice global de performance agronomique. Ces indices pourront également être comparés à l'indice global de perception paysanne. Ces indices permettront de classer les SFR selon les objectifs attendus ce qui permettra de proposer une ou plusieurs pratiques pouvant être vulgarisée auprès des paysans malgaches. L'objectif est de permettre aux agriculteurs de choisir les pratiques selon leurs propres objectifs et contraintes, aux scientifiques de continuer à proposer des solutions en accord avec les contraintes, ou de travailler avec les agriculteurs sur la levée de certaines contraintes.

Les objectifs de la mission sont de comprendre (i) quelles sont les différentes approches et méthodes (experts/ statistiques) de mise en place d'indicateurs multicritères qui existent dans la littérature et (ii) quelles sont celles qui correspondent à l'objectif d'évaluation des pratiques dans le cadre du projet SECuRE. Dans un deuxième temps (iii) il s'agira d'élaborer une méthodologie aboutissant à la construction d'indices de performances et de l'appliquer au jeu de données du projet SECuRE pour révéler les pratiques SFR qui obtiennent les meilleures performances sur les 3 axes évalués. Enfin, (iv) la rédaction d'un mémoire sur cette nouvelle méthodologie appliquée au jeu de données du projet SECuRE est attendue.

Les livrables attendus sont donc des indices de performances multicritères pour chacune des pratiques SFR correspondant au contexte particulier de la région Itasy (Madagascar) à partir du jeu de données du projet. La méthode doit pouvoir être remobilisée par la suite dans différents contextes.

II. ÉTAT DE L'ART

1. Madagascar : Le contexte particulier de la riziculture des Hautes Terres sur sols ferrallitiques

Madagascar souffre d'une grande pauvreté. L'agriculture est la principale source de revenu des paysans et fait l'objet de nombreux programmes d'aides gouvernementaux (MAEP 2019). Elle se base traditionnellement sur la culture du riz qui est l'aliment de base de la population. Dans les milieux cultivés des Hautes Terres de la région d'étude Itasy, la riziculture de bas-fond est de plus en plus associée à la riziculture de pente. En effet, la croissance démographique a obligé les agriculteurs à s'installer sur de nouveaux terrains situés sur ces pentes, zones écologiquement fragiles où le risque d'érosion est important. Or, ces sols sont des sols ferrallitiques caractérisés par une altération ancienne des minéraux primaires avec une abondance des silicates d'alumine, des hydroxydes d'alumine et hydroxydes et oxydes de fer. L'abondance de la pluie induit de plus, une faible capacité d'échange. Les principales contraintes de ces sols sont donc qu'ils possèdent une faible teneur en matière organique et en éléments minéraux (FAO 1998) et sont donc naturellement peu fertiles (Raminoarison et al. 2020). Les agriculteurs n'ont pas les moyens d'acheter les fertilisants nécessaires. Dans les exploitations, lorsque l'élevage est présent, les résidus de récolte peuvent être exportés pour nourrir les animaux ou utilisés comme litière. Le fumier est alors restitué sur les parcelles. Cependant, l'élevage n'est pas toujours intégré à la production et ces produits sont souvent indisponibles ou en quantité insuffisante. Pour cela, les agriculteurs ont développé la technique de fertilisation en poquet. Le poquet est un trou creusé au niveau des futurs pieds de riz où les graines sont déposées avec les amendements. Cette technique permet une économie de matières fertilisantes en localisant les besoins. Cependant, les parcelles restent rarement ou peu amendées car les agriculteurs disposent de peu de moyen économique pour s'approvisionner. Cela aboutit à la dégradation de la fertilité de ces sols avec une baisse des rendements au fil des années (Razafimbelo et al. 2018). De plus, le labour est une pratique courante. Élaboré manuellement ou par traction animale, cette pratique participe à l'augmentation des risques d'érosion et de pertes des nutriments.

2. Les grandes fonctions des sols

Les sols, recouvrant la majeure partie des terres émergées et pourtant assez méconnus, assurent de nombreux services nécessaires à l'humanité. En effet, les sols fournissent des services sociétaux : provision de nourriture, de fibres et de fuel, provision en matériaux de construction, support pour les fondations et conservation de vestiges archéologiques. Ils assurent également des services de régulation comme la purification et la dépollution des eaux, la régulation du climat et la régulation des inondations. Le sol est également essentiel à la production. Il est largement reconnu que le sol a 4 grandes fonctions écologiques bénéfiques à la production (Brussaard, de Ruiter, et Brown 2007 ; Patrick Lavelle et al. 1997 ; Levard, Bertrand, et Masse 2019 ; McGilloway 2005). Dans le projet SECuRE on privilégie l'approche de (Kibblewhite, Ritz, et Swift, 2008) décrivant les services fournis par les sols par ces quatre fonctions écologiques qui sont :

- a) La décomposition des matières carbonées (participant à la libération de nutriments N et P ainsi qu'à la structuration du sol par la formation d'agrégats organo-minéraux).
- b) Le maintien de la structure du sol (maintien de l'habitat, meilleure circulation de l'eau, de l'air et des organismes vivants, résistance à l'érosion).
- c) Le recyclage des nutriments (ainsi mis à la disposition de la production végétale).

d) Le contrôle biologique (régulation des pathogènes et agresseurs)

Bien que l'intérêt de maintenir les fonctions du sol pour la performance des systèmes agroécologiques soit connu (Barrios 2007 ; Altieri 1999 ; Deyn, Raaijmakers, et Putten 2004), il reste difficile d'établir des déterminismes clairs sur le fonctionnement du sol et ses fonctions complexes. C'est pourquoi, peu de considération est donnée au sol lors de la conception des agrosystèmes. Dans certains contextes comme celui de Madagascar, il apparaît pourtant très important de restaurer ces fonctions du sol au bénéfice d'une production plus importante et durable.

3. Pratiques de restauration des fonctions des sols SFR

Les pratiques de restauration des fonctions du sol que nous avons appelées pratiques SFR doivent permettre d'augmenter les services rendus par les sols et notamment la fertilité du sol en vue d'atteindre une production satisfaisante et durable. Ces pratiques doivent permettre d'augmenter la biodiversité et l'activité biologique des sols pour améliorer la teneur en matière organique en séquestrant le carbone dans le sol, recycler les nutriments et les rendre disponibles pour les plantes, améliorer la structure du sol pour améliorer la rétention de l'eau et limiter l'érosion et enfin limiter les attaques de pathogènes. Pour cela, deux solutions principales sont connues : améliorer le sol en tant qu'habitat pour favoriser l'installation et le développement des organismes vivants, soit en inoculant directement ces organismes, après s'être assuré de la restauration de l'habitat. Pour cela, des pratiques donnant de l'énergie à ces organismes sont à envisager (P. Lavelle et Spain 2001; Blanchart et Trap 2020). Cela passe principalement par l'apport de matière organique. D'après les précédents résultats du projet SECuRE (Rahajaharilaza 2019 ; Raharimalala 2018), l'apport de matières minérales et organiques peut se faire via de nombreuses alternatives tant sur la qualité que sur la quantité apportée au sol, mais aussi sur les mélanges de matières améliorant l'efficacité de l'une ou l'autre des matières. Les différentes études menées ont permis de répertorier à la fois les matières utilisées traditionnellement par les paysans malgaches (poudrette de parc et fumier traditionnel) ainsi que d'identifier les mélanges les plus intéressants d'un point de vue des connaissances scientifiques (compost, lombricompost, fumier amélioré, cendres, dolomie, guano, etc). Toutes ces matières sont connues des agriculteurs malgaches et plus ou moins accessibles localement. Pour tenter d'évaluer la performance de ces différentes pratiques de restauration des fonctions des sols et de les comparer entre elles des variables mesurées doivent pouvoir servir à la construction des indicateurs.

4. Notion de descripteurs

Les « descripteurs » dans le projet SECuRE sont des variables quantitatives dont la valeur renseigne sur une des performances à évaluer. Dans la littérature, on les trouve souvent sous le nom « d'indicateur ». Dans notre étude, l'indicateur retrouve son sens premier : celui d'intégrer plusieurs descripteurs pondérés et agrégés ensemble. Ces descripteurs peuvent être classés par critère selon qu'ils permettent de renseigner sur un type de performance de la pratique étudiée. Trois grands critères sont détaillés ci-dessous :

a) DESCRIPTEURS DE PERFORMANCES DES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES DES SOLS

Les descripteurs de qualité des sols utilisés dans la communauté scientifique sont nombreux et sont de plus en plus rattachés aux fonctions écologiques des sols. Ils peuvent être de 3 sortes : chimiques (pH, teneur en azote, carbone, phosphore etc.), physiques (densité apparente, humidité, etc.) ou biologiques (macrofaune, nématofaune,

microorganismes, etc.) (Doran & Parkin, 2015). Ces descripteurs ont largement été utilisés dans la construction d'indicateurs de qualité du sol et de nombreuses références sont disponibles (Susan S. Andrews, Karlen, et Cambardella 2004; Bastida et al. 2008; Brejda et al. 2000; Li et al. 2007; Obriot et al. 2016; Ruiz Camacho et al. 2009; Thoumazeau et al. 2019).

Dans les études expérimentales des années 2018 et 2019 du projet SECuRE (Ben Naamane 2019 ; Herinasandratra, 2019 ; Vain, 2018), les descripteurs y sont détaillés ainsi que les méthodes de mesures utilisées. Parmi les descripteurs écologiques choisis dans les expérimentations, deux grands types se distinguent :

✓ *Les descripteurs de paramètres physico-chimiques des sols :*

La densité apparente est mesurée par la méthode du cylindre (Yoro et Godo 1989). Elle consiste à prélever le sol dans un cylindre de volume connu puis de le sécher à l'étuve à 105°C et de le peser après son passage à l'étuve. Elle est déterminée par la formule suivante : $d_a = \text{poids sec/volume}$. **L'humidité massique** d'un sol correspond à la masse d'eau dans une portion de terre divisé par la masse sèche de cette portion de sol (séché à l'étuve à 105°C durant 48h). Ce résultat est ensuite multiplié par 100 (Delalande et al. 2017). Le pH est également un descripteur important qui a été mesuré dans les études SECuRE de deux manières : **le pH *in situ*** est mesuré grâce à un pH-mètre de terrain (Hanna Instruments) et le pH *eau* est mesuré en laboratoire à partir d'une solution de sol. L'agrégation des particules de sols se mesure par tamisage à sec, à 2 mm, des particules du sol. **Les teneurs en carbone et azote total** du sol sont mesurées à l'aide du microanalyseur CHNS/O (flash 2000 Series, CHNS/O 122 Analysers Thermo Scientific, IRCOF). Les stocks de carbone total et d'azote total sont mesurés en multipliant les teneurs par la densité apparente du sol. **Le carbone oxydable** par le permanganate (PoxC) correspond à la fraction labile du carbone total, c'est-à-dire celle qui est facilement décomposable par les microorganismes. La méthode utilisée est décrite dans Hurisso et al. (2016). **La teneur en phosphore** disponible est mesurée avec une méthode d'extraction à l'aide de résines échangeuses d'anions. Il correspond au Phosphore inorganique dissout dans la solution du sol. On détermine ensuite le stock de phosphore disponible en multipliant sa teneur par la densité apparente. Enfin, **le phosphore microbien** est dosé d'après la méthode fumigation-extraction (McLaughlin, Alston, et Martin 1986; Kouno, Tuchiya, et Ando 1995). Ces descripteurs donnent des informations sur la fertilité des sols et le maintien de sa structure. Ils sont facilement mesurables et des références existent dans la littérature ce qui permet de facilement pouvoir les comparer.

✓ *Les descripteurs de l'activité biologique du sol*

Les descripteurs liés à la macrofaune sont mesurés grâce à la méthodologie TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility). Les organismes visibles à l'œil nu sont prélevés manuellement dans des blocs de terre mesurant 25 cm de côté et 20 cm de profondeur. Ils sont mis dans des piluliers contenant de l'alcool pour les conserver. Au laboratoire, ils sont identifiés, pesés et comptés en fonction de leur taxonomie, mais également par groupe fonctionnel (détritvores, prédateurs, ingénieurs, bioagresseurs, omnivores, etc). La méthodologie 'pitfall' (piège Barber) est aussi réalisée pour caractériser la macrofaune de surface. Un pilulier de solution saline mélangé à quelques gouttes de détergents est disposé dans le sol afin que le haut affleure à la surface du sol. Les piluliers sont récupérés après 48h et les organismes tombés dans la solution sont comptés et identifiés. Pour mesurer l'activité de la macrofaune, la méthode des « bait lamina » permet de mesurer la décomposition de la matière organique en particulier due à l'activité des invertébrés. Des languettes en PVC sont plantées verticalement dans le sol. Elles sont percées de 16 trous de 1,5 mm de diamètre les

uns en dessous des autres, remplis d'un substrat organique. Le suivi de la décomposition du substrat de ces languettes nous donne une idée de l'activité biologique.(Kratz 1998; Törne 1990).

Les descripteurs liés à la nématofaune sont mesurés par la méthode (NF ISO 23611-4 : Qualité du sol) développée par l'entreprise ELISOL. Les nématodes sont comptés pour obtenir le nombre total pour 1 kg de terre, et le nombre des nématodes dans les différents groupes fonctionnels (bactérovores, fongivores, hytoparasites, omnivores, carnivores). La méthode permet de calculer plusieurs indices souvent utilisés comme l'indice de structure, l'indice d'enrichissement, l'indice de phytoparasites, et la richesse taxons (Bongers et Ferris 1999)

Les descripteurs liés à l'activité des microorganismes sont mesurés à l'aide de diverses méthodes. La respirométrie est la méthode utilisée pour mesurer la respiration basale du sol c'est-à-dire l'émission de CO₂ du sol par l'activité microbienne, elle est mesuré en conditions contrôlées de laboratoire. Les 'tea bag' permettent également de mesurer, au champ, la décomposition de la matière organique dû à l'activité microbienne (bactéries et champignons). Deux types de sachets de thé (vert et rouge) sont déposés dans le sol à 8 cm de profondeur durant 2 mois. Le taux de perte de matière sur chaque qualité de thé (vert labile et rouge plus récalcitrant) donne une indication sur la capacité de décomposition des différentes communautés de microorganismes (Keuskamp et al. 2013). La méthodologie « Eco-plate » Biolog™ permet de mettre en évidence le profil métabolique potentiel d'une communauté bactérienne. Sur chaque plaque, se trouve 98 puits dans lesquels se trouvent un substrat carboné et un colorant (sel de tétrazolium) servant d'indicateur de respiration. Des solutions de sol contenant les communautés microbiennes sont ajoutés aux puits. Six classes de substrats différents se trouvent dans les puits (amines/amides, hydrates de carbone, polymères de carbone, acides carboxyliques, acides aminés, phosphates organiques). Le sel de tétrazolium est réduit par la chaine respiratoire des microorganismes actifs en cristal de formazan, un composé coloré violet insoluble. La coloration d'un puit indique qu'au moins une partie des microorganismes utilisent le substrat et respirent. La production de formazan étant proportionnelle à l'assimilation de substrat, on peut ainsi calculer sa quantité par densité optique, et en déduire l'AWCD (activité globale) ainsi que des indices de diversité fonctionnelle comme la richesse fonctionnelle, l'indice de Shannon, la régularité (Vain 2018).

Les organismes de la macrofaune sont appelés « les ingénieurs de l'écosystème » (ex : vers de terre, termites, fourmis). Ils brassent les sols ce qui permet une bonne répartition des matières organiques dans le sol et un renouvellement de la structure du sol. De plus ils créent des habitats pour les autres organismes et décomposent la matière organique permettant la libération de nutriments. Les organismes de la nématofaune font partie du groupe fonctionnel des « régulateurs » car ils contrôlent les populations des microorganismes du sol et permettent de limiter la prolifération de certains champignons ou bactéries pathogènes des cultures ; ils libèrent les nutriments immobilisés par les microorganismes. Enfin, les microorganismes sont parfois appelés « les ingénieurs chimistes » car ils assurent la transformation de la matière organique depuis des éléments complexes en minéraux assimilables pour les plantes comme l'azote (sous forme de nitrates NO₃⁻ ou d'ammoniac NH₄⁺) et le phosphore (PO₄³⁻, HPO₄²⁻, H₂PO₄⁻). (Programme GESSOL (France) 2010).

b) DESCRIPTEUR DE PERFORMANCES AGRONOMIQUES

La performance agronomique est l'une des principales préoccupations des agriculteurs et reste l'objectif central de la plupart des études touchant à l'agriculture. De nombreux descripteurs permettent de mesurer cette performance agronomique. Les plus évidents sont les indicateurs permettant de renseigner sur les rendements (rendement des cultures, rendement en fourrages, biomasse aérienne, racinaire, ratio shoot:root, etc). D'autres descripteurs permettent de calculer la régularité du rendement d'année en année (Levard, Bertrand, et Masse 2019).

Dans SECuRE, les descripteurs utilisés dans les études précédentes (Herinasandratra, 2019; Ben Naamane 2019; Rahajaharilaza 2019) sont des descripteurs comme la hauteur du riz, à différentes périodes (1 mois, 2 mois, épiaison), les biomasse aérienne et racinaire qui sont mesurées lors de la récolte en pesant séparément les parties aérienne et racinaire. Le shoot/root est un descripteur qui calcule le ratio ces deux biomasses.

Le SPAD (Soil and Plant Analysis Development) est une mesure réalisée à l'aide de l'appareil de SPAD qui mesure la quantité de lumière transmise à travers la feuille dans le rouge et proche infra-rouge. La valeur comprise entre 0 et 99,9 donne une indication sur la teneur en chlorophylle ainsi que sur la teneur en azote de la plante. C'est une mesure non destructive qui s'effectue en pinçant la dernière feuille ligulée.

D'autres descripteurs sont généralement utilisés comme les descripteurs des composantes de rendements. Ils peuvent être réalisés sur 7 poquets de plants de riz ou bien sur un « carré de rendement » qui correspond à l'ensemble de la surface de la parcelle élémentaire à l'exception des deux lignes de bordures. Les composantes de rendements sont mesurées sur 7 poquets et correspondent à la hauteur à la récolte, au nombre de tiges, au nombre de panicules blanches (généralisé par les conséquences de mauvaises conditions climatiques comme un stress hydrique, ou par des ravageurs ou des maladies comme la pyriculariose), au nombre de panicules, au poids des tiges avec les panicules, au poids des panicules, au poids des tiges seules, au poids des grains, au rendement en grains. Sur le carré de rendement sont mesurés les rendements en pailles et en grains, le pourcentage de grains pleins et « l'harvest index » (pourcentage de poids en grains pleins sur la biomasse aérienne totale). Ils sont utilisés par les agronomes pour expliquer les variations de rendements liés aux différentes pratiques ou à des événements climatiques ou autres au cours du cycle cultural.

Les descripteurs de la qualité des grains sont également mesurés comme la teneur en carbone, en azote et en phosphore des grains. Le carbone et l'azote sont mesurés grâce à un microanalyseur CHNS/O (Flash 2000 Séries, CHNS/O 122 Analysers Thermo Scientific, IRCOF). Le rapport C/N est ensuite calculé. Le phosphore est mesuré par extraction en minéralisant un échantillon de 0,5 g de la partie aérienne. Le dosage est effectué au spectrophotomètre par la méthode au bleu. Pour obtenir la quantité de phosphore de la plante, la teneur totale en phosphore obtenue est multipliée par la quantité de biomasse aérienne. Sur 7 poquets, ainsi que sur le carré de rendement, on mesure ainsi sur les grains le carbone, l'azote et le phosphore total.

Les mêmes analyses sont réalisées sur les pailles. Il peut ensuite être calculé les valeurs de ces éléments sur l'ensemble pailles + grains.

Au laboratoire, la matière sèche de la paille est mesurée par passage à l'étuve. La méthodologie SPIR (spectroscopie dans le proche infra-rouge) est également utilisée pour caractériser la valeur nutritive des pailles de riz en tant que fourrage. En effet, l'absorption des rayonnements par les échantillons à différentes longueurs d'onde dessine un spectre qui dépend de la composition de la matière organique et permet donc de la caractériser. Des modèles ont été réalisés afin d'évaluer, grâce aux spectres, la teneur des végétaux en différentes composantes généralement quantifiées par la méthode Van Soest (CIRAD 2007). En appliquant ces modèles, les spectres des échantillons ont permis d'évaluer leur teneur en matière sèche (MS), cendres totales (CT), matières azotées totales (MAT), cellulose brute (CB), acid detergent fiber (ADF) et enfin en acid detergent lignine (ADL).

FIGURE II: APPAREIL DE MESURE DU SPAD



b) Descripteurs de performances socio-économiques

Enfin, les indicateurs sociaux renseignent sur l'acceptabilité, la faisabilité ou encore la perception paysanne de chaque pratique. Ils sont souvent mesurés à l'aide de variables qualitatives, ou de variables quantitatives discrètes (notes) résultant de tables rondes, enquêtes, groupe de travail auprès des agriculteurs. De plus, les performances économiques des pratiques peuvent être facilement mesurées à l'aide de descripteurs comme le prix de revient des matières premières, les charges totales nécessaires, etc. Dans le projet Secure, différents ateliers paysans ont été réalisés afin de déterminer la perception paysanne à travers diverses notes (variable quantitatives discrètes).

5. Étapes de construction des Indicateurs pour évaluer les performances des pratiques agricoles

Les descripteurs décrits ci-dessus vont donc pouvoir servir à évaluer la performance de systèmes de cultures ou de pratiques agricoles. L'évaluation ne peut se faire que par approche comparative à une situation recherchée qui est induite par la question de recherche. Il faut donc d'abord connaître quels sont les objectifs et les performances à atteindre (Levard, Bertrand, et Masse 2019). Un bon moyen lorsque l'on dispose d'un grand nombre de descripteurs est la création d'indicateurs multicritères globaux de performances résultant du regroupement des descripteurs dans plusieurs critères (ex agronomique, social, économique, écologique etc.). Le niveau d'agrégation dépend du type de performances à évaluer dans l'objectif fixé au départ. Dans la littérature, les approches vont d'indicateurs basés sur un petit nombre de descripteurs toujours mesurés, comme l'indicateur « biofunctool » pour la qualité des sols (Thoumazeau et al. 2019) aux indicateurs construits à partir d'un grand jeu de données initial de variables quantitatives renseignant sur plusieurs critères de performances des pratiques. Dans la littérature on retrouve quatre principales étapes à l'élaboration de ce

type d'indicateur : la sélection des descripteurs, la normalisation par un score de performance, la pondération et enfin l'agrégation (OECD, Union, et Commission 2008). Les descripteurs sont parfois réparti en plusieurs fonctions pour faciliter l'interprétation (Obriot et al. 2016). L'outil MASC développé par l'INRA en 2012 (Craheix et al. 2012) permet de construire quant à lui, des indicateurs par une analyse ex ante. Les descripteurs doivent cependant être des variables qualitatives.

a. SÉLECTION DES DESCRIPTEURS

La sélection des descripteurs consiste à réduire les variables mesurées en un plus petit set de variables souvent alors appelé « minimum data set » (MDS). Ce travail de sélection débute dès la mise en place de la méthode d'expérimentation pour sélectionner les descripteurs qui décrivent au mieux les fonctions que l'on veut étudier et ainsi les mesurer. Une fois les mesures effectuées, pour mieux extraire l'information d'un grand jeu de données, il est nécessaire de supprimer les variables qui (1) ne répondraient pas au(x) facteur(s) à évaluer, (2) seraient trop auto-corrélées entre-elles et donneraient alors trop d'importance à une même information.

Dans une étude récente, (Rinot et al. 2019) ont référencé les différentes approches trouvées dans la littérature pour la construction des indicateurs de santé des sols SH (soil health). Dans un premier temps il s'agit de déterminer les descripteurs les plus pertinents pour décrire le statu de SH. De nombreuses études se sont penchées sur les différentes manières de sélectionner ces descripteurs de santé des sols (Bastida et al. 2008; Bünemann et al. 2018; Rinot et al. 2019). Ces études référencent les différentes manières de sélectionner les variables avant la mise en place de l'expérimentation choisissant celles qui expliquent des propriétés ou rendent compte de processus chimiques, biologiques ou physiques des sols. Pour cela, il faut également comprendre au préalable les variations des fonctions des sols qui sont causés par les variations climatiques, ou les différentes pratiques. Ensuite, les mesures les plus pratiques, référencées et rentables qui sont réalisables dans le temps impartis au projet sont privilégiées. Un travail préalable pour connaître le lien entre les fonctions du sol et les objectifs de gestion du projet (conservation de la biodiversité, prévention de l'érosion, augmentation de la matière organique etc...) sont nécessaires. Dans le projet SECuRE, ce travail de sélection des descripteurs des fonctions écologiques des sols et des fonctions agronomiques a été réalisé dans les études précédentes et a permis de définir les mesures à effectuer. Après la réalisation des mesures, un « minimum data set » MDS optimisant le nombre de variables pour la meilleure interprétation des résultats peut être construit et les descripteurs trop fortement corrélés doivent être supprimés. Deux principales approches ressortent des différentes études construisant un MDS (Rinot et al. 2019; Bastida et al. 2008; Susan S. Andrews, Karlen, et Cambardella 2004) : (i) une sélection se faisant *a priori* à base d'experts ou (ii) une sélection sans *a priori* basée sur les réponses d'analyses statistiques des variables du jeu de données pour sélectionner les variables les plus pertinentes avec le(s) facteur(s) à évaluer.

La sélection d'indicateurs peut en effet se faire par un ensemble de règles de décisions comme les ont répertoriés Andrew et al dans leur étude (Susan S. Andrews, Karlen, et Cambardella 2004). Ces règles peuvent servir de cadre pour une sélection basée sur l'opinion d'experts. Ces règles doivent être simples, transparentes et solides pour éviter les biais méthodologiques et permettre d'aboutir à un MDS lorsque les descripteurs mesurés sont très nombreux. Pour éviter certains biais de perception pouvant être causés par une analyse à dire d'experts, des méthodes statistiques peuvent être envisagées.

Dans certaines études, des analyses comme des analyses de variance (**ANOVA**) peuvent être réalisées pour exclure les descripteurs dont la variance ne varie pas de manière significative avec la pratique ou le régime de gestion étudié (D'Hose et al. 2014). D'autres méthodes discriminantes comme la **PLS-DA** peuvent être appliquées pour connaître les variables qui permettent de classer au mieux les pratiques et ainsi conserver ces variables dans le MDS (Gromski et al. 2015). Les **ACP** peuvent également être utilisées pour sélectionner les variables qui ont les plus grands « factor loading » (Sharma et al. 2015; Susan S. Andrews, Karlen, et Cambardella 2004; Mukherjee et Lal 2014; OECD, Union, et Commission 2008; Rezaei, Gilkes, et Andrews 2006; Li et al. 2007). Le **stepdisc** est également une méthode de sélection basée sur des analyses discriminantes répétées. Dans l'approche « Forward » du stepdisc partant d'un ensemble vide, à chaque étape, on fait entrer dans le modèle la variable qui contribue le plus au pouvoir discriminant du modèle mesuré par le « lambda de Wilks ». La sélection s'arrête lorsqu'aucune des variables encore non sélectionnées dans le modèle ne parvient à l'améliorer au sein de probabilité de Fisher F choisi par l'utilisateur. Le stepdisc peut également s'utiliser de manière « Backward » le modèle démarre avec toutes les variables et à chaque étape, la variable contribuant le moins au pouvoir discriminant du modèle est éliminée, la sélection s'arrête lorsqu'aucune suppression de variable ne permet d'améliorer le pouvoir discriminant du modèle au seuil F de Fisher choisi par l'utilisateur. Cette méthode est très utile car elle permet de sélectionner des variables sans besoin préalable de suppression des corrélations. En effet, deux variables fortement corrélées ne pourront pas améliorer toutes les deux le modèle et ainsi une variable des deux sera retenue et cela sans besoin d'une prise de décision de l'expert. De plus, elle est très facile à utiliser et les résultats sont simple à interpréter. Aucune étude concernant la conception d'indicateurs d'évaluation des pratiques n'a aujourd'hui été référencé en utilisant cette méthode statistique de sélection de variables.

Des descripteurs stables même si ils sont pertinents pour comprendre le fonctionnement du sol ne pourront pas être retenus dans le MDS (Bünemann et al. 2018) car ils ne donneraient pas d'information sur le(s) facteur(s) d'étude. Tester les relations entre les descripteurs du sol et les fonctions permet de rendre compte de l'importance de certains descripteurs. Dans certaines études comme (Fine, Es, et Schindelbeck 2017), l'ACP a permis d'identifier en observant la position des descripteurs sur les axes principaux, les processus (biologiques, physiques ou chimique) correspondants à ces axes.

Des techniques proposent de construire un indicateur global à l'aide d'un jeu de données complet, sans construction préalable du MDS afin de préciser *a posteriori*, les variables ayant le mieux permis de construire l'indicateur global. Dans (Pulido Moncada, Gabriels, et Cornelis 2014), des arbres de décision ont été utilisés pour prédire les variables les plus pertinentes à retenir pour un établissement de MDS sur la qualité des sols. En effet, un indicateur SQ (soil quality) a été établi brièvement à partir d'un grand jeu de données puis, les arbres de décisions ont permis d'analyser quels descripteurs (variables explicatives) définissent les classes (pauvre, modérée, bonne) de l'indicateur SQ (variables de réponses) et quelles sont les règles de décisions (valeurs seuils des variables) qui définissent les classes de SQ.

Ces deux approches « expert » et « statistiques » ne sont pas forcément antagonistes. Ces méthodes peuvent être utilisées ensemble pour tirer les avantages des deux méthodologies et remédier aux biais méthodologiques impliqués par chaque méthode. Dans l'étude (Obriot et al. 2016) développant un outil multicritère permettant de comparer des pratiques de fertilisation à base d'engrais minéraux, la sélection des variables s'est faite dans un premier temps à base d'expert pour classer les variables dans différents groupes décrivant les différents aspects de la qualité des sols puis dans un second temps, des tests de Wilcoxon

et une analyse des corrélations ont été réalisées pour éliminer les variables dont la variance ne variait pas significativement avec les pratiques ou pour éliminer les variables auto-corrélées.

Concernant le nombre de descripteurs à retenir, dans la littérature sont identifiés des MDS aboutissant à un grand nombre de variables (plus de 30) mais il existe des indicateurs construits avec un nombre limité de descripteurs. Par exemple, l'indicateur formulé par Haney, 2012 est basé sur seulement trois variables : la respiration du sol, l'azote organique dissous et le carbone organique dissous. Cet indicateur définit comme facteur principal de santé des sols, l'activité microbienne et la disponibilité en nutriments. De même, l'indicateur Biofunctool est lui basé sur seulement 10 variables mesurées (Thoumazeau et al. 2019)

Le nombre de variables retenus est défini par la méthode de construction de l'indicateur elle-même. Dans les deux indicateurs Haney et Biofunctool les mêmes variables sont toujours utilisées peu importe le contexte d'étude. Dans d'autres études (Obriot et al. 2016; Susan S. Andrews, Karlen, et Cambardella 2004; Rinot et al. 2019; Bastida et al. 2008), le nombre de variables aboutissant au MDS résulte d'un jeu de données plus grand de descripteurs mesurés. Il dépend à la fois, du nombre de variables de départ mesurées ainsi que des analyses effectuées pour sélectionner les variables (ANOVA, corrélations, experts etc.). Cependant, les résultats de Fine et al, 2017 soutiennent l'utilisation d'indicateurs basés sur un grand nombre de descripteurs plutôt que sur un petit nombre surtout dans le cas d'étude comparative au sein d'un contexte précis.

b. NORMALISATION ET SCORING

Après avoir sélectionné les variables qui varient le plus avec le(s) facteur(s) d'études et fait le lien entre ces variables et les propriétés qu'elles permettent d'expliquer, encore faut-il savoir comment les interpréter. Les méthodes de scoring servent donc à donner un sens à nos variables descripteurs. Cette étape permet d'attribuer une « note » pour chaque descripteur retenu précédemment. Pour cela, le sens de la fonction de notation de chaque variable doit être connu. Que la nature des descripteurs soit quantitative ou qualitative, trois types de fonctions-réponses se distinguent dans la littérature (Castoldi et Bechini 2010; Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez 2010; Koschke et al. 2013). Pour des descripteurs correspondant à des variables qualitatives (Pulido Moncada, Gabriels, et Cornelis 2014) pouvant être directement mesurées visuellement sur le terrain, la valeur peut être convertie en une note numérique ou catégorielle sans unité grâce à des courbes d'étalonnage. Ensuite, pour ces deux types de descripteurs, chaque variable se voit attribuer l'une des trois fonctions suivantes : (i) plus la valeur du descripteur est élevée pour une pratique donnée, plus sa performance est élevée (exemple : nombre de vers de terre) ; inversement, (ii) plus la valeur du descripteur est élevée pour une pratique donnée et moins la performance de cette pratique est élevée (exemple : nématodes phytoparasites) ; enfin, (3) la performance de la pratique peut être maximale pour une variable lorsque sa valeur est comprise entre certaines valeurs, autour d'un optimum (exemple shoot:root, pH).

En fonction de la forme de la fonction de chaque variable, la valeur mesurée va être transformée par un score. Des méthodes statistiques peuvent être utilisées pour définir les scores de manière linéaire. Des modèles de distribution normales peuvent permettre de définir ces scores (par exemple (Fine, Es, et Schindelbeck 2017)) ou encore ces scores peuvent être tirés des valeurs que prennent les variables dans le jeu de données de l'étude (S.S. Andrews, Karlen, et Mitchell 2002). La valeur mesurée est divisée par la valeur minimale/maximale ou optimale (Sharma et al. 2015). Les scores dépendent fortement de la variance des variables.

Les valeurs aberrantes ont un fort impact sur les résultats et peuvent entraîner un biais dans les scores calculés.

Une approche concerne les méthodes non linéaires : les scores peuvent être basés sur l'attribution de seuils au-delà duquel la variables prennent un certain score. Ces seuils peuvent être tirés de références de la littérature concernant le contexte de la zone d'étude ou bien se baser sur l'avis d'experts comme dans (Fernandes et al. 2011). Cette étape nécessite de bien connaître les relations entre les indicateurs et les performances attendus par les pratiques. Cependant, établir des courbes spécifiques aux objectifs environnementaux et de production à atteindre et aux contextes de production de l'étude est difficile à obtenir (S.S. Andrews, Karlen, et Mitchell 2002; Fernandes et al. 2011; Rinot et al. 2019). Ces fonctions réponses sont également difficilement applicables à un autre contexte.

D'autres méthodes ne nécessitent pas d'étape de transformations et utilisent les valeurs brutes mesurées directement dans l'indicateur. Ces méthodes reposent sur des analyses PLS qui trouvent la meilleure solution par combinaisons linéaires de variables. Cette approche n'est réalisable qu'avec un faible nombre de descripteurs (Haney 2012; Rinot et al. 2019).

c. LA PONDÉRATION ET L'AGRÉGATION

La pondération est facultative. Elle permet d'attribuer plus ou moins d'importance à un descripteur au moment de l'agrégation. Elle est parfois également appelée « intégration » dans la littérature. La pondération permet donc de déterminer la contribution relative d'un descripteur à l'indicateur final (Rinot et al. 2019). La pondération peut suivre l'avis d'experts et la littérature (Castoldi et Bechini 2010) et être déterminée en fonction des objectifs. (S.S. Andrews, Karlen, et Mitchell 2002; Pulido Moncada, Gabriels, et Cornelis 2014; Rinot et al. 2019) . A l'inverse, elle peut également être réalisée sans *a priori*. En effet, pour évaluer les contributions relatives de chaque descripteur à l'indicateur final, des analyses statistiques peuvent être conduites. En reprenant l'importance des descripteurs dans les résultats des analyses ayant conduit à la sélection des variables (ACP, Stepdisc, PLS, Anova, Wilcoxon etc), il est possible de réattribuer plus d'importance aux variables qui avaient plus de « poids » dans ces analyses (Obriot et al. 2016; OECD, Union, et Commission 2008). L'ACP est très généralement utilisée pour pondérer les variables (Mukherjee et Lal 2014; Rinot et al. 2019). En effet, chaque composante principale explique une certaine proportion de la variation de l'ensemble de données et cette variation peut être divisée par la proportion totale de la variation expliquée par tous les composants principales (PC) concernés (souvent supérieur à la valeur propre = 1). On obtient alors, les poids relatifs des descripteurs pour chaque PC donné (Mukherjee et Lal 2014; D'Hose et al. 2014). Cependant, ce type d'approche attribuerait une contribution plus élevée aux descripteurs les plus sensibles, variant le plus mais dont les variations ne sont pas forcément dues aux facteurs d'étude. Lorsque les variables ne sont pas pondérées, le poids de celles-ci dépend alors uniquement du nombre de variables construisant l'indicateur car le poids de l'indicateur final est divisé par le nombre de descripteurs (Rinot et al. 2019)

L'agrégation intègre tous les descripteurs dans un indicateur global final. Le niveau d'agrégation peut se décomposer au fur et à mesure pour observer les résultats à différents niveaux d'intégration (par exemple un indicateur séparé pour chaque critère agronomique, socio-économique, écologique qui est projeté dans un espace à trois dimensions pour obtenir une évaluation globale). L'agrégation peut être totalement compensatoire (méthodes additives) ou partiellement compensatoire (méthodes géométriques) et cela dépendra de l'objectif à atteindre (Gómez-Limón et Sanchez-Fernandez 2010; Fernandes et al. 2011). L'indicateur global qui en résulte est alors capable de répondre à la question posée.

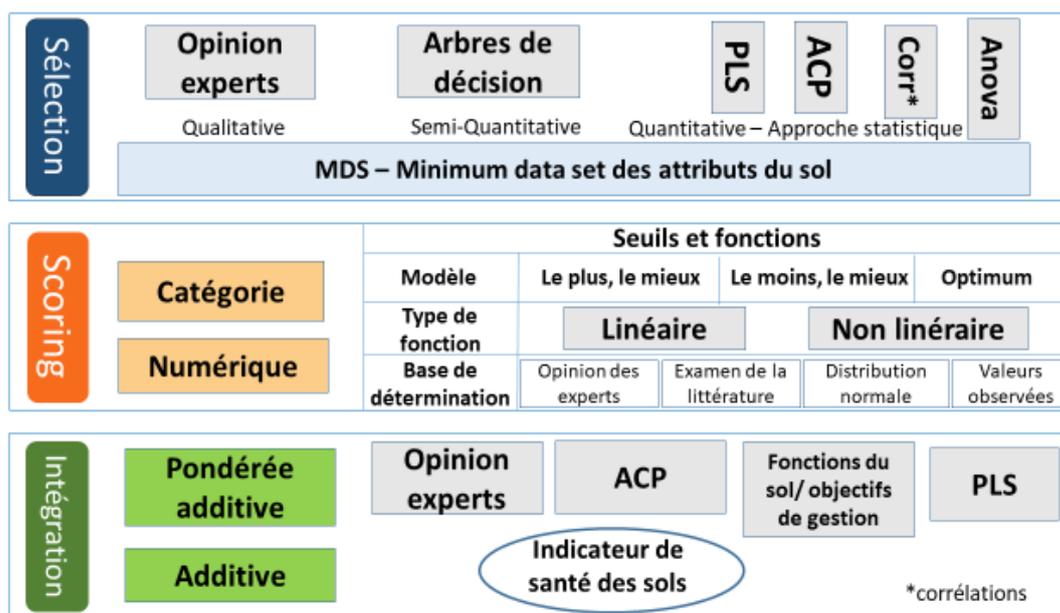


FIGURE III : RÉSUMÉ DES DIFFÉRENTES ÉTAPES ET MÉTHODOLOGIE POUR LA CONSTRUCTION D'UN INDICATEUR DE SANTÉ DES SOLS (Rinot et al, 2019).

4. Les différentes approches aboutissant aux indicateurs de performance.

Dans toutes les étapes de construction des indicateurs, deux principales approches se distinguent : (i) l'approche « subjective » basée sur la littérature ou l'avis d'expert pour la construction de l'indicateur ou (ii) l'approche plus « objective » basée sur des méthodes statistiques.

Dans leur étude sur la construction d'indicateurs de qualité des sols (Mukherjee et Lal 2014) comparent 3 méthodes de construction de l'indicateur. L'indicateur 1 est basé sur la littérature et l'avis d'expert pour la définition de seuils qui définissent les scores des descripteurs. Aucune pondération n'est appliquée et les descripteurs sont intégrés de manière additive. L'indicateur 2 résulte de l'attribution de fonctions de scores à dire d'expert puis les notes sont attribuées selon une méthode linéaire qui définit le score suivant le maximum, le minimum ou une valeur optimum du jeu de données. Les descripteurs sont ensuite pondérés en fonction des objectifs de l'étude. L'indicateur 3 est un indicateur utilisant l'ACP pour réduire la dimensionnalité de l'ensemble de données tout en conservant les variations présentes dans l'ensemble des données. Elle est également utilisée pour pondérer les descripteurs afin de les agréger dans cet indicateur final. Les auteurs ont ensuite fait une comparaison des 3

indicateurs. Les indicateurs se sont montrés fortement corrélés et aucune conclusion sur « la » meilleure approche n'a pu être établie. Cependant, les auteurs remarquent que l'approche à retenir dépend fortement de la conception de l'étude, des objectifs à atteindre et des variables de départ. L'avantage de l'indicateur 1 est qu'il est facile à mettre en place car il dépend seulement de l'avis d'expert et de recherches bibliographiques. Cependant, les références doivent être disponibles dans la zone d'étude et cet indicateur reste très subjectif. L'avantage de l'indicateur 2 est qu'il inclut une pondération basée sur la conception de l'étude et de l'ensemble des données. Il est donc spécifique à l'étude et est donc beaucoup moins subjectif. Cependant, il demande un nombre supérieur de variables mesurées car différentes fonctions sont définies et les descripteurs doivent être suffisamment nombreux pour représenter la fonction ; il est donc plus coûteux. L'indicateur 3 est avantageux car le nombre de descripteurs construisant l'indicateur est considérablement réduit par l'ACP. De plus, c'est une approche principalement objective. Cette méthode semble être la meilleure à long terme. Elle a de plus obtenue une meilleure corrélation avec le rendement des cultures et est la plus rentable et efficace dans le temps car elle utilise le moins de descripteurs dès la deuxième construction de l'indicateur une fois que les descripteurs retenus sont connus. Cependant, ceci est vrai seulement si l'on considère que les descripteurs retenus la première année d'expérimentation seront également les plus pertinents les années suivantes. Or, ce n'est pas toujours le cas car des évolutions lentes de certaines propriétés peuvent révéler des descripteurs pertinents au bout de quelques années qui ne l'étaient pas en début d'expérimentation et inversement.

De même dans leurs études comparative des différentes méthodes, (Rinot et al. 2019) considèrent qu'il est préférable sur le long terme de privilégier une approche « statistique » de sélection de descripteurs quantitatifs plutôt que l'approche « experte ». En effet, dans un premier temps, un large panel de variables doit être mesuré mais une fois le MDS obtenu, les descripteurs pertinents pour l'établissement d'un indicateur sont connus.

D'autres études (Bastida et al. 2008; S.S. Andrews, Karlen, et Mitchell 2002) ont également montré qu'il était nécessaire d'avoir un large panel de descripteurs pour réaliser les méthodes « statistiques » de sélection mais qu'une fois le MDS obtenu, ces descripteurs peuvent être gardés au fil du temps pour construire l'indicateur. L'approche « expert » suppose que les experts comprennent la complexité des mécanismes étudiés, or des différences sont observées en fonction des points de vue des experts, de la zone d'étude, etc. Malgré ces limites, l'avis d'expert est important car les méthodes statistiques ne doivent pas être traitées comme des « boîtes noires ». En effet, l'avis expert est très important si l'on veut que des paramètres comme la praticité des descripteurs, leur précision, le sens des fonctions pour la définition des scores des descripteurs ainsi que les objectifs de l'étude soient considérés dans l'élaboration de la méthode de construction de l'indicateur. **Enfin, l'approche idéale n'est peut-être pas uniquement « experte » ou « statistique » mais doit se trouver dans l'équilibre parfait de ces deux points de vue.**

III. QUESTION DE RECHERCHE

La régénération des fonctions des sols de pente des Hautes Terres de la région d'Itasy de Madagascar permettrait d'apporter une solution aux problèmes d'insécurité alimentaire liée à la faible fertilité des sols ferrallitiques, vulnérables à l'érosion. Dans le projet SECuRE, les pratiques SFR permettant de régénérer ces fonctions ont été testées sur deux années consécutives. Elles ont déjà pu être évaluées sur le site d'Ivory (2^{ème} site de l'étude) et leur efficacité a déjà pu être démontrée d'un point de vue agronomique et écologique. Aujourd'hui et à l'issue de ce projet, il apparaît nécessaire de comparer ces pratiques entre elles dans une évaluation multicritère, sur le site d'Imerintsiatosika. Cette évaluation doit prendre en compte les performances écologiques, agronomiques des pratiques SFR mais également la perception des agriculteurs de la région concernée par ces différentes pratiques SFR. Ces dernières années, l'utilisation d'indicateurs a été beaucoup développée notamment pour définir la qualité des sols. De nombreuses méthodes permettent de construire ces indicateurs. Comme nous l'avons vu, les étapes de sélection, de scoring, de pondération et d'agrégation divergent en deux grandes approches : les méthodes à base « d'expert » et les méthodes « statistiques » où chacune de ces approches trouve des intérêts différents. La comparaison de ces différentes pratiques à l'aide d'indicateurs permettrait de mieux orienter les instituts techniques et les ONG dans la promotion de la ou des pratiques qui apparaissent comme écologiquement et agronomiquement les plus bénéfiques et qui seront adoptable(s) par les paysans Malgaches. C'est pourquoi il s'agit de se demander :

Quelle méthode de construction d'indicateurs permettrait d'évaluer les pratique(s) SFR testées sur le site d'Itasy du projet SECuRE et de déterminer celle(s) qui permet(tent) de restaurer au mieux les fonctions des sols au bénéfice de la production de riz pluvial et sont acceptables d'un point de vue social, économique et agronomique par les paysans malgaches de la région pour être facilement mise en place ?

Quels résultats peut-on tirer de ces indicateurs vis-à-vis de ces pratiques ?

Après examen de la littérature, et au vu de la multitude des méthodes existantes pour chacune des étapes de la construction des indicateurs, nous avons pu voir que la méthodologie aboutissant à la construction des indicateurs devait dépendre de la question posée. Il s'agira donc de se demander préalablement quelles méthodes et type de constructions d'indicateurs permet de répondre au mieux à la question posée et comment les méthodologies employées à chacune des étapes de la construction (sélection, scoring, pondération, agrégation) peuvent influencer les résultats finaux.

Hypothèse 1 : Les résultats sont influencés par l'approche méthodologique utilisée, une lecture comparative des résultats des différentes méthodes permet une meilleure évaluation finale des SFR.

Hypothèse n° 2 : Les pratiques évaluées par l'indicateur comme étant les plus performantes pour améliorer la restauration écologique des fonctions du sol sont corrélées positivement aux pratiques évaluées comme étant les plus performantes par l'indicateur agronomique.

Hypothèse n°3 : Il existe des freins d'acceptabilité socio-économique qui peuvent rendre les pratiques recevant le meilleur score de performance écologique et agronomique comme difficilement acceptables par les agriculteurs de la région.

IV. MATERIELS ET METHODES

Trois axes sont considérés dans le projet SECuRE : l'axe agronomique, l'axe écologique du point de vue de la restauration écologique des sols et l'axe de perception paysanne.

Deux démarches bien distinctes sont opérées en fonction de ces axes. L'axe agronomique et l'axe écologique reposent sur de grands jeux de données contenant de multiples variables quantitatives continues qui ont été mesurées et qui seront ensuite sélectionnées, pondérées, et agrégées. Il existe donc une multitude de méthodes disponibles aboutissant à différents indicateurs. Dans notre étude, plusieurs indicateurs différents à partir de diverses méthodes seront construits pour ces deux axes. L'indicateur de perception paysanne, lui, repose sur un jeu de données composé de variables quantitatives discrètes correspondant à des « notes » attribuées par les paysans. L'approche est différente car le nombre de variables de départ rend le jeu de données directement exploitable et l'étape de sélection n'est pas nécessaire. La pondération et l'agrégation sont réalisées d'une seule et unique manière.

1. Matériel végétal

La variété de riz pluvial utilisé est la variété « Chhomrong Dhan (*Oryza sativa* japonica). Le choix de cette variété suite à un essai au champ lors du projet SECuRE à Imerintsiatosika. Sur les Hautes-Terres, elle représente 80% des variétés de riz pluvial. Cette variété semi-précoce est adaptée à la haute altitude et est très productive. Elle résiste bien aux maladies ainsi qu'au froid. Cependant, elle est sensible à la verse et au stress hydrique entraînant un blanchissement des panicules. (Herinasandratra, 2019)

2. Traitements étudiés : Les pratiques SFR

Seize pratiques SFR sont considérées dans les indicateurs (Tableau I). Le tableau II et III décrivent la composition des matières constituant les seize pratiques (SFR1 à SFR16) testées durant les deux années d'expérimentation du projet SECuRE :

- Trois pratiques « paysannes » : SFR1, SFR2, SFR3.
- Onze pratiques « scientifiques » dont quatre ont reçu des fertilisants organiques transformés seuls : SFR4, SFR5, SFR6, SFR7 ; trois ont reçu des assemblages de matières organiques et minérales : SFR9, SFR10 et SFR11 ; quatre ont reçu des assemblages de différentes matières organiques avec ajout de matières minérales pour trois d'entre elles : SFR12, SFR13, SFR14, SFR15. Ces onze pratiques ont également été inoculées en vers de terre et mycorhizes en 2^e année.
- Enfin, deux pratiques témoin, un positif (SFR8) et un négatif (SFR16)

TABLEAU I : DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS (PRATIQUES SFR)

SFR	Constituants			Types	Pratique	Inoculation (VDT + MYC) Année 2 (2018-2019)	
SFR 1	Poudrette de parc (3 t MS/ha)			MO seul	paysanne	non	
SFR 2	Fumier traditionnel (3 t MS/ha)			MO seul	paysanne	non	
SFR 3	Fumier traditionnel (3 t MS/ha)	NPK 11-22-16 (40 kg/ha)		MO seul + FM	paysanne	non	
SFR 4	Fumier traditionnel (6 t MS/ha)			MO seul	scientifique	oui	
SFR 5	Fumier amélioré (6 t MS/ha)			MO seul	scientifique	oui	
SFR 6	Compost (6 t MS/ha)			MO seul	scientifique	oui	
SFR 7	Lombricompost (6 t MS/ha)			MO seul	scientifique	oui	
SFR 8	NPK 11-22-16 (100 kg/ha)	Urée (100 kg/ha)		FM adéquate	contrôle positif	non	
SFR 9	Fumier traditionnel (6 t MS/ha)	Dolomie (500 kg/ha)		MO seul + MM	scientifique	oui	
SFR 10	Fumier traditionnel (6 t MS/ha)	Cendre (500 kg/ha)		MO seul + MM	scientifique	oui	
SFR 11	Fumier traditionnel (6 t MS/ha)	Prochimad (500 kg/ha)		MO seul + MM	scientifique	oui	
SFR 12	Fumier traditionnel (2 t MS/ha)	Compost (2 t MS/ha)	Lombricompost (2 t MS/ha)	MO mélange	scientifique	oui	
SFR 13	Fumier traditionnel (2 t MS/ha)	Compost (2 t MS/ha)	Lombricompost (2 t MS/ha)	Cendre (500 kg/ha)	MO mélange + MM	scientifique	oui
SFR 14	Fumier traditionnel (2 t MS/ha)	Compost (2 t MS/ha)	Lombricompost (2 t MS/ha)	Prochimad (500 kg/ha)	MO mélange + MM	scientifique	oui
SFR 15	Fumier traditionnel (2 t MS/ha)	Compost (2 t MS/ha)	Lombricompost (2 t MS/ha)	Guanomad (500 kg/ha)	MO mélange + MM	scientifique	oui
SFR 16	Aucune fertilisation			Rien	contrôle négatif	non	

TABEAU II : CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DES DIFFÉRENTES MATIÈRES UTILISÉES (Ben Naamane,2019)

	Teneur MS (%)	Azote (% MS)	total P ₂ O ₅ (%MS)	K ₂ O (%MS)	Carbone (%MS)
Matières organiques					
Poudrette de parc	93,50	1,03	0,16	0,69	14,05
Fumier traditionnel	65,00	0,74	0,68	2,18	13,95
Fumier amélioré	50,00	1,87	0,30	2,21	21,41
Compost	83,84	1,36	0,47	0,53	16,62
Lombricompost	46,00	2,00	0,37	1,71	23,13
Guano	81,00	1,21	6,85	0,22	4,46
Matières minérales					
NPK 11-22-16		11	22	16	0
Urée		46	-	-	0
Cendres de balles de riz	98	0,03	0,13	0,63	0,12
Prochimad hyperferos	88	0,04	8,29	0,03	0,34

TABEAU III : COMPOSITION DES DIFFERENTS PRODUITS UTILISÉS DANS LES SFR (Ben Naamane, 2019)

Produits	Composition
Poudrette de parc	Fèces de bovin produites et stockées au niveau des parcs de rétention des bovins pendant la nuit. Contient une quantité importante de terre au moment du raclage
Fumier traditionnel	Fèces de bovin mélangées avec de la litière végétale ou des résidus alimentaires, stocké à l'extérieur de l'étable, sans soins particuliers pour sa conservation.
Fumier amélioré/conservé	Fèces et urine des bovins mélangés avec la litière végétale en grande quantité et stocké sous abri pour éviter les pertes de nutriments par volatilisation, lessivage et/ou lixiviation.
Compost	Mélange fermenté de débris organique obtenu par compostage. Le compost utilisé est celui de la société Madacompost
Lombricompost	Déjections animales et résidus végétaux décomposés par des vers de terre tels qu' <i>Eisenia foetida</i> . Le lombricompost utilisé est commercialisé par la société Tata.
Guano	Déjections de chauve-souris commercialisées par la société Guanomad.
Dolomie	Poudre de roche riche en calcium et en magnésium.
Cendre de balles de riz	Cendres issues de la briqueterie
Cendres de pailles de riz	Cendres issues du brûlis des pailles de riz
Prochimad	Poudre de roche riche en phosphore
NPK	Engrais minéral à base d'azote ; de phosphore et de potassium avec des proportions respectives de 11, 22, 16.
Urée	Engrais azoté sous forme granulée

3. Indicateurs d'évaluation de la restauration des fonctions écologiques des sols et des performances agronomiques des SFR.

A. DESCRIPTION DU JEU DE DONNÉES

Le jeu de données utilisé pour les axes écologique et agronomique résulte des expérimentations de l'année 2 (2019) du site d'Imerintsiatosika de la région Itasy.

Chaque SFR a été mise en pratique sur quatre blocs distincts. Le jeu de données complet comprend donc un facteur 'bloc' à quatre modalités (B1, B2, B3, B4) correspondant aux répétitions du facteur SFR. Il comprend 149 variables quantitatives. Les variables ont été retenues par les experts du projet. Ce jeu de données peut être découpé en trois sous-ensemble de variables (Tableau) :

- Le sous-ensemble S1 contient 15 variables mesurées descriptives de la composition des matières apportées dans les SFR,
- Le sous-ensemble E0 contient les 82 variables mesurées de paramètres écologiques du sol.
- Le sous-ensemble A0 contient les 52 variables mesurées de paramètres agronomiques de la culture du riz pluvial.

B. ETAPE DE CONSTRUCTION DES INDICATEURS

Plusieurs approches aboutissant à différents indicateurs de performance ont été testées. Trois types d'approches se distinguent (voir ci-dessus) : les approches « expertes », les approches « statistiques » et les méthodes « mixtes » qui mêlent à 50-50 les méthodes expertes et statistiques. Ces approches ont pu être comparées à une méthode considérée ici comme référence (Obriot et al, 2016) qui est la dernière étude recensée utilisant une méthodologie fréquemment retrouvée dans la littérature.

1. Répartition par fonction :

Les variables ont été affectées à des « fonctions ». Dans le projet SECuRE, les fonctions écologiques sont celles provenant de Kibblewhite et al. (2008) : elles définissent l'état de fonctionnement du sol. Les fonctions agronomiques sont liées à la croissance et au développement du riz. Les experts définissent cinq fonctions pour la partie écologie des sols et cinq fonctions pour la partie agronomique (Tableau IV). Les variables sont ensuite attribuées à ces fonctions, sachant qu'une même variable peut être affectée à deux fonctions.

La répartition des variables au sein des différentes fonctions est présentée en annexe 1 pour les variables écologiques et en annexe 2 pour les variables agronomiques. La première fonction écologique des sols « E1 » concerne l'impact sur la « physico-chimie » du sol et rassemble les variables comme le pH, l'agrégation du sol ou encore la densité apparente. La fonction « E2 » concerne l'impact des SFR sur la « dynamique du carbone », les variables qui s'y trouvent rendent compte de l'évolution du carbone et des stocks de carbone. Les variables mesurées par la méthode de respirométrie se trouvent également dans cette fonction. Les variables mesurant le taux de nutriments dans le sol (azote, phosphore notamment) se trouvent dans une troisième fonction « E3 » correspondant au « recyclage des nutriments ». La fonction « impact sur les ravageurs » nommée « E4 » regroupe les variables relatives aux ravageurs de tout type dans le sol (vers blancs, nématodes phytoparasites). Ces variables donnent des informations sur la capacité des SFR à favoriser, maintenir ou diminuer le stock de ravageurs dans le sol. Enfin, une dernière fonction écologique du sol « E5 » est attribuée à l'augmentation, au maintien ou à la diminution de la « biodiversité du sol » par les SFR. Les variables de diversité, densité et biomasses des différents groupes trophiques de la macrofaune et de la nématofaune y sont présents.

Les fonctions agronomiques sont au nombre de cinq. La fonction « Croissance de la plante » « A1 », où se trouvent les variables de mesure de croissance à différentes périodes (1 mois et 2 mois après le semis). La fonction « A2 » de « Biomasse de la plante », regroupe les variables permettant de renseigner les biomasses aériennes et racinaires du riz. La fonction « A3 » de « Rendement » comprend toutes les variables faisant partie des composantes du rendement. La fonction « A4 » correspond à la « Qualité des grains » et comprend les variables relatives aux grains (teneurs en azote et phosphore, en carbone, rapport C/N etc.). Enfin, la fonction « A5 » de « Qualité des pailles » regroupe les variables descriptives mesurées sur les pailles (teneurs en azote, carbone, phosphore, ainsi que les variables issues de la méthodologie SPIR, ainsi que le SPAD).

TABLEAU IV : DESCRIPTIONS DES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES ET DES FONCTIONS AGRONOMIQUES

Sous-ensemble	Fonctions		Variables dans 2 fonctions
S1 : variables descriptives des SFR (15 variables)			
E0 : Variables du sol et de l'écologie des sols (82 variables)	E1	Maintien d'un bon niveau physico-chimique (10 variables)	2
	E2	Dynamique du carbone (28 variables)	3
	E3	Recyclage des nutriments (14 variables)	3
	E4	Régulation des ravageurs (8 variables)	2
	E5	Maintien d'un bon niveau de biodiversité (32 variables)	10
A0 : Variables agronomiques de la culture du riz pluvial (54 variables)	A1	Croissance de la plante (2 variables)	0
	A2	Biomasse de la plante (4 variables)	0
	A3	Rendement de la culture (13 variables)	0
	A4	Qualité des grains (16 variables)	6
	A5	Qualité des pailles (25 variables)	6

2. Étape de sélection des variables

La sélection de variables permet d'aboutir à un « Minimum Data Set » (MDS) qui contient un nombre réduit de variables capable de retranscrire correctement l'information du jeu de données de départ contenant toutes les variables. Il rend les analyses possibles et les résultats exploitables. Les résultats de la sélection dépendent du jeu de données initialement étudié ainsi que de la méthode de sélection appliquées aux variables qu'il contient.

Dans le projet SECuRE, trois sous-étapes permettent d'aboutir à 5 MDS différents détaillés dans le Tableau V : (i) l'étape du **choix du jeu de données** de départ (nommée étape « JDD ») : Il s'agit lors de cette étape de choisir le JDD sur lequel vont être appliquées indépendamment les méthodes de sélection. Les méthodes peuvent en effet être effectuées sur douze JDD différents : sur les deux JDD des grands sous-ensembles (E0 et A0) ou sur les JDD de chacune des fonctions (E1 à E5 et A1 à A5). (ii) **l'étape de gestion des corrélations** (nommée étape « corrélation ») : Deux méthodes sont possibles selon que l'on supprime ou pas les variables très corrélées entre elles. Pour cela, une matrice de corrélation de Pearson est réalisée, les variables corrélées à plus de 0,8 permettent de retirer les corrélations (choix « sans »). Les experts décident alors de la variable à maintenir dans le JDD selon 2 choix : 1) la variable la plus susceptible d'être impactée par les SFR ou 2) la variable la plus pratique à mesurer sur le terrain. On peut accepter de conserver des corrélations >0,8 entre variables de différents JDD. Soit aucune variable n'est supprimée du JDD et les corrélations entre variables de plus de 0,8 sont autorisées avant l'analyse (choix « avec »). (iii) **l'analyse appliquée** pour aboutir au MDS. Deux méthodes statistiques (« Stepdisc » et « Wilcoxon ») ainsi qu'une méthode experte (« Expert ») sont utilisées.

TABLEAU V : LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA SÉLECTION ABOUTISSANT AUX DIFFÉRENTS MDS

MDS	MDS1	MDS2	MDS3	MDS4	MDS5	MDS6
1. BDD	E1	E1	E1	E1	E0	E0
	E2	E2	E2	E2	A0	A0
	E3	E3	E3	E3		
	E4	E4	E4	E4		
	E5	E5	E5	E5		
	A1	A1	A1	A1		
	A2	A2	A2	A2		
	A3	A3	A3	A3		
	A4	A4	A4	A4		
	A5	A5	A5	A5		
2. Correlations	Conservation	Suppression	Suppression	Suppression	Suppression	Conservation
3.Méthode	Stepdisc	Stepdisc	Wilcoxon	Expert	Stepdisc	Stepdisc

Finalement, les MDS correspondent à l'assemblage des résultats des différentes étapes de sélections. Par exemple : Pour le MDS1 des analyses Stepdisc ont été réalisées sur chaque JDD où les variables pouvaient être corrélées à plus de 0,8. Les résultats des 10 Stepdisc (des 10 JDD) permettent de conserver des variables de chaque JDD, elles sont ensuite regroupées pour former le MDS1.

- La sélection experte : MDS4

Le panel d'expert se compose de quatre experts qui ont chacun une spécialité : une experte de l'axe « agronomie », un expert « nématofaune », un expert « macrofaune » et une experte « matière organique du sol ». La sélection experte s'applique sur les JDD « fonction » (E1 à E5 et A1 à A5). A la fin de l'étape 2, le JDD ne contient plus de variables corrélées à plus de 0,8 (Etape corrélation, choix « sans »), les experts décident alors selon leur expertise si les variables restantes sont susceptibles d'être impactées par les SFR ou non. Pour les variables dont la catégorie correspond au domaine d'expertise d'un expert, seul l'avis de l'expert spécialiste est considéré. Pour les autres variables, tous les avis sont considérés. Dans ce cas où au moins un expert sélectionne une variable alors celle-ci est retenue lors de la sélection.

- La sélection par le test de Wilcoxon (méthode de référence : « Obriot, 2016 ») : MDS3

Cette méthode correspond à la méthode de sélection de l'approche de « référence » bibliographique publiée par Obriot et al. en 2016. -Après suppression des corrélations sur les JDD E1 à E5 et A1 à A5, des tests de Wilcoxon sont réalisés sur chacune des variables restantes de ces JDD à l'aide du logiciel R. Le facteur SFR est testé avec seulement deux modalités (A « aucune fertilisation », B « fertilisation »). Cela revient à tester le SFR16 par rapport aux quinze autres SFR. Si la p-value est significative au seuil de 5%, cela signifie que l'égalité des variances peut être refusée au seuil de confiance de 95%. Ainsi les variables sélectionnées sont celles ayant une p-value significative et pour lesquelles la variance du SFR 16 est différentes de la variance de toutes les autres pratiques SFR confondues. Cette méthode permet d'aboutir au MDS3.

- La sélection Stepdisc : MDS1, MDS2, MDS5

La méthode STEPDISC (Stepwise Discriminant Analysis) est une analyse statistique réalisée à l'aide du logiciel TANAGRA 1.4.2. Cette méthode repose sur le LAMBDA de WILKS. Il s'agit de trouver le sous-ensemble de représentation (les variables à conserver) qui maximisent les écartements entre les centres de gravité des nuages de points associés à chaque valeur de la variable à prédire (les SFR). Cette méthode permet donc de trouver le sous-ensemble de variables qui permet au mieux de discriminer les SFR entre-elles. Le LAMBDA de WILKS correspond à la décomposition géométrique de la variance. Il représente le rapport entre l'inertie intra SFR et l'inertie totale des SFR. Un LAMBDA =1 signifie que les nuages sont totalement confondus. Plus le LAMBDA est proche de 0, plus les nuages de points sont distincts. Dans TANAGRA il est possible d'utiliser la méthode FORWARD partant de l'ensemble vide pour arriver à l'ensemble de variables optimales. La variable améliorant le plus le LAMBDA est retenue si l'amélioration du LAMBDA est statistiquement significative. L'ajout de variables continue jusqu'à ce qu'aucune variable supplémentaire ne permette d'améliorer significativement le LAMBDA. A l'inverse la méthode BACKWARD part de l'ensemble total de variables et supprime une à une celles qui entraînent une dégradation la plus faible et non statistiquement significative du LAMBDA. C'est la méthode FORWARD qui est ici utilisée et le seuil de significativité choisie est de 5%.

Cette analyse est réalisée sur différents JDD. Dans les MDS 1 et 2, le Stepdisc est réalisé dix fois sur les 10 JDD « fonctions » avec conservation des corrélations pour le MDS1 et après suppression des corrélations dans le MDS2. Le MDS5 correspond au regroupement des variables sélectionnées dans deux Stepdisc, le premier sur le JDD E0 avec suppression des corrélations et le deuxième sur le JDD A0 avec suppression des corrélations. Le MDS6 correspond aux variables sélectionnées dans deux Stepdisc, le premier sur le JDD E0 avec conservation des corrélations et le deuxième sur le JDD A0 avec conservation des corrélations.

3. Étape de Scoring

Les variables de chaque MDS sont normalisées pour aboutir à une note comprise entre 0 et 1. Dans un premier temps, une fonction de score est définie pour chaque variable. Ces fonctions nommées ici A, B ou C dessinent trois types de courbe (Figure IV). Ces courbes sont des droites ascendantes (A) si une valeur supérieure de x correspond à une meilleure réponse de la variable (le mieux = xmax). Elles peuvent également être des droites descendantes (B) lorsqu'une valeur inférieure entraîne une réponse plus bénéfique qu'une valeur supérieure (le mieux = xmin). Enfin, lorsque la réponse la plus bénéfique de la variable correspond à une valeur de x égale à un optimum, la fonction est de forme linéaire ascendante pour toutes les valeurs de x inférieures à la valeur optimale suivie d'une droite descendante pour les valeurs de x supérieures à la valeur de x optimale (le mieux = xopt).

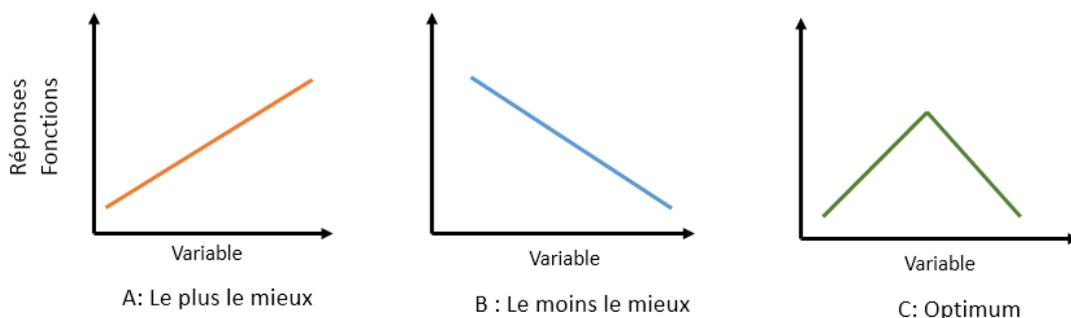


FIGURE IV : TYPES DE FONCTIONS DE SCORING

A partir de ces fonctions, un score S peut être défini pour chaque valeur x des indicateurs i . Deux méthodes sont réalisées dans cette étude : la méthode de référence (Obriot, 2016) ainsi que la méthode que nous avons appelée SECuRE.

- **Scoring méthode de référence (Obriot, 2016).**

Le score S de chaque valeur x d'une variable i est défini par les trois fonctions A, B, C comme suit :

$$\begin{aligned} \text{A. } S_i &= \frac{x}{x_{\max}} & \text{B. } S_i &= \frac{x_{\min}}{x} & \text{C. - pour } x < x_{\text{opt}} : S_i &= \frac{x}{x_{\max}} \\ & & & & \text{- pour } x > x_{\text{opt}} : S_i &= \frac{x_{\min}}{x} \end{aligned}$$

- **Scoring SECuRE**

Contrairement à la méthode de référence, cette méthode considère l'étendue de la variable dans le jeu de données. Le score S de chaque variable X est défini par les fonctions A, B, C comme suit :

$$\begin{aligned} \text{A. } S_i &= \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} & \text{B. } S_i &= \frac{x - x_{\max}}{x_{\min} - x_{\max}} & \text{C. - pour } x < x_{\text{opt}} : S_i &= \frac{x - x_{\min}}{x_{\text{opt}} - x_{\min}} \\ & & & & \text{- pour } x > x_{\text{opt}} : S_i &= \frac{x - x_{\min}}{x_{\text{opt}} - x_{\min}} \end{aligned}$$

4. **Pondération**

Pour chaque variable des MDS obtenus, quatre manières de pondérer ces variables peuvent être effectuées. Une fois les variables transformées par l'étape de pondération, le jeu de données devient le MDS_P (minimum data set pondéré). Dans SECuRE, les combinaisons testées aboutissent à 9 MDS_P différents.

- **Pas de pondération des variables**

Chaque variable i se voit attribuer une pondération $P_i = 1$. Toutes les variables du MDS ont donc le même poids dans la construction de l'indicateur final.

- **Pondération experte (expert)**

Les experts nommés k attribuent pour chaque variable des JDD sélectionnés dans le MDS une valeur $PExp$ de 0,5 ou de 1 correspondant à l'importance de la variable i par rapport à la fonction qu'elle représente. Comme pour la sélection, pour les variables qui correspondent à la spécialisation d'un des quatre experts, seul l'avis de cet expert (*le spécialiste : toujours $k = 1$*) est pris en compte ($n = 1$). Pour les autres variables correspondant au domaine d'expertise de tous les experts, la variable reçoit comme pondération la moyenne des pondérations de tous les experts avec k (1; 2; 3; 4) et $n = 4$. Lorsque l'un des experts ne sélectionne pas une variable (donc ne la pondère pas) mais, qu'au moins un autre expert sélectionne et pondère cette variable, alors, la variable est pondérée par la moyenne des pondérations des quatre experts en attribuant 0 comme valeur de pondération à (ux) expert(s) n'ayant pas sélectionné(s) la variable.

$$P_i = \frac{\sum_{k=1}^n (PExp_k)}{n}$$

i : variable sélectionnée dans le JDD

k : expert pondérant les variables

P_i : Pondération de la variable i

$PExp_k$: Pondération attribué par l'expert n à la variable i

- Pondération dans la méthode de référence (ACP)

Dans le MDS, i variables ont été conservées. Des analyses en composantes principales (ACP) sont réalisées sur chaque JDD « fonction » (E1 à E5 et A1 à E5) à l'aide du logiciel TANAGRA 1.4.50. Chaque axe de l'ACP explique partiellement la variabilité du jeu de données total. Seul les n axes nommés A ayant des valeurs propres (δA) >1 sont conservés. Le pourcentage de variabilité relatif à chaque axe est donné par la valeur propre de chaque axe (δA). D'après Obriot et al. (2016), chaque variable i est pondérée par sa contribution à chaque axes A ($CtrbA$) multipliée par le pourcentage de variabilité expliquée par chaque axe (δA).

Pour tout axe A_1 à A_n avec $\delta A > 1$;

$$P_i = \sum_{A=1}^n \delta A \times CtrbA$$

Avec

i variable sélectionnée dans le MDS,

A_n : les axes de l'ACP allant de 1 à n ,

δA la valeur propre de l'axe A_n

P_i : la pondération de la variable i ,

$CtrbA$: la contribution de la variable i sur chaque axe A

- Pondération par le classement stepdisc (stepdisc)

Une dernière méthode de pondération consiste à pondérer les variables d'un JDD par leurs résultats au classement donnée par le Stepdisc sur ce JDD (Cl). Pour un JDD donné, on attribue à la variable sélectionnée en 1^{er} par la méthode FORWARD le meilleur score égal au nombre de variables sélectionnées (n). Puis à la seconde $n - 1$ points et à la troisième $n - 2$ points etc., jusqu'à la dernière $n - (n - 1)$. On divise ensuite ces points par la valeur de n . La variable reçoit alors une pondération comprise entre 0 et 1.

$$P_i = \frac{n - (Cl - 1)}{n}$$

Avec

P_i : Pondération d'une variable i

n : le nombre de variable sélectionné par le Stepdisc pour ce JDD

Cl : Position de la variable i lors de la sélection FORWARD du Stepdisc sur ce JDD

(1 = 1^{ère} var sélectionnée; n = dernière var sélectionnée)

- Construction du MDS pondéré

Finalement, On obtient les scores pondérés de chaque variable i des MDS en multipliant chaque score S de la variable i par le facteur de pondération P de la variable i .

$$SP_i = S_i \times P_i$$

On obtient alors un MDS pondéré de k variables i avec chacune 64 (16 SFR x 4 blocs) scores SP_i .

5. *Étape d'agrégation*

Les noms et numéros des différents indicateurs construits après la réalisation de l'agrégation sont détaillés dans le tableau suivant (Tableau VI).

L'agrégation par axe abouti à la construction de 18 « Indicateurs de l'Axe Écologique » (IAE et IAE(IF) et 18 « Indicateurs de l'Axe Agronomique » (IAA et IAA(IF)). On distingue deux types d'indicateurs agrégés par axe. D'une part, les 6 indicateurs IAA et les 6 indicateurs IAE résultant de l'agrégation des SP_i des variables sélectionnées sur les JDD E0 et A0 (Indicateur 121 à 132). D'autre part, les 12 indicateurs IAE(IF) et les 12 indicateurs IAA(IF) résultent de l'agrégation des indices des « Indicateurs de Fonctions » (IF) de l'axe écologique d'une part et de l'axe agronomique d'autre part. En effet, les indicateurs IF (indicateurs 1 à 120) résultent de l'agrégation des SP_i des variables sélectionnées sur les JDD « fonction » (E1 à E5 et A1 à A5). Les résultats de cette agrégation peuvent être de deux natures différentes selon la formule d'agrégation adoptée : agrégation des médianes des scores SP_i des variables ou agrégation des moyennes des scores SP_i des variables. Dans un premier temps, les SP_i de chaque JDD sont agrégés par individu c'est-à-dire pour chaque bloc de chaque SFR. On obtient alors 64 résultats pour chaque indicateur de chaque JDD. Puis, ces scores sont agrégés une nouvelle fois pour obtenir un indice final sur chacune des 16SFR.

TABLEAU VI: RESUMÉ DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE CONSTRUCTION D'INDICATEURS ÉCOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES

Type d'approche	Statistique	Mixte	Référence	Référence	Référence	Expert	Expert	Expert	Expert	Mixte	Mixte	Mixte	Statistique
	Fonctions Conservation	Fonctions Suppression	Suppression	Suppression	Suppression	Axe Conservation							
Sélection	1. JDD	Fonctions											Axe
	2. Correlations	Conservation											Conservation
	3. Méthode	Stepdisc											Stepdisc
MDS	MDS1	MDS2	MDS3			MDS4				MDS5		MDS6	
Scoring	Secure	Secure	Ref			Secure				Secure		Secure	
Pondération	Non	Non	ACP	non	non	Expert	Non			Non	Stepdisc	Stepdisc	
MDSP	MDSPa	MDSPb	MDSPc	MDSPd	MDSPe	MDSPf	MDSPg	MDSPh	MDSPi	MDSPh	MDSPh	MDSPh	MDSPh
Approche	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A9	A9	A9	A9
	1	21	41	61	81	101	111						
	2	22	42	62	82	102	112						
	3	23	43	63	83	103	113						
Numéro Indicateur	4	24	44	64	84	104	114						
	5	25	45	65	85	105	115						
	6	26	46	66	86	106	116						
	7	27	47	67	87	107	117						
	8	28	48	68	88	108	118						
JDD fonctions	9	29	49	69	89	109	119						
	10	30	50	70	90	110	120						
Aggrégation	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane
Nom Indicateur	IF1-5	IF21-25	IF41-45	IF61-65	IF81-85	IF101-105	IF111-115						
	IF6-10	IF26-30	IF46-50	IF66-70	IF86-90	IF106-110	IF116-120						
Axe	IF1-5	IF21-25	IF41-45	IF61-65	IF81-85	IF101-105	IF111-115						
	IF6-10	IF26-30	IF46-50	IF66-70	IF86-90	IF106-110	IF116-120						

- Agrégation par médiane :

L'Indicateur agrégé IF' ou IA' par la médiane Me des scores pondérés SP_i par bloc b de chaque SFR s pour un JDD de MDSP donnée est obtenu ainsi :

$$IF'_{b;s} = Me_{(i=1 \rightarrow k)}(SP_i) \quad \text{ou} \quad IA'_{b;s} = Me_{(i=1 \rightarrow k)}(SP_i)$$

Pour obtenir l'Indicateur agrégé (IF) ou (IA) par la médiane des scores pondérés de chaque SFR (s), Il suffit de moyenner les IF' ou IA' des quatre blocs de chaque SFR obtenus à l'étape précédentes :

$$IF_s = Me_{(b=1 \rightarrow 4)}(IF'_{b;s}) \quad \text{ou} \quad IA_s = Me_{(b=1 \rightarrow 4)}(IA'_{b;s})$$

Avec

IF : Indicateur agrégé d'un JDD fonction

IA : Indicateur agrégé d'un JDD axe

Me : médiane

i : variable du MDS par JDD

SP_i : Score pondéré de chaque variable i

b : bloc

s : SFRs

Pour atteindre le deuxième niveau d'agrégation des indicateurs agrégés par fonction, on agrège les indicateurs IF' (par bloc) de chaque fonction (E1 à E5 pour l'axe écologique et A1 à A5 pour l'axe agronomique) tel que :

$$IAE(IF)'_{b;s} = Me_{(JDD=E1 \rightarrow E5)}(IF'_{b;s}) \quad \text{et} \quad IAA(IF)'_{b;s} = Me_{(JDD=A1 \rightarrow A5)}(IF'_{b;s})$$

Pour obtenir l'Indicateur agrégé (IAE et IAA) par la médiane des indices IF' de chaque fonctions E ou A de chaque SFR (s), Il suffit de moyenner les IF' des quatre blocs de chaque SFR obtenus à l'étape précédentes :

$$IAE(IF)_s = Me_{(b=1 \rightarrow 4)}(IAE(IF)'_{b;s}) \quad \text{ou} \quad IAA(IF)_s = Me_{(b=1 \rightarrow 4)}(IAA(IF)'_{b;s})$$

- Agrégation par moyenne :

L'Indicateur agrégé IF' ou IA' par la moyenne μ des scores pondérés SP_i par bloc b de chaque SFR s pour un JDD de MDSP donné est obtenu ainsi :

$$IF'_{bs} = \mu_{(i=1 \rightarrow k)}(SP_i) \quad \text{ou} \quad IA'_{bs} = \mu_{(i=1 \rightarrow k)}(SP_i)$$

Pour obtenir l'Indicateur agrégé par la moyenne des scores pondérés de chaque SFR IF_s ou IA , il suffit de moyenner les IF' ou IA' des quatre blocs de chaque SFR s :

$$IF_s = \mu_{(b=1 \rightarrow 4)}(IF'_{b;s}) \quad \text{ou} \quad IA_s = \mu_{(b=1 \rightarrow 4)}(IA'_{b;s})$$

Avec

If : Indicateur agrégé d'un JDD fonction

IA : Indicateur agrégé d'un JDD axe

μ : moyenne

i : variable du MDS par JDD

b : bloc

s : SFR

SP_i : Score pondéré de chaque v_i

Pour atteindre le deuxième niveau d'agrégation des indicateurs agrégés par fonction, on agrège les indicateurs IF' (par bloc) de chaque fonction (E1 à E5 pour l'axe écologique et A1 à A5 pour l'axe agronomique) tel que :

$$IAE(IF)'_{b;s} = \mu_{(JDD=E1 \rightarrow E5)}(IFE'_{b;s}) \quad \text{et} \quad IAA(IF)'_{b;s} = \mu_{(JDD=A1 \rightarrow A5)}(IFA'_{b;s})$$

Pour obtenir l'Indicateur agrégé (*IAE et IAA*) par la médiane des indices IF' de chaque fonctions E ou A de chaque SFR (*s*), Il suffit de moyenniser les IF' des quatre blocs de chaque SFR obtenus à l'étape précédente :

$$IAE(IF)_s = \mu_{(b=1 \rightarrow 4)}(IAE(IF)'_{b;s}) \quad \text{ou} \quad IAA(IF)_s = \mu_{(b=1 \rightarrow 4)}(IAA(IF)'_{b;s})$$

6. *Combinaisons des méthodes et indicateurs finaux :*

En combinant de différentes manières les différentes méthodes de sélection, scoring, pondération et agrégation 60 IF-E, 12 IAE(IF) et 6 IAE de l'axe écologique ainsi que 60 IF-A, 12 IAA(IF) et 6 IAA de l'axe agronomique ont été construits. Le tableau (VI) résume les combinaisons testées. Les différents indicateurs d'un même MDS ayant subi le même scoring et la même pondération forment un ensemble « A » d'indicateurs construit avec la même approche. Il existe alors 9 approches différentes avec les approches A agrégeant par les médianes et les approches A' agrégeant par les moyennes. Ces approches regroupant les différents indicateurs peuvent être classées dans les quatre types de méthodes employées :

- L'approche « experte » : l'avis expert est au centre de la méthode : pour sélectionner, classer, scorer les variables (A6, A6') et les pondérer (A5, A5')
- L'approche « statistiques » : les approches (A1, A1'; A9, A9') se basent sur les résultats d'analyses statistiques et font intervenir l'avis expert le moins possible.
- L'approche mixte concernent les approches (A2, A2') construit à partir des JDD fonctions et les Approches (A7, A7' et A8, A8') construit sur les JDD sous-ensemble.
- L'approche de référence : S'appuyant sur la méthodologie de construction d'indicateur de même objectif la plus récente trouvée dans la littérature (Obriot, 2016), les indicateurs (A3, A3') sont construits. Les indicateurs A4, A4' s'appuient également sur cette méthode sauf pour l'étape de pondération.

4. Indicateurs d'évaluation des pratiques SFR par la perception paysanne

Un autre jeu de données décrit les perceptions paysannes des SFR. Deux ateliers ont eu lieu à Imerintsiatosika (Madagascar) regroupant des scientifiques et des agriculteurs. Le premier atelier a permis d'identifier et trier les principaux descripteurs qui définissent le choix des pratiques SFR des agriculteurs. Vingt couples d'exploitants ont participé, la parité Homme/Femme a été respectée. Suite à ce groupe de travail, 5 descripteurs de perception des performances agronomiques du riz et 8 descripteurs de performance des pratiques SFR ont été retenus. Un poids P a été attribué à chaque descripteur correspondant à la fréquence d'apparition de ce descripteur dans les réponses des agriculteurs.

Un second atelier a permis aux agriculteurs de noter les SFR par rapport aux descripteurs choisis dans l'atelier précédent. Sept groupes de travail constitués de cinq agriculteurs (2-3 homme/2-3 femmes) se sont organisés. Cinq questions correspondant aux cinq descripteurs permettant d'évaluer la performance agronomique des différentes SFR obtenues sur la culture du riz ont été posées :

- **Tige:** Q1.1. L'épaisseur de la tige est-elle satisfaisante ?
- **Feuille:** Q1.2. La forme des feuilles (largeur, longueur, courbure) est-elle satisfaisante ?
- **Couleur:** Q1.3. La couleur de la plante est-elle satisfaisante ?
- **Nombre de talles:** Q1.4. Le nombre de talles par plant et par poquet est-il suffisamment important ?
- **Hauteur de la plante:** Q1.5. La hauteur de la plante est-elle satisfaisante ?

Chaque agriculteur a répondu aux questions en attribuant une note allant de 1 à 3 points pour les différentes parcelles cultivées avec chacune des SFR.

La perception socio-économique des agriculteurs sur les différentes pratiques SFR a ensuite été évaluée par huit questions définissant : la facilité d'accès aux matières premières (Accessibilité), l'amélioration durable du sol (sol), la facilité d'épandage (épandage) des matières fertilisantes, l'efficacité de la pratiques sur les autres cultures (usage), l'impact de la pratique sur les bioagresseurs (bioagresseurs), l'acceptabilité du coût de la pratique (coût), la praticité d'acheminement des matières premières (transport) et enfin la quantité nécessaire par rapport à l'efficacité sur la culture du riz (riz).

- **Accessibilité:** Q2.1. Est-ce que tous les amendements utilisés dans cette SFR sont faciles à obtenir/trouver pour appliquer au champ ?
- **Sol:** Q2.2. Pensez-vous que cette SFR va améliorer le sol dans la durée ?
- **Epandage:** Q2.3. Est-ce que cette SFR est facile à épandre au champ ?
- **Usage:** Q2.4. Pensez-vous qu'elle a un bon effet pour une année sur d'autres cultures que le riz ?
- **Bioagresseur:** Q2.5. Le risque de contamination en bioagresseurs est-il faible ? (biby kely – insectes ravageurs - ou adventices ?)
- **Coût:** Q2.6. Le coût d'achat ou de préparation est-il acceptable/faible pour vous ?
- **Transport:** Q2.7. Est-ce que les matières utilisées pour cette SFR sont faciles à transporter pour être amenées au champ ?
- **Riz:** Q2.8. Est-ce que l'utilisation d'une faible quantité permet d'obtenir des effets importants sur et le riz ?

Les agriculteurs des sept groupes ont là aussi, attribué par question, une note pour chaque SFR allant de 0 à 3.

Le jeu de données regroupe donc pour chaque variable (Q1.1 à Q1.5 et Q2.1 à Q2.8), les notes (N) des j agriculteurs enquêtés (a) pour chaque SFR (s). Les notes sont ensuite pondérées par la fréquence d'apparition des descripteurs (P) lors du premier atelier. Finalement on obtient un indicateur de perception pour chaque descripteur (I)

$$I_{Q1} = (\mu_{a=1 \rightarrow j}(N_a)) \times P_{Q1} \quad \text{et} \quad I_{Q2} = (\mu_{a=1 \rightarrow j}(N_a)) \times P_{Q2}$$

On peut ensuite calculer les deux indicateurs de perception paysanne des SFR sur les performances agronomiques du riz ($IP1$) et d'un point de vue socio-économique ($IP2$)

$$IP1 = \sum_{Q1=1}^{Q1=5} I_{Q1} \quad \text{et} \quad IP2 = \sum_{Q2=1}^{Q2=8} I_{Q2}$$

I : indicateur de perception

$Q1$: Questions correspondant aux descripteurs de performance agronomique du riz

$Q2$: Questions correspondant aux descripteurs de perception des pratiques SFR

a : agriculteurs enquêtés

N : note allant de 1 à 3

L'indicateur IP résulte de l'agrégation par la moyenne des résultats des $IP1$ et $IP2$ pour chaque SFR.

5. Construction des indicateurs globaux (IG)

Les indicateurs globaux (IG) résultent de l'agrégation des indicateurs des trois axes écologiques, agronomiques et perception paysannes.

Chaque approche d'indicateur A et A' 1 à 9 écologiques (IAE(IF) et IAE) est agrégé avec l'indicateur résultant de la même approche A et A' 1 à 9 (IAA(IF) et IAA) des indicateurs agronomiques ainsi qu'avec l'indicateur de perception paysanne IP. L'agrégation correspond à la moyenne des indices de chaque SFR, dans les indicateurs d'une même approche de chaque axe. L'indicateur IP unique est agrégé aux 18 indicateurs IE et 18 indicateurs IA. On obtient finalement 18 indicateurs globaux IG.

C. COMPARAISON DES RESULTATS DES DIFFERENTES EVALUATIONS

1. Classement final « Résultats des classements de NANSON »

Le programme utilisé a été écrit pour être utilisé dans les jurys de concours de recrutement de l'IRD. Cette méthode permet de désigner un « vainqueur » et classer des candidats ayant été évalués par plusieurs correcteurs. Ici les notes sont représentées par les rangs des SFR et l'évaluateur correspond à un indicateur. L'algorithme est basé sur la règle de Nanson (Lepelley et Vidu, (2000), qui est une RPI (Règle de Positionnement Itérative) basée sur le score de Borda. La règle de Nanson est la suivante :

a) Calcul du score de Borda pour chaque « SFR ». 0 point est attribué au moins bien classé, puis 1 point au suivant, et ainsi de suite en remontant vers le meilleur. Les ex-aequo reçoivent la moyenne des points qu'ils peuvent recevoir en examinant toutes les possibilités de s'interclasser entre eux. Le score de Borda est la somme des points ainsi obtenus sur tous les indicateurs.

b) Élimination du ou des candidats qui partagent le score le plus faible.

c) Itération de la procédure en recalculant les scores de Borda sur les candidats restants. Le ou les derniers éliminés sont déclarés vainqueur ou vainqueurs ex-aequo.

De plus, des duels sont effectués entre toutes les SFR deux à deux. Une SFRa l'emporte sur une SFRb s'il y a plus d'indicateurs où SFRa est mieux classé que SFRb plutôt que l'inverse (plus d'indicateurs où SFRb mieux classée que SFRa).

Cette méthode permet de connaître (i) le score de Borda de chaque SFR c'est-à-dire sa probabilité à être mieux classée qu'une autre SFR aléatoire par un indicateur aléatoire et (ii) le rang attribué d'après le score de Borda.

Cette méthode est effectuée sur tous les différents types d'indicateurs (IA, IF, IA(IF)) de l'axe écologique (E) d'une part et de l'axe agronomique (A) d'autre part. Cette méthode permet de définir la pratique SFR qui est globalement considérée comme « la meilleure » d'un point de vue écologique et agronomique en considérant tous les indicateurs construits aux étapes précédentes.

V. RÉSULTATS

1. Résultats des étapes de construction de l'indicateur Agro/Eco

Les tableaux VII et VIII détaillent les variables sélectionnées dans chaque MDS à partir des JDD de départ et suivant les différentes méthodologies utilisées.

A. RESULTAT DE LA SELECTION DES VARIABLES

Les étapes suivantes de sélection des variables écologiques par les trois méthodes « Stepdisc », « Wilcoxon » ou « Experte » ont menés à la suppression de variables détaillées dans le tableau (VII). D'un point de vue général, sur l'ensemble total de variables écologiques (82 variables), 40 variables ont été supprimées dans tous les MDS, quelle que soit la méthode de sélection (annexe 3), et 45 variables sur 82 ont été sélectionnées dans au moins un MDS. Sur ces 45 variables, 2 sont sélectionnées dans tous les MDS, quelle que soit la méthode utilisée (« pHsitu » et « pHeau »), 4 sont sélectionnés dans tous les MDS construits sur les JDD fonctions (AWCDpoly », « Tx-decomp-TR », « Struct » et « RF », et 32 sont sélectionnées dans seulement 1 ou 2 MDS différents.

Les méthodes qui sélectionnent les variables à partir du JDD total E0 aboutissent aux plus faibles taux de sélection (MDS5 avec 8.54% et MDS6 avec 10.2%). Les autres méthodes où la sélection se fait par « fonction » sélectionnent entre 14,5% (MDS1) et 77% des variables (MDS4).

D'autres sont sélectionnées partout sauf dans un des deux MDS 5 ou 6 construit sur le JDD E0 (AWCDpoly », « Tx-decomp-TR », « Struct » et « RF »). Il y a 32 variables qui sont sélectionnées dans seulement 1 ou 2 MDS différents. Les variables sélectionnées dans 2MDS sont principalement sélectionnées dans les MDS3 et 4 (11 fois sur 13). Les variables sélectionnées dans un seul MDS: le MDS4 (16 fois sur 19). Les variables restantes sont des variables qui sont sélectionnées dans les MDS 1 ou 6 où les corrélations sont conservées.

Sur l'ensemble total de variables agronomiques détaillées en annexe 1 (54 variables), 6 variables (« C-paillegrain-7poq », « N-paillegrain-7poq », « P-paillegrain-7poq », « C-paillegrain-carre », « N-paillegrain-carre » et « P-paillegrain-carre ») sont assignées à deux fonctions (Qualité des grains - A4 et des pailles - A5). D'un point de vue général, 11 variables ont été supprimées dans tous les MDS, quelle que soit la méthode de sélection (annexe 4), et 43 variables agronomiques sont sélectionnées dans au moins un MDS (Tableau VIII). Sur ces 43 variables, 3 variables sont sélectionnées dans tous les MDS quelle que soit la méthode utilisée (« Hauteur-1mois », « C-paille », « Ngrain »), 16 variables sont sélectionnée dans au moins 3 MDS et 22 variables sont sélectionnées dans un seul MDS (MDS1 ou MDS6).

Le taux de sélection est calculé en considérant les 60 variables de départ pour les MDS1 à 5 (conservation des corrélations) et 23 variables de départ pour les MDS2 à 5 (suppression des corrélations). La méthode qui sélectionne les variables à partir du JDD total A0 aboutit au plus faible taux de sélection (MDS5 35% avec et MDS6 36,5% avec). Les autres méthodes où la sélection se fait par « fonction » sélectionnent entre 60% (MDS1) et 88% des variables (MDS4).

TABLEAU VII : VARIABLES ÉCOLOGIQUES SÉLECTIONNÉES DANS LES DIFFÉRENTS MDS

Variables de l'axe écologique									
Sélection	1. JDD			Fonctions	Fonctions	Fonction	Fonction	Axe	Axe
	2. Corrélations			Conservation	Suppression	Suppression	Suppression	Suppression	Conservation
	3.Méthode			Stepdisc	Stepdisc	wilcox	Expert	Stepdisc	Stepdisc
JDD utilisé (MDS1 à 4)	Nom variables Sélectionnée dans au moins un MDS	Corrélations	Nombre de fois attribuée à une fonction	MDS1	MDS2	MDS3	MDS4	MDS5	MDS6
E1 : Maintien d'un bon environnement Physico-chimique	pHsitu	Conservation	1						
	Humi10	Conservation	1						
	Humi20	Conservation	1						
	DA10	Conservation	1						
	Agre20	Conservation	1						
	pHeau	Conservation	1						
	Biom-inge-macro	Conservation	2						
Nombre de variables sélectionnées dans la fonction E1 des MDS				2	2	4	7	-	-
Nombre de variables de départ dans le JDD E1 (Après l'étape de corrélations).				10	9	9	10	-	-
Pourcentage de variable sélectionné				20,00%	22,22%	44,44%	70,00%	-	-
E2 : Dynamique du Carbone	C-mono	Conservation	1						
	POxC	Conservation	1						
	Stock-C-mono	Conservation	1						
	T7-V	Conservation	1						
	T28-V	Conservation	1						
	Biom-detri-macro	Conservation	2						
	AWCD-carboH	Conservation	1						
	AWCD-poly	Conservation	1						
	AWCD-carbox-cet	Conservation	1						
	Tx-decomp-TR	Conservation	1						
	Actalim-tot	Conservation	1						
Nb de variables sélectionnées dans la fonction E2 des MDS				2	2	7	10	-	-
Nombre de variables de départ dans le JDD E2 (Après l'étape de corrélations).				28	12	12	12	-	-
Pourcentage de variable sélectionné				7,14%	16,67%	58,33%	83,33%	-	-
E3 : Recyclage des nutriments	P-res	Conservation	1						
	P-micro	Conservation	1						
	Stock-P-res	Suppression	1						
	fongi-nema	Conservation	1						
	omni-nema	Conservation	2						
	carni-nema	Conservation	2						
	AWCD-am-ac	Conservation	1						
	AWCD-aa	Conservation	1						
Nb de variables sélectionnées dans la fonction E3 des MDS				2	2	4	7	-	-
Nombre de variables de départ dans le JDD E3 (Après l'étape de corrélations).				14	8	8	8	-	-
Pourcentage de variable sélectionné				14,29%	25,00%	50,00%	87,50%	-	-
E4 : Impact sur les ravageurs	Dens-bioag-macro	Conservation	1						
	PP	Conservation	1						
	phyto-rav-nema	Conservation	1						
	Struct	Conservation	2						
Nb de variables sélectionnées dans la fonction E4 des MDS				1	1	2	4	-	-
Nombre de variables de départ sur le JDD E4 (Après l'étape de corrélations).				8	6	6	6	-	-
Pourcentage de variable sélectionné				12,50%	16,67%	33,33%	66,67%	-	-
E5: Meintien d'un bon niveau de biodiversité	Biom-vdt	Suppression	2						
	Biom-detri-macro	Conservation	2						
	Biom-macro-pitf	Conservation	1						
	Indiv-macro-pitf	Conservation	1						
	nbtax-macro-pitf	Conservation	1						
	Biom-fourmis	Conservation	1						
	Dens-macro	Conservation	1						
	Dens-fourmis	Conservation	1						
	nb-tax-macro	Conservation	1						
	Dens-detri-macro	Conservation	1						
	Dens-preda-macro	Conservation	1						
	Dens-inge-macro	Conservation	1						
	nb-nema1kg	Suppression	2						
	omni-nema	Conservation	2						
	carni-nema	Conservation	2						
	Rtax	Conservation	1						
	Enrich	Conservation	1						
	Struct	Conservation	2						
RF	Conservation	1							
Nb de variables sélectionnées dans la fonction E5 des MDS				6	5	7	15	-	-
Nombre de variables de départ dans le JDD E5 (Après l'étape de corrélations).				32	20	20	20	-	-
Pourcentage de variable sélectionné				18,75%	25,00%	35,00%	75,00%	-	-
Nombre de variables sélectionnée dans le sous-ensemble écologique E0				13	12	24	44	7	5
Nombre de variables de départ sur l'axe E0 (Après l'étape de corrélations).				-	-	-	-	82	49
Pourcentage de variable sélectionné				-	-	-	-	8,54%	10,20%

Variable sélectionnée

TABLEAU VIII : VARIABLES AGRONOMIQUES SÉLECTIONNÉES DANS LES DIFFÉRENTS MDS.

Variables de l'axe agronomique									
Sélection	1. JDD			Fonctions	Fonctions	Fonction	Fonction	Axe	Axe
	2. Corrélations			Conservation	Suppression	Suppression	Suppression	Suppression	Conservation
	3.Méthode			Stepdisc	Stepdisc	wilcox	Expert	Stepdisc	Stepdisc
JDD fonction	Nom variables	Corrélations	Nombre de fois attribuée à une fonction	MDS1	MDS2	MDS3	MDS4	MDS5	MDS6
A1 : Croissance de la plante	Hauteur-1mois	Conservation	1						
	Hauteur-2mois	Suppression	1						
Nombre de variables sélectionnées dans la fonction A1 des MDS				2	1	1	1	-	-
Nombre de variables de départ dans le JDD A1 (Après l'étape de corrélations).				2	1	1	1	-	-
Pourcentage de variable sélectionné				100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	-	-
A2 : Biomasse de la plante	Biomae	Conservation	1						
	Biomrac	Conservation	1						
	ShRt	Conservation	1						
	Hauteur-épi	Suppression	1						
Nombre de variables sélectionnées dans la fonction A2 des MDS				3	3	3	3	-	-
Nombre de variables de départ dans le JDD A2 (Après l'étape de corrélations).				4	3	3	3	-	-
Pourcentage de variable sélectionné				75,00%	100,00%	100,00%	100,00%	-	-
A3 : Rendement	Hauteur-7poq	Conservation	1						
	nb-panblanche	Conservation	1						
	nbpani	Suppression	1						
	pds-pani	Suppression	1						
	pds-tige	Suppression	1						
	rdm-paille-carre	Suppression	1						
	rdm-grain-carre	Conservation	1						
	HI	Conservation	1						
Nombre de variables sélectionnées dans la fonction A3 des MDS				4	3	3	3	-	-
Nombre de variables de départ dans le JDD A3 (Après l'étape de corrélations).				13	5	5	5	-	-
Pourcentage de variable sélectionné				30,77%	60,00%	60,00%	60,00%	-	-
A4 : Qualité des grains	C-grain	Conservation	1						
	N-grain	Conservation	1						
	C/N-grain	Suppression	1						
	P-grain	Conservation	1						
	C-grain7poq	Suppression	1						
	P-grain7poq	Conservation	1						
	C-grain-carre	Suppression	1						
	N-grain-carre	Suppression	1						
	P-grain-carre	Suppression	1						
	C-pailgrain-7poq	Suppression	2						
	N-pailgrain-7poq	Suppression	2						
	P-pailgrain-7poq	Suppression	2						
	C-pailgrain-carre	Suppression	2						
	N-pailgrain-carre	Suppression	2						
	P-pailgrain-carre	Suppression	2						
Nombre de variables sélectionnées dans la fonction A4 des MDS				14	4	3	4	-	-
Nombre de variables de départ dans le JDD A4 (Après l'étape de corrélations).				16	4	4	4	-	-
Pourcentage de variable sélectionné				87,50%	100,00%	75,00%	100,00%	-	-
A5 : Qualité des pailles	C-paille	Conservation	1						
	N-paille	Suppression	1						
	C/N-paille	Conservation	1						
	P-paille	Conservation	1						
	P-paille-7poq	Conservation	1						
	C-pailgrain-7poq	Suppression	1						
	N-pailgrain-7poq	Suppression	1						
	P-pailgrain-7poq	Suppression	1						
	C-pailgrain-carre	Suppression	2						
	N-pailgrain-carre	Suppression	2						
	P-pailgrain-carre	Suppression	2						
	Mslab	Conservation	1						
	CT	Conservation	1						
	MAT	Conservation	1						
	CB	Conservation	1						
ADL	Conservation	1							
SPAD	Conservation	1							
Nombre de variables sélectionnées dans la fonction A5 des MDS				10	4	9	8	-	-
Nombre de variables de départ dans le JDD A5 (Après l'étape de corrélations).				25	10	10	10	-	-
Pourcentage de variable sélectionné				40,00%	40,00%	90,00%	80,00%	-	-
Nombre de variables sélectionnée dans le sous-ensemble écologique A0				33	15	19	19	8	19
Nombre de variables de départ sur le sous-ensemble A0 (Après l'étape de corrélations).				-	-	-	-	22	54
Pourcentage de variable sélectionné				-	-	-	-	36,36%	35,19%

 Variable sélectionnée

B. L'ÉTAPE DE SCORING

L'attribution de la fonction de notation « A » (le plus, le mieux), « B » (le moins, le mieux) ou « C » (optimum) est détaillée pour chaque variable écologique sélectionnée dans le tableau () et agronomique dans le tableau (). La majorité des variables écologiques sélectionnées reçoivent une fonction de type « A », à l'exception de 4 variables (« Da10 », « Dens-bioag-macro », « PP » et « phyto-rav-nema ») qui reçoivent la fonction « B » et 2 variables la fonction « C » (« pH in situ » et « pH eau »). Il en va de même pour les variables agronomiques sélectionnées dans au moins un MDS, avec seulement 6 variables recevant la fonction de notation « B ».

La réalisation de l'étape de scoring aboutit à des variables ayant toutes pour valeurs un score compris entre 0 et 1.

Les scores des deux transformations différentes (« SECuRE » et « Wilcoxon ») sont corrélés à 100%.

C. PONDERATION DES VARIABLES

Quatre types de pondération ont été appliqués dans la construction des indicateurs : la pondération « non », « expert », « ACP » et « Stepdisc ».

1. facteurs de pondération des variables écologiques (Tableau XIX)

Les MDS_P construits avec la méthode « non » ne sont pas pondérés car les variables (*i*) qu'ils contiennent reçoivent toutes le facteur de pondération $P_i = 1$.

Les MDS pondérés aboutissent aux MDSP_C (méthode « ACP »), MDSP_E (méthode « expert »), MDSP_H et MDSP_I (méthode « Stepdisc »). Dans ces MDS pondérés, le MDSP_E contient le plus de variables au score maximal de 1 (23 variables). Tandis que ceux basés sur des approches statistiques n'en ont qu'une (pHeau pour MDSP_H et MDSP_I). La variable pHeau obtient également la pondération maximale de 0,86 dans MDSP_C.

Les variables les plus faiblement pondérées sont les variables « p-micro » dans le MDSP_C, les variables « humi20 » et « T28-V » ($P_i = 0.13$) dans le MDSP_E suivie des variables « Tx-decomp-TR » ($P_i = 0.14$, MDSP_H) et « Biom-fourmis-macro » ($P_i = 0.20$, MDSP_I).

TABLEAU IX : PONDERATION DES DIFFERENTES VARIABLES ÉCOLOGIQUES DANS LES MDSp

Variables de l'axe écologique											
Sélection	1. JDD		Fonctions	Fonctions	Fonction	Fonction	Fonction	Fonction	Axe	Axe	Axe
	2. Correlations		Conservation	Suppression	Conservation						
	3.Méthode		Stepdisc	Stepdisc	wilcox	wilcox	Expert	Expert	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc
MDS			MDS1	MDS2	MDS3		MDS4		MDS5		MDS6
Scoring			Secure	Secure	ref	ref	Secure	Secure	Secure	Secure	Secure
Pondération			Non	Non	ACP		Expert	Non	Non	Stepdisc	Stepdisc
Fonctions	Nom variables Sélectionnée dans au moins un MDS	Scoring	MDSPa	MDSPb	MDSpc	MDSpd	MDSpe	MDSpf	MDSpg	MDSph	MDSpi
E1 : Maintien d'un bon environnement Physico-chimique	pHsitu	5 à 6	1,00	1,00	0,85	1,00	1,00	1,00	1,00	0,71	0,40
	Humi10	+	0,00	0,00	0,75	1,00	0,63	1,00	0,00	0,00	0,00
	Humi20	+	0,00	0,00	0,77	1,00	0,13	1,00	0,00	0,00	0,00
	DA10	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00
	Agre20	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	1,00	0,00	0,00	0,00
	pHeau	5 à 6	1,00	1,00	0,86	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00
	Biom-inge-macro	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00
E2 : Dynamique du Carbone	C-mono	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	1,00	0,00	0,00	0,00
	P0xC	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63	1,00	0,00	0,00	0,00
	Stock-C-mono	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	1,00	0,00	0,00	0,00
	T7-V	+	0,00	0,00	0,75	1,00	0,88	1,00	0,00	0,00	0,00
	T28-V	+	0,00	0,00	0,68	1,00	0,13	1,00	0,00	0,00	0,00
	Biom-detri-macro	+	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	AWCD-carboH	+	0,00	0,00	0,74	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00
	AWCD-poly	+	1,00	1,00	0,78	1,00	0,5	1,00	1,00	0,86	0,00
	AWCD-carbox-cet	+	0,00	0,00	0,81	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Tx-decomp-TR	+	1,00	1,00	0,41	1,00	0,67	1,00	1,00	0,14	0,00
E3 : Recyclage des nutriments	Actalim-tot	+	0,00	0,00	0,23	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	P-res	+	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,57	0,00
	P-micro	+	1,00	1,00	0,09	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Stock-P-res	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80
	fongi-nema	+	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	omni-nema	+	0,00	0,00	0,28	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00
	carni-nema	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00
	AWCD-am-ac	+	0,00	0,00	0,74	1,00	0,5	1,00	0,00	0,00	0,00
AWCD-aa	+	0,00	0,00	0,80	1,00	0,5	1,00	0,00	0,00	0,00	
E4 : Impact sur les ravageurs	Dens-bioag-macro	-	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	PP	-	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	phyto-rav-nema	-	0,00	0,00	0,54	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Struct	+	1,00	1,00	0,54	1,00	1,00	1,00	1,00	0,29	0,00
E5: Meintien d'un bon niveau de biodiversité	Biom-vdt	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Biom-detri-macro	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00
	Biom-macro-pitf	+	0,00	0,00	0,68	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Indiv-macro-pitf	+	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	nbtax-macro-pitf	+	0,00	0,00	0,77	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Biom-fourmis	+	0,00	1,00	0,00	0,00	0,50	1,00	1,00	0,43	0,20
	Dens-macro	+	0,00	0,00	0,74	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Dens-fourmis	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00
	nb-tax-macro	+	1,00	1,00	0,81	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Dens-detri-macro	+	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Dens-preda-macro	+	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Dens-inge-macro	+	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	nb-nema1kg	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	omni-nema	+	0,00	0,00	0,79	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	carni-nema	+	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Rtax	+	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Enrich	+	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Struct	+	0,00	0,00	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00	0,29	0,00
RF	+	1,00	1,00	0,30	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,60	

2. Résultat des facteurs de pondération des variables agronomiques (Tableau X)

Les MDSPa,b, d et f construits avec la méthode « non » ne sont pas pondérés car les variables (*i*) qu'ils contiennent reçoivent toutes le facteur de pondération $P_i = 1$.

Le MDSPe contient le plus de variables au score maximal de 1 (13 variables). Tandis que ceux basés sur des approches « statistique » n'en ont qu'une (« hauteur-1mois » pour le MDSPc et MDSPh et « hauteur-épi » pour le MDSPi).

La variable qui obtient le plus petit facteur de pondération est la variable « MSlab » du MDSPi ($P_i = 0.05$). La variable « HI » obtient le plus petit facteur de pondération du MDSPh ($P_i = 0.13$). La variable qui obtient le facteur de pondération le plus faible sur le MDSPc est la variable « ADL » ($P_i = 0.45$). Enfin, 7 variables obtiennent les pondérations les plus faibles du MDSPe ($P_i = 0.5$).

TABLEAU X: PONDÉRATION DES DIFFÉRENTES VARIABLES AGRONOMIQUES DANS LES DIFFÉRENTS MDSP

Variable de l'axe agronomique											
Sélection	1. JDD		Fonctions	Fonctions	Fonction	Fonction	Fonction	Fonction	Axe	Axe	Axe
	2. Correlations		Conservation	Suppression	Conservation						
	3.Méthode		Stepdisc	Stepdisc	wilcox	wilcox	Expert	Expert	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc
MDS			MDS1	MDS2	MDS3		MDS4		MDS5		MDS6
Scoring			Secure	Secure	ref	ref	Secure	Secure	Secure	Secure	Secure
Pondération			Non	Non	ACP	Non	Expert	Non	Non	Stepdisc	Stepdisc
JDD fonction	Nom variables	Scoring	MDSPa	MDSPb	MDSPc	MDSPD	MDSPe	MDSPf	MDSPg	MDSPh	MDSPi
A1 : Croissance de la plante	Hauteur-1mois	+	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,76
	Hauteur-2mois	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A2 : Biomasse de la plante	Biomae	+	0,00	1,00	0,96	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Biomrac	+	1,00	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,10
	ShRt	+	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	Hauteur-épi	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
A3 : Rendement	Hauteur-7poq	+	1,00	1,00	0,87	1,00	1,00	1,00	1,00	0,88	0,00
	nb-panblanche	-	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
	nbpani	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68
	pdspani	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79
	pds-tige	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,32
	rdm-paille-carre	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	rdm-grain-carre	+	1,00	1,00	0,89	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,00
A4 : Qualité des grains	HI	+	1,00	1,00	0,61	1,00	0,00	0,00	1,00	0,13	0,42
	C-grain	+	1,00	1,00	0,58	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,16
	N-grain	+	1,00	1,00	0,81	1,00	1,00	1,00	1,00	0,63	0,84
	C/N-grain	-	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,63
	P-grain	+	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	0,75	0,89
	C-grain7poq	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P-grain7poq	+	0,00	1,00	0,71	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,37
	C-grain-carre	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N-grain-carre	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P-grain-carre	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C-pailgrain-7poq	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N-pailgrain-7poq	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
	P-pailgrain-7poq	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C-pailgrain-carre	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A5 : Qualité des pailles	N-pailgrain-carre	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P-pailgrain-carre	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C-paille	+	1,00	1,00	0,57	1,00	0,50	1,00	1,00	0,38	0,74
	N-paille	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
	C/N-paille	-	0,00	1,00	0,76	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P-paille	+	1,00	0,00	0,79	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,53
	P-paille-7poq	+	0,00	1,00	0,63	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,21
	C-pailgrain-7poq	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	N-pailgrain-7poq	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P-pailgrain-7poq	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	C-pailgrain-carre	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26
	N-pailgrain-carre	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	P-pailgrain-carre	+	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mslab	+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
	CT	-	0,00	0,00	0,81	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00
MAT	+	0,00	0,00	0,87	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	
CB	-	0,00	0,00	0,85	1,00	0,50	1,00	0,00	0,00	0,00	
ADL	-	1,00	0,00	0,45	1,00	0,50	1,00	1,00	1,00	0,25	
SPAD	+	1,00	1,00	0,73	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	

D. RESULTATS DE L'AGREGATION DES VARIABLES

Après l'étape d'obtention des MDS_P qui multiplie le score d'une variable i par son facteur de pondération P_i , deux méthodes d'agrégation aboutissent aux indicateurs de type A et A'. Les indicateurs de types A sont agrégés par la médiane des scores finaux et les indicateurs de type A' sont agrégés par la moyenne des scores finaux. Chaque MDSP est agrégé par ces deux différentes méthodes. Les résultats de chaque agrégation sont détaillés dans les tableaux présentés en annexe 6 et annexe 8. Ils nous donnent le résultat final des indices des différents indicateurs.

6. Résultat des classements des SFR par la méthode Nanson

Le Nanson IG (Tableau XI) est le résultat des différents classements des Indicateurs globaux IG agrégés à partir des trois axes « écologique », « agronomique » et « perception paysanne ». Le SFR qui arrive 1^{er} avec une probabilité de remporter parmi un indicateur IG au hasard de 94%. Il est suivi des SFR12, 13 et 3. Les SFR arrivant en dernière position sont les SFR témoins 16 et 8 ainsi que les SFR1, 2 et 3.

TABLEAU XI: RÉSULTAT DU NANSON IG

NansonIG	SFR	Borda Score
1	SFR15	94%
2	SFR12	85%
3	SFR13	82%
4	SFR7	78%
5	SFR9	70%
6	SFR4	65%
7	SFR14	66%
8	SFR10	53%
9	SFR6	52%
10	SFR11	47%
11	SFR5	37%
12	SFR3	31%
13	SFR2	20%
14	SFR1	13%
15	SFR8	7%
16	SFR16	0%

A. RÉSULTATS DES CLASSEMENT DES SFR SUR L'AXE ÉCOLOGIQUE

En appliquant la règle de Nanson sur les 18 indicateurs IAE et IAE(IF) construits, le classement présenté dans le tableau (XII) est obtenu. Le SFR9 est celui qui obtient le meilleur classement de l'axe écologique. Il y a 85% de chance que le SFR9 obtienne un meilleur rang qu'un autre SFR aléatoire dans un des 18 indicateurs pris au hasard. La deuxième position est attribuée au SFR15 suivi du SFR11 puis du SFR14. Les SFR les moins bien classés sont le témoin négatif (SFR16) en 16^{ème} position et le témoin positif (SFR8) en 15^{ème} position. Les pratiques SFR1, 2 et 3 arrivent en position 14, 13 et 11.

La règle de Nanson a également été appliquée sur deux groupes distincts des 18 indicateurs écologiques les 12 indicateurs IAE (IF) et les 6 indicateurs IAE. Les résultats sont présentés dans le tableau (XII). Le tableau (XIII) renseigne sur la différence des écarts entre les différents classements de Nanson réalisés. Les SFR qui varient le plus en fonction des différents types de construction sont les SFR 6, 11, 12, 13 et 15. Ces SFR, dans les trois classifications de Nanson, sont toujours dans la moitié supérieure de classement (du rang 1 à 8). Les SFR du rang 9 à 16 n'ont jamais plus d'un rang d'écart entre les différents classements

de Nanson IAE(IF)-IAA et Nanson IAA. L'écart maximal est obtenu entre le classement des SFR6 et SFR13 entre les classements de Nanson IAE(IF) et Nanson IAE. Le SFR6 arrivant 3^{ème} avec 80% de chance d'être mieux classées qu'une autre SFR dans un des indicateurs IAE(IF) choisis au hasard passe au 8^{ème} rang en appliquant la règle de Nanson sur les indicateurs IAE avec seulement 55% de chance de l'emporter sur une SFR dans un IAE

aléatoire. Le SFR13 passe du rang 8 avec une probabilité de Borda de 56% (Nanson IAE(IF)) au rang 3 avec une probabilité de Borda de 83% (Nanson IAE).

TABLEAU XIII: RÉSULTATS DES NANSON DE L'AXE ÉCOLOGIQUE

Règle de Nanson :		Nanson IAE(IF)-IAE		Nanson IAE(IF)		Nanson IAE		
Classement	SFR	Borda score	Classement	SFR	Borda score	Classement	SFR	Borda score
1	SFR9	85%	1	SFR9	88%	1	SFR15	100%
2	SFR15	78%	2	SFR12	76%	2	SFR9	77%
3	SFR11	74%	3	SFR6	80%	3	SFR13	83%
3	SFR14	73%	3	SFR14	69%	4	SFR11	80%
5	SFR12	75%	5	SFR15	67%	5	SFR14	80%
6	SFR6	72%	6	SFR10	74%	6	SFR12	73%
7	SFR10	69%	7	SFR11	70%	7	SFR10	57%
7	SFR13	64%	8	SFR13	56%	8	SFR6	55%
9	SFR7	50%	9	SFR7	54%	9	SFR5	47%
10	SFR5	47%	10	SFR5	47%	10	SFR7	40%
11	SFR4	36%	11	SFR4	39%	11	SFR3	37%
11	SFR3	37%	12	SFR3	37%	12	SFR4	31%
13	SFR2	18%	13	SFR2	17%	13	SFR2	19%
14	SFR1	14%	13	SFR1	16%	14	SFR1	12%
15	SFR8	8%	15	SFR8	9%	15	SFR8	7%
16	SFR16	2%	16	SFR16	1%	16	SFR16	3%
Liste des indicateurs ayant été considérés dans chaque application de la règle de NANSON		IF1-5, IF11-15, IF21-25, IF31-35, IF41-15, IF51-55, IF61-65, IF71-75, IF81-85, IF91-95, IF101-105, IF111-115, IEO121, IEO123, IEO125, IEO127, IEO129, IEO131	IF1-5, IF11-15, IF21-25, IF31-35, IF41-15, IF51-55, IF61-65, IF71-75, IF81-85, IF91-95, IF101-105, IF111-115	121,123,125,127,129,131				

TABLEAU XII : ECARTS ENTRE LES CLASSEMENTS NANSON IAE(IF) et IAE

SFR	Écarts des NANSON		min rang	max rang
	SFR	Nanson IAEIF et IAE		
SFR1	1	1	13	14
SFR2	0	0	13	13
SFR3	1	1	11	12
SFR4	1	1	11	12
SFR5	1	1	9	10
SFR6	5	5	3	8
SFR7	1	1	9	10
SFR8	0	0	15	15
SFR9	1	1	1	2
SFR10	1	1	6	7
SFR11	3	3	3	7
SFR12	4	4	2	6
SFR13	5	5	3	8
SFR14	2	2	3	5
SFR15	4	4	1	5
SFR16	0	0	16	16

Classements stables



Classements différents

B. RÉSULTATS DES CLASSEMENTS DES SFR SELON LES DIFFÉRENTES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES

Les résultats sont maintenant observés non plus par axe mais par fonction (Tableau XIV). Les 60 indicateurs IF E1 à E5 renseignent sur les cinq fonctions écologiques. Il y a donc 12 indicateurs par fonction qui forment des groupes sur lesquels est appliquée la règle de Nanson. La SFR9 obtient le meilleur classement de Nanson des groupes d'indicateurs IFE1 et IFE2 avec des scores de Borda de respectivement 97 et 91%. La SFR9 est classée 5^{ème} des Nanson IFE4 et Nanson IFE5 mais se positionne à la 9^{ème} position du classement Nanson IFE3. La SFR qui obtient le meilleur classement de Nanson IFE3 est le SFR6. Le SFR1 obtient le meilleur classement de Nanson IFE4 avec une probabilité de Borda de 96%. Enfin, le SFR1 l'emporte avec une probabilité de Borda de 94% dans le classement Nanson IFE5. Les SFR1 et SFR16 sont classés au mieux 13^{ème} sauf dans le classement de Nanson IFE4 où le SFR1 est classé 1^{er} et le SFR16, 8^{ème}.

TABLEAU XIV: RÉSULTATS DES NANSON IFE1 à IFE5

N° règle de NANSON	Nanson IFE1			Nanson IFE2			Nanson IFE3			Nanson IFE4			Nanson IFE5		
	Classement	SFR	Borda Score	Classement	SFR	Borda Score	Classement	SFR	Borda Score	Classement	SFR	Borda Score	Classement	SFR	Borda Score
1	SFR9	97%	1	SFR9	91%	1	SFR6	89%	1	SFR1	96%	1	SFR14	93%	
2	SFR5	86%	2	SFR10	79%	2	SFR12	82%	2	SFR12	76%	2	SFR15	78%	
3	SFR6	79%	3	SFR15	84%	2	SFR15	73%	2	SFR3	77%	3	SFR12	78%	
4	SFR14	79%	3	SFR11	71%	4	SFR11	78%	4	SFR13	70%	4	SFR7	71%	
5	SFR15	73%	5	SFR7	69%	5	SFR14	68%	5	SFR6	74%	5	SFR9	71%	
6	SFR10	57%	6	SFR6	62%	6	SFR10	66%	5	SFR9	69%	6	SFR10	69%	
7	SFR13	64%	6	SFR13	57%	7	SFR13	61%	7	SFR14	61%	7	SFR11	66%	
8	SFR7	56%	8	SFR14	56%	8	SFR7	59%	8	SFR16	50%	8	SFR5	56%	
9	SFR12	57%	8	SFR4	57%	9	SFR8	46%	8	SFR7	44%	8	SFR3	56%	
10	SFR11	49%	10	SFR12	52%	9	SFR9	41%	10	SFR10	44%	10	SFR6	42%	
11	SFR4	36%	11	SFR5	52%	11	SFR4	34%	11	SFR4	33%	11	SFR13	38%	
12	SFR3	28%	12	SFR3	29%	12	SFR5	38%	12	SFR11	28%	12	SFR4	32%	
13	SFR2	19%	13	SFR2	22%	13	SFR3	38%	13	SFR5	30%	13	SFR1	22%	
14	SFR1	14%	14	SFR8	13%	14	SFR2	15%	14	SFR15	29%	14	SFR16	16%	
15	SFR16	4%	15	SFR1	7%	14	SFR1	12%	14	SFR2	19%	14	SFR2	12%	
16	SFR8	3%	16	SFR16	0%	16	SFR16	1%	16	SFR8	0%	16	SFR8	3%	
Liste des indicateurs IFE concernés :	1,11,21,31,41,51,61,71,81,91,101,111			2,22,32,42,52,62,72,82,92,102,112			3,13,23,33,43,53,63,73,83,93,103,113			4,14,24,34,44,54,64,74,84,94,104,114			5,15,25,35,45,55,65,75,85,95,105,115		

En comparant les classements de Nanson sur chacun des groupes d'indicateurs IFE1 à IFE5 avec la moyenne de tous ces classements Nanson IF (Tableau XV), les SFR 1, 3, 15 et 16 ont un classement de Nanson IFE4 qui possède un écart supérieur à 5 avec la moyenne des classements de Nanson 4 à 8. Dans le Nanson IFE1, seul le SFR5 obtient un classement éloigné de la moyenne. Finalement il n'y a que les SFR2 (Fumier traditionnel 3tMS/ha), SFR4 et SFR7 qui ont pour tous les classements de Nanson un écart inférieur à 3 avec la moyenne des classements de Nanson.

TABLEAU XV : ÉCARTS A LA MOYENNE DES CLASSEMENTS DE NANSON IFE1 à IFE5

SFR	Moyenne des classement Nanson	Ecart à la moyenne				
		Nanson IFE1	Nanson IFE2	Nanson IFE3	Nanson IFE4	Nanson IFE5
SFR1	11,4	2,6	3,6	2,6	10,4	1,6
SFR2	13,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4
SFR3	9,4	2,6	2,6	3,6	7,4	1,4
SFR4	10,6	0,4	2,6	0,4	0,4	1,4
SFR5	9,2	7,2	1,8	2,8	3,8	1,2
SFR6	5	2	1	4	0	5
SFR7	6,8	1,2	1,8	1,2	2,2	2,8
SFR8	14,2	1,8	0,2	5,2	1,8	1,8
SFR9	4,4	3,4	3,4	4,6	1,6	0,6
SFR10	6	0	4	0	4	0
SFR11	7,2	2,8	4,2	3,2	4,8	0,2
SFR12	5,2	3,8	4,8	3,2	3,2	2,2
SFR13	7	0	1	0	3	4
SFR14	5	1	3	0	2	4
SFR15	5,2	0,2	2,2	3,2	8,8	3,2
SFR16	13,8	1,2	2,2	2,2	5,8	0,2

Classements stables  Classements différents

Les histogrammes des scores de Borda cumulés, de chaque SFR, des scores de chaque groupe d'indicateurs IFE sont présentés figure (V). La SFR9 obtient le meilleur score cumulé. Le SFR14 arrive en seconde position avec des scores de Borda supérieurs à 50% sur toutes les fonctions avec le meilleur score pour le groupe d'indicateurs IFE5. Le SFR6 obtient des scores supérieurs à 60% sur les groupes IFE1, à IFE4 et obtient un score de 46% sur le groupe d'indicateur IFE5, ce qui la place en 3^{ème} position des scores cumulés de Borda. Le SFR8 est celui qui obtient le plus petit score cumulé.

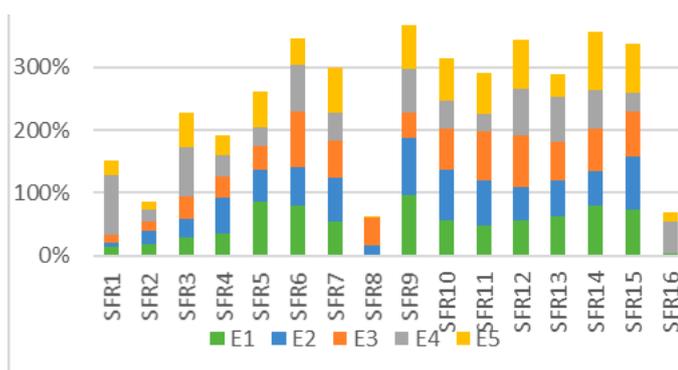


FIGURE V : HISTOGRAMMES DES SCORES DE BORDA CUMULÉS DE CHAQUE NANSON IFE1 à IFE5

La matrice de corrélation compare les différents classements de Nanson par leur corrélation de Pearson (Tableau XVI). On voit une corrélation supérieure à 0.6 entre les Nanson IFE1, IFE2, IFE3 et IFE5. Cependant, le Nanson IFE4 est la seule qui n'est corrélée à aucune autre fonction (Corrélation inférieure à 0.2). Le détail de la matrice de corrélation de tous les rangs des indicateurs IF avant l'application de la règle de Nanson est présenté en

annexe (16). Les corrélations sont fortement positives pour les indicateurs des rectangles de la diagonale, c'est-à-dire entre indicateurs IFE d'une même fonction. Les indicateurs de la fonction E4 sont très peu corrélés voir négativement corrélés aux indicateurs des autres fonctions.

TABLEAU XVI : CORRÉLATIONS ENTRE LES NANSON DES INDICATEURS DE FONCTIONS ÉCOLOGIQUES (IFE1à IFE5)

Résultats de l'application de la règle de Nanson	Nanson IFE1	Nanson IFE2	Nanson IFE3	Nanson IFE4	Nanson IFE5
IFE1	1				
IFE2	0,73235294	1			
IFE3	0,51764706	0,65294118	1		
IFE4	0,08529412	-0,06176471	0,03235294	1	
IFE5	0,68823529	0,68235294	0,62352941	0,17058824	1

C. RÉSULTATS DES INDICATEURS DE L'AXE AGRONOMIQUE

Le résultat de l'application de la règle de Nanson sur tous les indicateurs de l'axe agronomique IAA donne le classement suivant (Tableau XVII). Le SFR15 est qui a la plus grande probabilité (94%) de l'emporter sur les autres SFR dans tous les indicateurs IAA confondus. Le SFR4 et le SFR7 se placent en deuxième et troisième positions. Les SFR témoins sont les moins bien classés avec les scores de Borda les plus faibles. Le SFR12 arrive en 4^{ème} position.

L'application de la règle de Nanson sur les indicateurs IAA d'une part et les IAA(IF) d'autre part donne les classements ci-dessous (tableau XVII). Le SFR15 reste le mieux classé quelle que soit la règle de Nanson appliquée. Le SFR7 a toujours un score de Borda élevé d'environ 75%. Les SFR 1, 8, 16, 6, 3, 5 et 2 sont toujours dans le bas du classement avec des scores de Borda inférieur à 50%.

TABLEAU XVII : RÉSULTATS DES NANSON DE L'AXE AGRONOMIQUE

Règle de Nanson :	Nanson IAA(IF)-IAA		Nanson IAA(IF)			Nanson IAA		
Classement	SFR	Borda Score	Classement	SFR	Borda score	Classament	SFR	Borda score
1	SFR15	94%	1	SFR15	99%	1	SFR15	82%
2	SFR4	81%	2	SFR4	83%	1	SFR14	87%
3	SFR7	75%	3	SFR7	74%	3	SFR7	77%
4	SFR12	67%	4	SFR12	63%	3	SFR12	73%
5	SFR9	70%	5	SFR9	68%	5	SFR9	74%
6	SFR14	67%	6	SFR11	55%	6	SFR4	79%
7	SFR13	60%	7	SFR13	62%	7	SFR10	61%
8	SFR10	56%	8	SFR14	57%	8	SFR13	57%
9	SFR11	54%	9	SFR10	53%	9	SFR11	53%
10	SFR2	44%	10	SFR2	47%	10	SFR5	42%
11	SFR5	38%	11	SFR3	34%	11	SFR2	38%
12	SFR3	35%	11	SFR5	36%	12	SFR3	36%
13	SFR6	31%	13	SFR6	37%	13	SFR6	20%
14	SFR1	14%	14	SFR1	18%	14	SFR16	9%
15	SFR8	10%	15	SFR8	12%	14	SFR8	8%
16	SFR16	4%	16	SFR16	1%	16	SFR1	4%
Liste des indicateurs ayant été considérés dans chaque application de la règle de NANSON	IF6-10, IF16-20, IF26-30, IF36-40, IF46-50, IF56-60, IF66-70, IF76-80, IF86-90, IF96-100, IF106-110, IF116-120, 122, 124, 126,128,130,132		IF6-10, IF16-20, IF26-30, IF36-40, IF46-50, IF56-60, IF66-70, IF76-80, IF86-90, IF96-100, IF106-110, IF116-120			122,124,126,128,130,132		

On peut voir dans le tableau (XVIII) les écarts entre les classements de Nanson IAA(IF) et IAA. Seul les SFR4 et SFR14, ont des écarts de rang supérieur à 3 entre les Nanson IAA(IF) et Nanson IAA. Le SFR 4 classé deuxième dans les Nanson AA(IF), arrive 6^{ème} dans le classement de Nanson IAA. Le SFR14 passe de 1^{er} (Nanson IAA) à 8^{ème} Nanson IAA(IF).

TABLEAU XVIII: ÉCARTS ENTRE LES CLASSEMENTS DE NANSON IAA(IF) ET IAA

Écarts des classements NANSON		min rang	max rang
SFR	IAA(IF) et IAA		
SFR1	2	14	16
SFR2	1	10	11
SFR3	1	11	12
SFR4	4	2	6
SFR5	1	10	11
SFR6	0	13	13
SFR7	0	3	3
SFR8	1	14	15
SFR9	0	5	5
SFR10	2	7	9
SFR11	3	6	9
SFR12	1	3	4
SFR13	1	7	8
SFR14	7	1	8
SFR15	0	1	1
SFR16	2	14	16

Classements stables  Classements différents

D. RÉSULTATS DES CLASSEMENTS DES SFR SUR LES DIFFÉRENTES FONCTIONS AGRONOMIQUES

Le tableau (XIX) présente les différents classements de Borda sur les différents indicateurs IF des fonctions agronomiques A1 à A5. Le SFR15 est celui qui obtient le meilleur classement sur la fonction A1 (croissance de la plante), suivi des SFR7 et 12. Le SFR15 est également premier sur la fonction A4 (qualité des grains). Il est bien classé et obtient un score > 69% dans toutes les applications de Nanson sauf dans l'application n°16. En effet, l'application de Nanson sur le groupe des indicateurs IF de la fonction A5 (qualité des pailles) classe le SFR15 13^{ème} avec un score de Borda de 38%. Le SFR4 arrive en première position pour les fonctions A2 (biomasse de la plante) et A3 (rendement), il est également bien classé dans le résultat de Nanson IFA4 (qualité des grains). Cependant pour les applications de Nanson IFA1 et IFA5, le SFR4 est mal classé (13^{ème} et 12^{ème} position). Le SFR qui a le meilleur score de Borda sur l'application de Nanson IFA5 (qualité des pailles) est le SFR8, très mal classé dans les autres applications de Nanson.

TABLEAU XIX : RÉSULTATS DES NANSON SUR LES INDICATEURS DE FONCTIONS AGRONOMIQUES (IFA1 à IFA5)

Règle de Nanson	IFAE1		Nanson IFAE2			Nanson IFAE3			Nanson IFAE4			Nanson IFAE5		
Classement	SFR	Borda Score	Classement	SFR	Borda Score	Classement	SFR	Borda Score	Classement	SFR	Borda Score	Classement	SFR	Borda Score
1	SFR15	99%	1	SFR4	99%	1	SFR4	100%	1	SFR15	88%	1	SFR8	86%
2	SFR7	94%	2	SFR11	86%	2	SFR10	79%	2	SFR9	77%	2	SFR16	58%
3	SFR12	87%	3	SFR15	87%	3	SFR9	85%	3	SFR8	78%	3	SFR14	72%
4	SFR14	74%	4	SFR10	71%	4	SFR7	71%	4	SFR16	65%	4	SFR5	71%
5	SFR6	71%	4	SFR2	78%	5	SFR15	69%	5	SFR4	69%	5	SFR10	70%
6	SFR13	71%	6	SFR3	67%	6	SFR12	69%	5	SFR14	64%	6	SFR12	57%
7	SFR11	58%	6	SFR7	65%	7	SFR5	66%	7	SFR13	56%	6	SFR6	56%
8	SFR5	50%	8	SFR13	53%	8	SFR11	52%	8	SFR7	44%	8	SFR9	52%
9	SFR9	48%	9	SFR9	54%	9	SFR14	50%	8	SFR10	47%	9	SFR11	44%
10	SFR2	36%	10	SFR12	37%	9	SFR13	44%	10	SFR11	35%	10	SFR3	49%
11	SFR10	36%	10	SFR6	36%	11	SFR2	37%	11	SFR2	42%	11	SFR13	41%
12	SFR1	30%	12	SFR14	26%	11	SFR3	32%	12	SFR3	34%	12	SFR4	42%
13	SFR4	22%	13	SFR5	22%	13	SFR6	26%	12	SFR12	29%	13	SFR15	38%
14	SFR3	18%	14	SFR1	13%	14	SFR1	13%	14	SFR5	38%	14	SFR2	23%
15	SFR16	6%	15	SFR8	7%	15	SFR8	7%	15	SFR1	17%	14	SFR7	25%
16	SFR8	1%	16	SFR16	0%	16	SFR16	0%	16	SFR6	16%	16	SFR1	17%
Liste des indicateurs IFA concernés :	6,16,26,36,46,56,66,76,86,96,106,116		7,17,27,37,47,57,67,77,87,97,107,117			8,18,28,38,48,58,68,78,88,98,108,118			9,19,29,39,49,59,69,79,89,99,109,119			10,20,30,40,50,60,70,80,90,100,110,120		

Dans le tableau (XX) sont présentés les écarts des classements de Nanson pour chaque fonction avec la moyenne des classements du SFR sur toutes les applications de Nanson IFA1 à IFA5. Les SFR1 et SFR13 sont les seuls qui obtiennent des écarts à la moyenne, inférieurs à 3 pour toutes les applications de Nanson. Le Nanson 16 est le classement où les écarts des classements des SFR avec la moyenne sont les plus élevés. Les SFR16, SFR8 et SFR4 ont pour tous les classements de Nanson, un écart à la moyenne supérieur à 3.

TABLEAU XX : RÉSULTATS DES ÉCARTS A LA MOYENNE DES DIFFÉRENTS NANSON IFA1 à IFA5

SFR	Moyenne des classements de Nanson IF	Ecart à la moyenne				
		Nanson IFAE1	Naons IFAE2	Nanson IFAE3	Nanson IFAE4	Nanson IFAE5
SFR1	14,64	2,2	0,2	0,2	0,8	1,8
SFR2	11,4	0	6	1	1	4
SFR3	10,92	3,4	4,6	0,4	1,4	0,6
SFR4	5,88	6,6	5,4	5,4	1,4	5,6
SFR5	8,44	1,2	3,8	2,2	4,8	5,2
SFR6	11	5	0	3	6	4
SFR7	7,76	4,8	0,8	2,8	1,2	7,2
SFR8	8,8	6	5	5	7	9
SFR9	5,44	2,8	2,8	3,2	4,2	1,8
SFR10	5,2	5	2	4	2	1
SFR11	8,44	0,2	5,2	0,8	2,8	1,8
SFR12	7,48	4,4	2,6	1,4	4,6	1,4
SFR13	8,64	2,2	0,2	0,8	1,2	2,8
SFR14	5,72	2,6	5,4	2,4	1,6	3,6
SFR15	5,32	3,6	1,6	0,4	3,6	8,4
SFR16	9,52	4,4	5,4	5,4	6,6	8,6

Classements stables  Classements différents

Certains résultats de Nanson sont corrélés entre eux. Globalement, les Nanson des IF agronomique ne sont pas très bien corrélés. La meilleure corrélation obtenue entre deux résultats de Nanson sur les fonctions A1 à A5 est de 0,66 entre le Nanson IFA2 et Nanson IFA3. Les Nanson IFA2 et IFA5 sont corrélé négativement à 0,55. Les autres corrélations sont comprises entre -0,25 et 0,4. En annexe (17) est présenté le détail des corrélations de tous les indicateurs regroupés dans les classements de Nanson.

TABEAU XXI: CORRÉLATIONS DES NANSON DES INDICATEURS AGRONOMIQUES (IFA1 à IFA5)

Résultats de l'application de la règle de Nanson :	NansonIFA1	NansonIFA2	Nanson IFA3	Nanson IFA4	Nanson IFA5
NansonIFA1	1				
NansonIFA2	0,25749302	1			
Nanson IFA3	0,39601051	0,66310135	1		
Nanson IFA4	-0,04871333	0,09765597	0,26338861	1	
Nanson IFA5	-0,22629172	-0,54749123	-0,24189902	0,1737244	1

Les résultats de Borda cumulés (Figure VI) montrent que c'est le SFR15 qui obtient les meilleurs scores moyens de l'ensemble des classements. Il est suivi du SFR 4, Les scores cumulés des SFR9 à 14 sont très proches. Le SFR obtenant de mauvais score de Borda dans tous les Nanson est celui qui obtient le plus petit score cumulé (SFR1, 8 et 16).

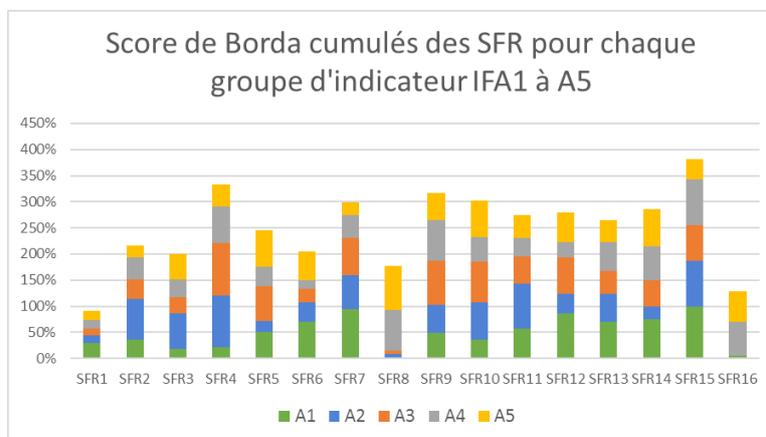


FIGURE VI : RÉSULTATS DES SCORES DE BORDA CUMULLÉS DE CHAQUE NANSON IFA1 à IFA5

7. Résultats des différents indicateurs construits, indices et classements.

Le tableau ci-dessous (XXII) résume les classements de tous les indicateurs IG globaux agrégés à partir des moyennes des résultats des indices des Indicateurs écologiques IAE (IF) et IAE, des Indicateurs agronomiques IAA (IF) et IAA ainsi que de l'indicateur de perception paysannes IPP. Il arrive également presque toujours premier des approches « mixtes » et « statistiques ». Les SFR12 à 14 sont également presque toujours bien classés. Les SFR16 et 8 sont toujours derniers suivis des SFR1, 2 et 3. Tous les indices de ces indicateurs sont détaillés en annexe (9)

TABLEAU XXII : CLASSEMENTS FINAUX DES SFR DANS LES DIFFÉRENTS INDICATEURS GLOBAUX (IG)

Type d'indicateurs	Statistique	Statistique	Mixte	Mixte	Référence	Référence	Référence	Référence	Expert	Expert	Expert	Expert	Mixte	Mixte	Mixte	Mixte	Statistique	Statistique																		
JDD	Fonctions				Fonctions				Fonctions				Axe																							
Corrélation	Conservation				Suppression				Suppression				Conservation																							
Méthode sélection	Stepdisc				wilcox				Expert				Stepdisc																							
MDS	MDS1				MDS2				MDS3				MDS4				MDS5				MDS6															
Scoring	Secure				Ref				Secure				Secure																							
Pondération	Non				Non				ACP				non				Expert				Non				Non				Stepdisc				Stepdisc			
MDSp	MDSPa				MDSPb				MDSPc				MDSPd				MDSPe				MDSPf				MDSPg				MDSPh				MDSPi			
Agrégation	Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne					
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A3	A3'	A4	A4'	A5	A5'	A6	A6'	A7	A7'	A8	A8'	A9	A9'																		
SFR1	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	15	14	14	14	14	14	14	14																		
SFR2	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13																		
SFR3	12	12	12	12	6	11	12	10	12	12	12	12	12	12	9	12	11	12																		
SFR4	9	7	11	6	1	4	6	4	4	6	3	6	8	7	6	10	7	8																		
SFR5	10	11	7	11	11	12	7	12	11	11	11	11	9	10	11	11	10	11																		
SFR6	8	10	6	8	5	9	1	9	10	8	5	8	6	11	12	9	12	10																		
SFR7	7	3	8	2	4	1	2	2	3	3	4	3	7	6	5	4	9	4																		
SFR8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	14	15	15	15	15	15	16	15																		
SFR9	1	5	3	5	7	8	8	8	5	7	5	3	3	8	6	4	6																			
SFR10	5	6	10	9	9	6	9	6	5	10	9	10	10	9	10	8	9																			
SFR11	4	9	9	10	12	10	11	11	9	9	10	9	11	8	7	7	8	7																		
SFR12	11	2	5	3	3	3	3	1	2	1	6	1	4	2	2	2	5	2																		
SFR13	6	4	4	4	2	5	4	5	6	4	2	4	2	4	3	3	2	3																		
SFR14	3	8	2	7	10	8	10	7	7	8	7	5	5	4	5	3	5																			
SFR15	2	1	1	1	8	2	5	3	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1																		
SFR16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	16																		

Très bien classée 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 Mal classée

A. RÉSULTATS DES INDICATEURS DE L'AXE ECOLOGIQUES (IAE)

Tous les indices obtenus dans les 78 indicateurs écologiques (60 IFE, 18 IAE) sont détaillés en annexe (11). Les résultats des classements obtenus à partir des indices de ces mêmes indicateurs sont également présentés dans l'annexe 10.

Bien que des variabilités dans les classements sont observées en fonction de l'indicateur utilisé, des similitudes peuvent être observées dans les différents classements (Tableau XXIII). Les SFR 6, SFR10, SFR11 et SFR9 sont toujours classés dans les rangs 1 à 9 (bleu à blanc) de tous les classements des indicateurs. Les SFR16 SFR8, SFR1 et SFR2 sont toujours mal classés (rouge à rose).

Dans les indicateurs agrégés IAE des indicateurs IF, le SFR9 est toujours classé entre le rang 1 et le rang 7. Elle est d'ailleurs toujours en tête du classement sur les indicateurs « statistiques » et également en tête de l'indicateur « expert » IF91-95 et de l'indicateur IF111-115. Les SFR6, SFR11 et SFR10 sont toujours classés aux rangs compris entre 1 et 9 dans les indicateurs IAE-IF.

Dans le classement de tous les indicateurs IAE, les similitudes sont claires. Les SFR16 et SFR8 (témoin négatif et positif) ainsi que les SFR1 à SFR4 et le SFR7 sont toujours mal classés. En revanche le SFR15 est vainqueur de tous les indicateurs IAE. Les SFR11 à 14 sont toujours bien classés. Les SFR5, SFR6, SFR9 et SFR10 ont des classements plus

variables qui dépendent de l'indicateur utilisé. Par exemple le SFR9 passe de la deuxième position pour les indicateurs IAE 121, 123 et 127 à la 9^{ème} position dans l'indicateur IAE 125.

TABLEAU XXIII : CLASSEMENTS DES SFR DANS LES DIFFÉRENTS INDICATEURS DE L'AXE ÉCOLOGIQUE

CLASSEMENT PAR LES INDICATEURS ÉCOLOGIQUES																																				
Type d'approche	Statistique	Statistique	Mixte	Mixte	Référence	Référence	Référence	Référence	Expert	Expert	Expert	Expert	Mixte	Mixte	Mixte	Mixte	Statistique	Statistique																		
Sélection	1. JDD	Fonctions				Fonctions				Fonctions				Sous-ensemble				Sous-ensemble																		
	2. Correlations	Conservation				Suppression				Suppression				Suppression				Conservation																		
	3. Méthode	Stepdisc				Stepdisc				Stepdisc				Stepdisc				Stepdisc																		
MDS	MDS1				MDS2				MDS3				MDS4				MDS5				MDS6															
Scoring	Secure				Secure				Ref				Secure				Secure				Secure															
Pondération	Non				Non				ACP				non				Expert				Non				Stepdisc				Stepdisc							
MDSP	MDSPa				MDSPb				MDSPc				MDSPd				MDSPe				MDSPf				MDSPg				MDSPh				MDSPi			
Agrégation	Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne					
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A3	A3'	A4	A4'	A5	A5'	A6	A6'	A7	A7'	A8	A8'	A9	A9'																		
IAE	IF1-5	IF11-15	IF21-25	IF31-35	IF41-45	IF51-55	IF61-65	IF71-75	IF81-85	IF91-95	IF101-105	IF111-115	121	123	125	127	129	131																		
Rangs	SFR1	15	13	14	13	14	14	13	13	15	13	14	13	15	14	13	14	15	14																	
	SFR2	12	14	13	14	13	13	14	14	13	14	13	14	13	14	13	14	13	13																	
	SFR3	13	12	12	12	2	11	11	4	12	11	15	11	10	11	8	11	12	11																	
	SFR4	11	11	11	11	10	10	8	12	8	12	6	12	11	12	11	12	11	12																	
	SFR5	7	10	5	10	11	12	10	9	7	7	11	8	8	10	12	9	6	10																	
	SFR6	2	6	7	7	1	8	1	3	4	4	1	4	6	9	7	8	9	7																	
	SFR7	8	9	10	9	5	5	2	8	11	10	7	10	12	8	10	10	10	9																	
	SFR8	14	15	15	15	15	15	15	15	14	16	12	15	14	15	15	15	16	15																	
	SFR9	1	1	1	1	3	3	7	7	6	1	2	1	2	2	9	2	7	3																	
	SFR10	5	5	8	8	7	1	3	1	1	9	4	6	9	7	6	7	8	8																	
	SFR11	3	4	3	4	9	6	6	6	2	8	8	7	7	4	3	3	3	2																	
	SFR12	10	7	6	6	6	2	5	2	3	2	5	2	5	6	4	5	5	5																	
	SFR13	9	8	9	5	4	9	4	10	10	5	9	9	3	5	2	6	2	6																	
	SFR14	6	3	2	3	8	7	12	5	5	3	10	3	4	3	5	4	4	4																	
	SFR15	4	2	4	2	12	4	9	11	9	6	3	5	1	1	1	1	1	1																	
	SFR16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	15	16	16	16	16	16	16	16	14	13																

Très bien classée 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 Mal classée

B. RÉSULTATS DES INDICATEURS DES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES (IAEIF)

3. Indices des SFR Paysannes par les indicateurs de référence, expert et statistique.

Les résultats normalisés des indices obtenus sur les indicateurs de « référence » IF51 à IF55, les indicateurs « statistiques » IF11 à IF15 et les indicateurs « expert » IF91 à IF95 sont représentés ci-dessous (figures VII, VIII, IX et X). Le SFR 8 obtient des indices très faibles sur les fonctions E1, E4, E5 des trois indicateurs présentés. Il obtient un indice inférieur à 0,40 pour l'indicateur de référence (figure VII-A) et l'indicateur statistique (Figure VII-B) sur les fonctions E2 et E3, son indice monte à 0.76 sur la fonction E3 de l'indicateur expert. Le SFR16 obtient un indice égal ou proche de zéro sur les fonctions E1, E2 et E3 de tous les indicateurs. Il obtient le meilleur indice pour la fonction E4 de l'indicateur expert (IF94).

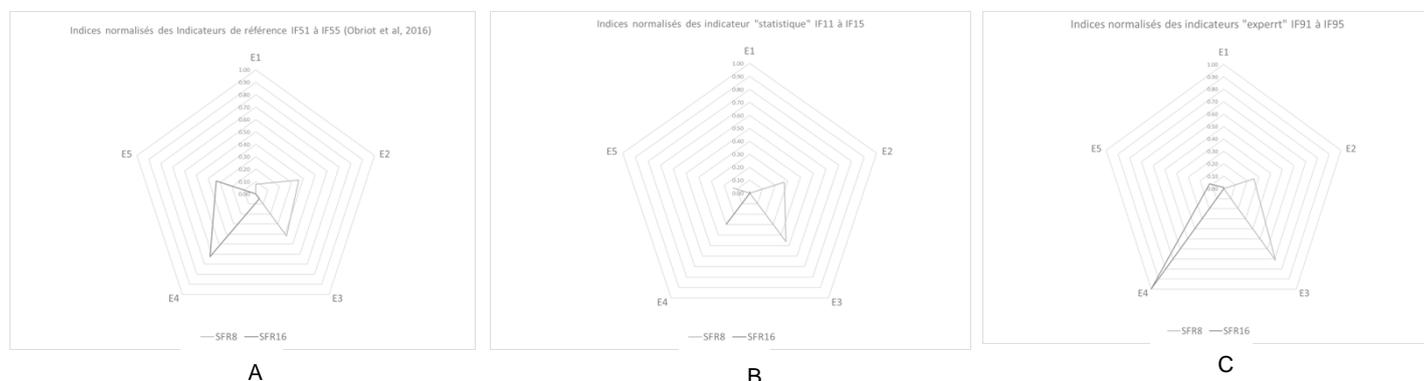


FIGURE VII : DÉTAILS DES INDICES OBTENUS POUR LES SFR8 et SFR16 PAR TROIS TYPES D'INDICATEURS FONCTIONS "RÉFÉRENCE", "STATISTIQUES" ET "EXPERT"

Les Indices des SFR1, SFR2, SFR3 sont présentés figure (VIII). Le SFR3 obtient globalement de meilleurs indices que les SFR1 et 2 sur toutes les fonctions sauf pour la fonction E4 de l'indicateur de « référence » et l'indicateur « expert ». Les valeurs des indices sur les fonctions des SFR1 et 2 sont variables. Le SFR1 obtient un indice élevé sur la fonction E4 dans les trois indicateurs. Cependant elle obtient un score moyen pour la fonction E3 de l'indicateur de « référence » mais un score très faible pour les deux autres indicateurs.

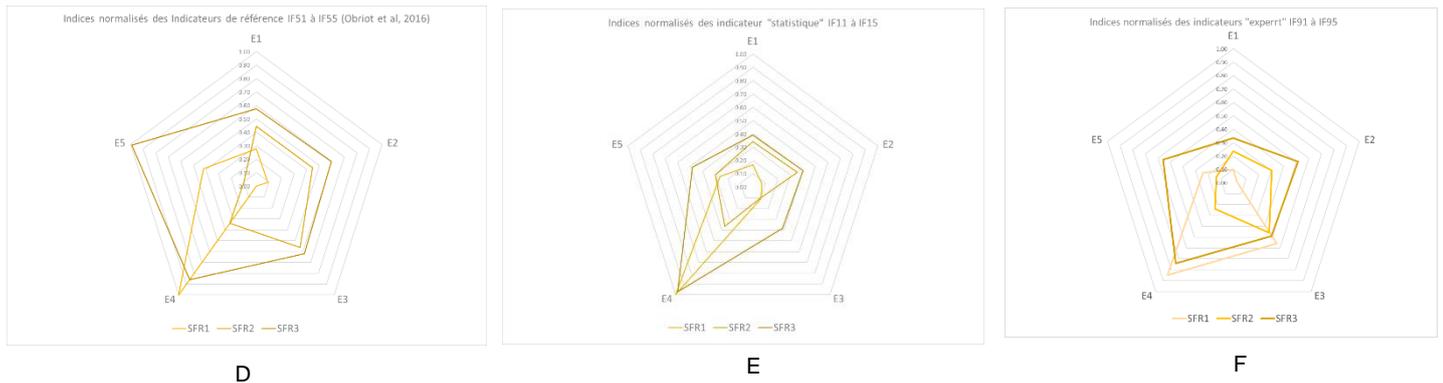


FIGURE VIII : DÉTAILS DES INDICES OBTENUS POUR LES SFR1 à 3 PAR TROIS TYPES D'INDICATEURS FONCTIONS "RÉFÉRENCE", "STATISTIQUES" ET "EXPERT"

Les Indices des SFR 4 à 7 (figure IX) sont globalement plus élevés que les SFR 1, 2 et 3 (Figure VIII). Le SFR6 obtient sur tous les trois indicateurs un très bon score sur la fonction E3. Dans l'indicateur de « référence », peu de variations sont observés pour les différentes valeurs d'indices des SFR sur chacune des fonctions mise à part pour la fonction E5 où le SFR 7 obtient un score nettement plus important que les autres SFR. C'est également le cas pour l'indicateur « expert » mais pas pour l'indicateur « statistique » pour lequel le SFR5 devance le SFR7 sur la fonction E5. Les figures H et I (figure IX) des indicateurs « statistiques » et « expert » diffèrent dans la valeur des indices obtenus surtout pour les fonctions E4 et E2. En effet, les indices SFR sont élevés pour la fonction E4 de l'indicateur « statistique » et faible pour l'indicateur « expert ». Les indices des SFR sont élevés sur la fonction E2 de l'indicateur « expert » et faible sur l'indicateur « statistique ». Le classement des SFR est également différent pour ces fonctions de ces deux indicateurs.

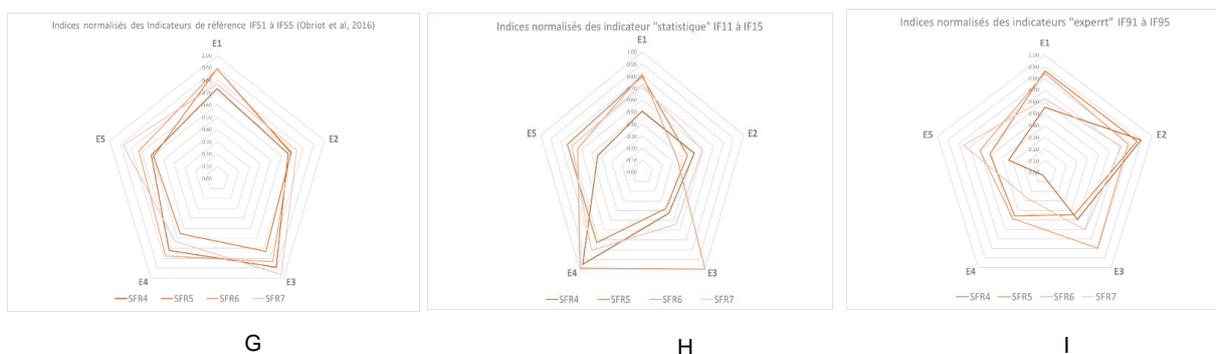


FIGURE IX : DÉTAILS DES INDICES OBTENUS POUR LES SFR4 à 7 PAR TROIS TYPES D'INDICATEURS FONCTIONS "RÉFÉRENCE", "STATISTIQUES" ET "EXPERT"

La figure X représente les indices des SFR9 à 15. Ces SFR obtiennent de meilleurs indices que les SFR précédentes et cela pour tous les indicateurs. Cependant, pour la fonction E4 (régulation des ravageurs), les indices des indicateurs de « référence » et « expert » pour les SFR15 et SFR11 sont faibles (<0.3). Les indices des SFR10 et 14 sur la fonction E4 de l'indicateur « expert » sont également faibles. Les autres indices des autres SFR sur toutes les fonctions sont élevés (>0.5)

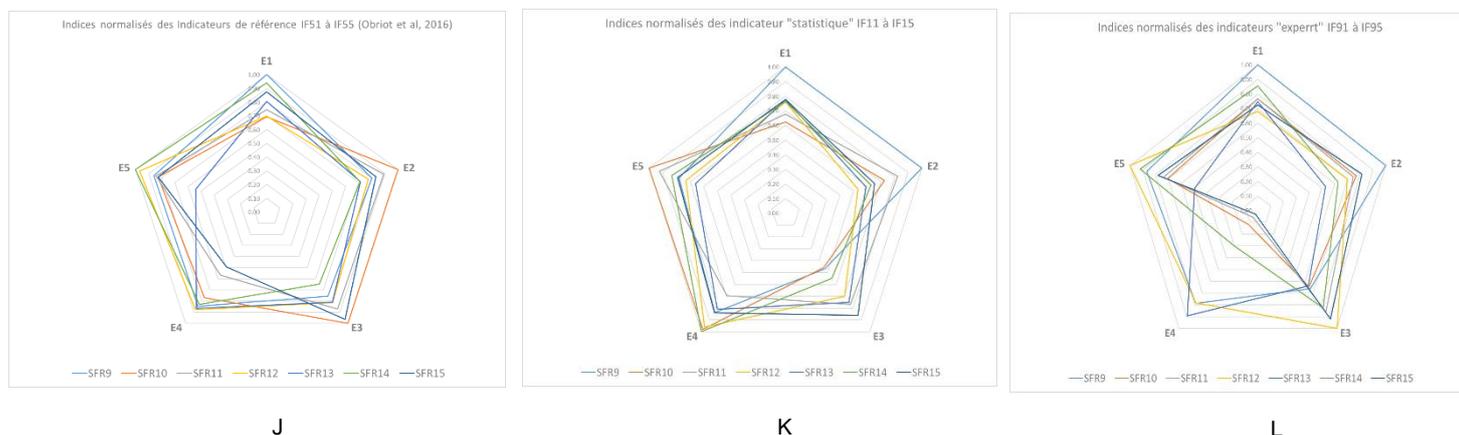


FIGURE X : DÉTAILS DES INDICES OBTENUS POUR LES SFR9 à 15 PAR TROIS TYPES D'INDICATEURS FONCTIONS "RÉFÉRENCE", "STATISTIQUES" ET "EXPERT"

C. RÉSULTATS DES INDICATEURS DE L'AXE AGRONOMIQUE

Les différents indicateurs construits donnent les classements du tableau (XXIV) et les indices sont disponibles en annexe (13). Des similitudes peuvent être ressortis de ces résultats. Le SFR16 obtient dans tous les indicateurs un mauvais classement, variant de la 14^{ème} position à la 16^{ème}. Les SFR8 et SFR1 sont presque toujours très mal classés sauf pour l'indicateur IF106-110 de la méthode experte sans pondération où le SFR8 obtient le classement de 8 et l'indicateur IF46-50 où le SFR1 est à la 6^{ème} place du classement. Les SFR 4, 7 et 9 à 15 sont presque toujours classés dans la première moitié du classement (supérieur à 8). Le SFR13 est toujours classé dans les 6 premières places sauf dans l'indicateur de la méthode de « référence » non pondéré (IF46-50) où il est classée 14^{ème}. Le SFR15 est toujours classé 1^{er} ou 2^{ème} sauf pour l'indicateur « mixte » IAA 126 pour lequel il est classé 11^{ème} ainsi que dans l'indicateur IAA 130 où il est classé 6^{ème}. En regardant seulement les indicateurs agrégés par moyenne, les disparités s'estompent. En effet, le SFR15 est classé 1^{er} sur tous les indicateurs agrégés par la moyenne. Le SFR1 est toujours classé 14, 15, 16^{ème}. Le SFR2 toujours classé 10, 11 ou 12^{ème}. Les SFR 5 et 6 sont toujours classés 10, 11, 12 ou 13^{ème}. Les SFR4 et SFR7 sont toujours classés dans les 6 premiers et enfin, les SFR9 à 15 sont toujours classés dans les 9 premiers. Les classements agrégés par la médiane mènent à des classements plus distincts les uns des autres qu'avec la moyenne.

TABLEAU XXIV: CLASSEMENTS DES SFR OBTENUS DANS LES DIFFÉRENTS INDICATEURS DE L'AXE AGRONOMIQUE

Type d'approche	Statistique	Statistique	Mixte	Mixte	Référence	Référence	Référence	Référence	Expert	Expert	Expert	Expert	Mixte	Mixte	Mixte	Mixte	Statistique	Statistique		
Sélection	1. JDD	Fonctions	Fonctions	Fonctions	Fonctions	Fonctions	Fonctions	Fonctions	Fonctions	Fonctions	Fonctions	Fonctions	Sous-ensemble	Sous-ensemble	Sous-ensemble	Sous-ensemble	Sous-ensemble	Sous-ensemble		
	2. Correlations	Conservation	Suppression	Conservation	Conservation	Conservation	Conservation	Conservation	Conservation											
	3.Méthode	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc	Stepdisc		
	MDS	MDS1	MDS2	MDS3	MDS3	MDS3	MDS3	MDS3	MDS4	MDS4	MDS4	MDS4	MDS5	MDS5	MDS5	MDS5	MDS6	MDS6		
	Scoring	Secure	Secure	Ref	Ref	Ref	Ref	Ref	Secure	Secure	Secure	Secure	Secure	Secure	Secure	Secure	Secure	Secure		
	Pondération	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non		
	MDSP	MDSPa	MDSPb	MDSPc	MDSPd	MDSPe	MDSPf	MDSPg	MDSPh	MDSPi	MDSPi	MDSPi	MDSPi	MDSPi	MDSPi	MDSPi	MDSPi	MDSPi		
	Agrégation	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	
	Approche	A1	A1'	A2	A2'	A3	A3'	A4	A4'	A5	A5'	A6	A6'	A7	A7'	A8	A8'	A9	A9'	
	IAA	IF6-10	IA16-20	IF26-30	IF36-40	IF46-50	IF56-60	IF66-70	IF76-80	IF86-90	IF96-100	IF106-110	IF116-120	122	124	126	128	130	132	
Rangs	SFR1	14	14	14	14	6	14	11	14	15	14	15	14	16	16	16	14	15	15	
	SFR2	11	12	4	11	3	10	10	11	7	10	7	11	11	11	6	10	12	12	
	SFR3	9	11	10	13	8	11	12	10	10	12	11	13	13	12	8	12	8	11	
	SFR4	2	2	3	3	1	3	14	2	4	2	3	4	5	3	4	6	2	5	
	SFR5	12	10	6	12	9	13	2	12	14	11	14	12	9	10	7	11	11	10	
	SFR6	13	13	8	10	7	12	3	13	12	13	12	10	12	13	13	13	14	13	
	SFR7	8	3	11	2	12	2	6	3	2	3	5	2	6	5	2	2	10	2	
	SFR8	15	15	16	15	16	15	15	15	11	15	8	15	14	15	15	15	16	14	
	SFR9	6	6	7	5	5	6	8	5	5	5	6	5	4	9	3	9	1	3	
	SFR10	5	4	9	8	4	7	13	6	13	9	10	9	8	6	10	7	3	7	
	SFR11	7	7	12	7	10	5	9	7	8	6	9	6	10	7	5	8	9	9	
	SFR12	10	5	13	4	11	4	4	4	3	4	13	3	3	2	9	3	7	6	
	SFR13	4	9	2	6	14	8	5	8	9	7	2	7	7	8	12	5	5	8	
	SFR14	3	8	5	9	13	9	7	9	6	8	4	8	1	4	1	4	4	4	
	SFR15	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	11	1	6	1
	SFR16	16	16	15	16	15	16	16	16	16	16	16	16	16	15	14	14	16	13	16

Très bien classée 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 Mal classée

D. CORRELATIONS ENTRE INDICES DES SFR OBTENUES PAR DIFFERENTS INDICATEURS AVEC LES PROPRIETES DE CES SFR

Le tableau (XXV) résume les corrélations des indices des indicateurs de référence agrégés IAE(IF)51-55 et non agrégés par fonction (IF51 à IF55) et des indicateurs expert non pondérés par fonction 111 à 115 et agrégés par axe IAE(IF)111-115, avec les valeurs des caractéristiques des SFR. On voit que les indices des indicateurs sont positivement corrélés au taux de carbone total apporté ainsi qu'à l'azote total apporté. Ceci peut être vérifié avec les IAE mais également pour les IAE(IF) excepté pour la fonction E4. Les indices sont également corrélés au soufre apporté, à la lignine et à la cellulose. Les indices des indicateurs de la fonction E4 ne semble pas dépendre des caractéristiques des SFR. Ils sont tout de même un peu corrélés au C/N de la pratique SFR (0,74 pour la référence et 0,3 pour l'indicateur expert). Les indices semblent également être un peu corrélés aux autres éléments des pratiques tel que les teneurs en hémicellulose, magnésium, potassium, calcium et phosphore (corrélation comprise entre 0,3 et 0,7) sauf pour les indices des indicateurs de la fonction E4.

TABLEAU XXV: CORRELATIONS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES DES SFR ET DES INDICATEURS ÉCOLOGIQUES IAE ET IAE(IF) 51-55 "RÉFÉRENCE" ET 111-115 "EXPERT"

Sélection	1. JDD	Fonction					Fonction						
	2. Correlations	Suppression					Suppression						
	3.Méthode	wilcox					Expert						
MDS	MDS3					MDS4							
Scoring	Ref					Secure							
Pondération	ACP					Non							
MDSP	MDSpc					MDSpf							
Corrélation négative						Corrélation positive							
Approche	A3'					A6'							
Type d'indicateur	IAE	IFE1	IFE2	IFE3	IFE4	IFE5	IAE	IFE1	IFE2	IFE3	IFE4	IFE5	
Indicateur N°	IF51-55	51	52	53	54	55	IAE111-115	111	112	113	114	115	
Propriétés SFR	Carbone total apporté	0.92	0.87	0.89	0.85	0.37	0.69	0.81	0.89	0.89	0.55	-0.29	0.71
	Azote total apporté	0.90	0.85	0.94	0.91	0.15	0.61	0.79	0.86	0.93	0.65	-0.45	0.68
	Phosphore apporté	0.41	0.46	0.44	0.38	-0.11	0.43	0.41	0.42	0.35	0.62	-0.43	0.53
	Soufre apporté	0.74	0.71	0.74	0.74	0.11	0.57	0.62	0.66	0.73	0.52	-0.41	0.67
	Potassium apporté	0.44	0.55	0.41	0.45	0.04	0.33	0.47	0.53	0.48	0.25	-0.09	0.41
	Calcium apporté	0.42	0.53	0.33	0.36	0.22	0.37	0.52	0.49	0.38	0.48	-0.01	0.44
	Magnesium apporté	0.49	0.62	0.38	0.44	0.27	0.40	0.59	0.58	0.47	0.45	0.04	0.48
	C/N	0.54	0.58	0.32	0.25	0.74	0.55	0.52	0.55	0.35	0.03	0.33	0.45
	C/P	0.08	0.07	0.11	0.13	0.12	-0.13	-0.05	0.09	0.18	-0.45	-0.04	-0.15
	C/S	-0.08	-0.02	-0.14	-0.15	0.35	-0.09	0.05	0.11	-0.05	-0.10	0.30	-0.24
	C/K	0.32	0.23	0.35	0.28	0.20	0.18	0.15	0.26	0.31	-0.07	-0.13	0.09
	C/Mg	0.01	-0.21	0.15	0.09	-0.18	-0.09	-0.24	-0.13	0.08	-0.28	-0.25	-0.24
Hémicellulose	0.55	0.36	0.57	0.45	0.31	0.43	0.37	0.43	0.47	0.23	-0.17	0.37	
Cellulose	0.85	0.88	0.73	0.68	0.55	0.65	0.82	0.91	0.77	0.35	0.11	0.67	
Lignine	0.80	0.80	0.65	0.66	0.48	0.68	0.75	0.78	0.68	0.32	0.08	0.73	

E. RESULTATS DES INDICATEURS DES FONCTIONS AGRONOMIQUES (IAIF)

Dans les diagrammes en radars présentés figure (XI), les graphiques de gauche représentent les résultats des indices des SFR des indicateurs de « référence » IF56 à IF60 (Obriot et al, 2016). Les graphiques du centre représentent un des indicateurs « statistiques » IF16 à IF20 (MDS1 avec conservation des variables corrélées, sans pondération et agrégation par la moyenne). Enfin, les graphes de droite correspondent aux indicateurs de la méthode « experte » IF96 à IF100 (MDS4, pondération experte, agrégation moyenne).

Les résultats de ces trois types d'indicateurs sur les SFR témoins montrent que ces SFR obtiennent dans ces trois cas, des indices sur les fonctions A1, A2 et A3, très faibles voir nuls. Le meilleur indice du SFR8 est l'indice de la fonction A5. Le SFR8 obtient de très faibles indices partout sauf dans l'indicateur IF99 de la fonction A4.

Les SFR1, 2, 3 ont des indices plutôt élevés dans les fonctions A2 et A3, moyens dans les fonctions A1 et A4 et très faibles pour la fonction A5. Les trois indicateurs donnent globalement 3 diagrammes qui ont la même allure. Le SFR1 a de moins bons indices que les SFR2 et 3 qui ont sensiblement les mêmes indices sur toutes les fonctions.

Les SFR4, 5, 6, 7, SFR de matière organique seule, varient différemment. Le SFR4 obtient les meilleurs indices sur les fonctions A2, A3 et A4, le SFR 7 le surpasse dans les 3 indicateurs pour la fonction A1 et la SFR5 dans les 3 indicateurs obtient de meilleurs indices sur la fonction A5. Les graphes des indicateurs de « référence » et « expert » ont globalement la même allure, celle-ci diffère sur les indicateurs statistiques où la SFR6 par exemple obtient un indice moyen sur la fonction A4 qui est quasiment nulle dans les indicateurs « expert » et de « référence ».

D'un point de vue général, les SFR9 à 15 obtiennent les meilleurs indices. L'allure des graphes de la méthode de « référence » et de la méthode « experte » est similaire et différente de l'allure du graphe de la méthode « statistique ». En effet, sur la fonction A5, les SFR obtiennent des scores moyens voir faibles dans l'indicateur « référence » et « expert » mais obtiennent de bons scores pour l'indicateur statistique. Sur les autres fonctions, les SFR obtiennent tous et dans les 3 indicateurs, de bons indices.

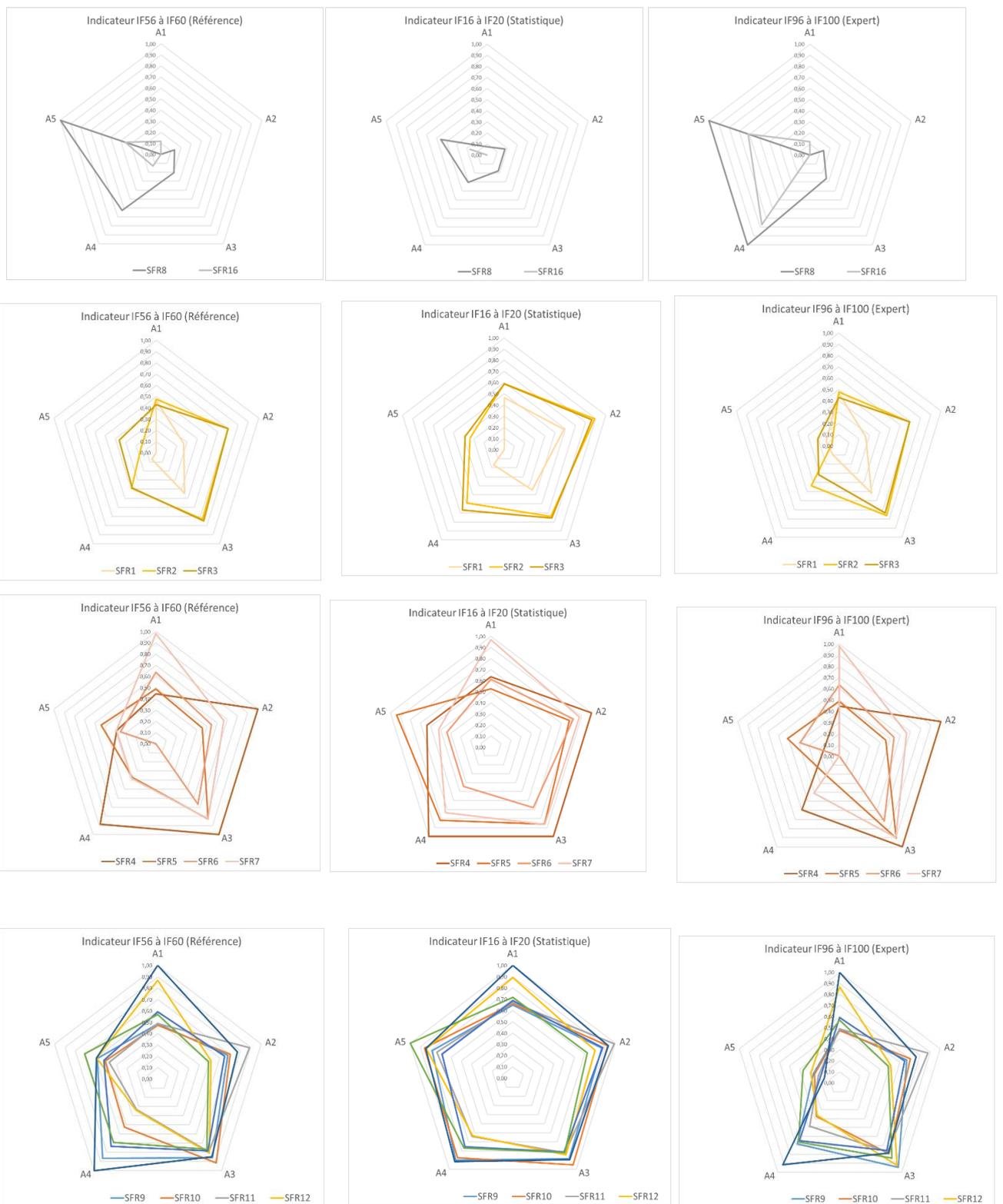


FIGURE XI : DÉTAILS DES INDICES DES SFR OBTENUS DANS TROIS INDICATEURS DE FONCTIONS AGRONOMIQUES DIFFÉRENTS ("RÉFÉRENCE", "STATISTIQUE" ET "EXPERT")

F. CORRELATIONS ENTRE INDICES DES SFR OBTENUES PAR DIFFERENTS INDICATEURS AGRONOMIQUES AVEC LES PROPRIETES DE CES SFR (Tableau XXVI).

Les indices de l'indicateur IAA de la méthode de référence agrégé (IF56-60) et de la méthode experte agrégé (IF96-100) sont corrélés, à plus de 0,85, au taux de carbone total apporté C, au taux d'azote apporté N et au taux de soufre. Ils sont également corrélés à plus de 0,67 avec la cellulose et la lignine apportées. Ils sont également corrélés négativement (-0,5) avec le C/S des SFR. Les indicateurs IF des fonction A2 (biomasse de la plante) et A3 (rendement) prennent la même tendance de corrélation que les indicateurs IAA et sont donc corrélés au carbone, à l'azote et au soufre. L'indicateur A2 est un peu moins corrélé à la cellulose et à la lignine apporté (environ 0,5). Les indicateurs 56 et 96 de la fonction A1(croissance de la plante) sont surtout corrélés à la lignine (0,8) et au soufre apporté (0,73). Les indicateurs de la fonction A4 (qualité des grains) sont peu corrélés avec les propriétés des SFR, on note tout de même une corrélation de 0,58 avec l'azote apporté pour l'indicateur 59. Enfin, les indicateurs de la fonction A5 (qualité des pailles) ne sont jamais beaucoup corrélés positivement avec les variables caractéristiques des SFR. Cependant, une corrélation de -0,67 pour l'indicateur IF60 et de -0,86 pour l'indicateur IF100 est remarqué avec le C/N des SFR.

TABLEAU XXVI :CORRÉLATIONS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES SFR ET LES INDICATEURS AGRONOMIQUES IAA ET IAA(IF) 56-60 "RÉFÉRENCE" ET 96-100 "EXPERT"

Sélection	1. JDD	Fonction						Fonction					
	2. Correlations	Suppression						Suppression					
	3.Méthode	wilcox						Expert					
MDS		MDS3						MDS4					
Scoring		Ref						Secure					
Pondération		ACP						Non					
MDSP		MDSPc						MDSPf					
Agrégation		Moyenne						Moyenne					
Approche		A3'						A6'					
Type d'indicateur		IAA	IFA1	IFA2	IFA3	IFA4	IFA5	IAA	IFA1	IFA2	IFA3	IFA4	IFA5
Indicateur N°		IF56-60	56	57	58	59	60	IF96-100	96	97	98	99	100
Propriétés SFR	Carbone total apporté C	0,89	0,59	0,84	0,93	0,48	0,08	0,88	0,59	0,85	0,88	-0,12	-0,58
	Azote total apporté N	0,86	0,55	0,78	0,89	0,58	0,34	0,90	0,55	0,78	0,86	0,02	-0,38
	Phosphore apporté P	0,35	0,41	0,20	0,22	0,26	0,45	0,41	0,41	0,20	0,21	0,24	0,01
	Souffre apporté S	0,85	0,73	0,70	0,74	0,65	0,16	0,86	0,73	0,70	0,66	0,20	-0,53
	Potassium apporté K	0,44	0,54	0,14	0,44	0,10	0,18	0,43	0,54	0,14	0,51	-0,22	-0,14
	Calcium apporté Ca	0,31	0,52	0,10	0,20	-0,09	0,13	0,29	0,52	0,09	0,23	-0,22	-0,05
	Magnesium apporté Mg	0,40	0,63	0,11	0,32	-0,09	0,09	0,37	0,63	0,11	0,37	-0,34	-0,12
	C/N	0,67	0,51	0,62	0,74	-0,11	-0,67	0,49	0,51	0,61	0,72	-0,50	-0,86
	C/P	0,24	-0,17	0,46	0,46	0,27	-0,33	0,22	-0,17	0,47	0,41	-0,03	-0,36
	C/S	-0,52	-0,48	-0,19	-0,27	-0,59	-0,24	-0,50	-0,48	-0,19	-0,14	-0,66	0,38
	C/K	0,41	-0,09	0,75	0,55	0,17	-0,35	0,37	-0,09	0,75	0,44	-0,06	-0,48
	C/Mg	0,09	-0,59	0,63	0,39	0,23	-0,15	0,11	-0,59	0,63	0,20	0,17	-0,28
	Hémicellulose	0,55	0,08	0,77	0,63	0,36	-0,09	0,55	0,08	0,77	0,49	0,16	-0,47
	Cellulose	0,74	0,62	0,51	0,78	0,11	-0,07	0,67	0,62	0,52	0,75	-0,24	-0,44
Lignine	0,81	0,80	0,46	0,74	0,16	-0,06	0,75	0,80	0,46	0,77	-0,13	-0,55	



8. Comparaison des différents classements et corrélations des indicateurs

1. Corrélations entre les indices des indicateurs IF écologiques et les résultats des scores de borda des Nanson IFE1 à IFE5. (Tableau XXVII)

Les indices des indicateurs sont globalement corrélés à plus de 0,6 avec le score de Borda de la règle de Nanson les intégrant. Cela n'est pas vrai pour l'indicateur IF5 corrélé seulement à 0,41 avec les scores de Borda de la règle de Nanson IFE5 et les indicateurs IF43 et IF73 avec la règle de Nanson IFE3 corrélé à 0,58 et enfin l'indicateur IF82 avec la règle de Nanson IFE2. Le type d'indicateur qui obtient en moyenne la meilleure corrélation avec les scores de Borda des règles de Nanson sont les indicateurs IF110 à IF120. En effet les indicateurs sont, au minimum, corrélés à 0.78 avec les scores de Borda des règles de Nanson. Ces indicateurs sont ceux construits par la méthode experte aboutissant au MDS4 et non pondéré (MDSPf) agrégé par la moyenne. Le type d'indicateur qui obtient la moins bonne moyenne de corrélation (0.78) est l'indicateur utilisant le MDS1.

TABLEAU XXVII: CORRÉLATIONS ENTRE LES NANSON IFE1 à E5 ET LES INDICATEURS IF ÉCOLOGIQUES

Type d'approche	Statistique	Statistique	Mixte	Mixte	Référence	Référence	Référence	Référence	Expert	Expert	Expert	Expert
Sélection	1. JDD	Fonctions		Fonctions		Fonctions				Fonctions		
	2. Correlations	Conservation		Suppression		Suppression				Suppression		
	3.Méthode	Stepdisc		Stepdisc		wilcox				Expert		
MDS	MDS1		MDS2		MDS3				MDS4			
Scoring	Secure		Secure		Ref				Secure			
Pondération	Non		Non		ACP		non		Expert		Non	
MDSP	MDSPa		MDSPb		MDSPc		MDSPd		MDSPe		MDSPf	
Agrégation	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A3	A3'	A4	A4'	A5	A5'	A6	A6'
Type d'indicateur	IFE		IFE		IFE		IFE		IFE		IFE	
Nom de l'indicateur	IF1 à IF5	IF11 à IFF15	IF21 à IF25	IF31 à IF35	IF41 à IF45	IF51 à IF55	IF61 à IF65	IF71 à IF75	IF81 à IF85	IF91 à IF95	IF101 à IF105	IF111 à IF115
Nanson IFE1	0,89	0,95	0,89	0,95	0,94	0,94	0,96	0,96	0,80	0,94	0,91	0,95
Nanson IFE2	0,92	0,89	0,92	0,89	0,80	0,91	0,86	0,92	0,59	0,75	0,91	0,85
Nanson IFE3	0,94	0,93	0,92	0,93	0,58	0,66	0,64	0,58	0,88	0,89	0,90	0,88
Nanson IFE4	0,71	0,65	0,71	0,65	0,95	0,96	0,95	0,96	0,73	0,78	0,73	0,78
Nanson IFE5	0,41	0,84	0,92	0,78	0,88	0,85	0,84	0,82	0,95	0,97	0,95	0,98
Moyenne des corrélations	0,78	0,85	0,87	0,84	0,83	0,86	0,85	0,85	0,79	0,87	0,88	0,89

2. Corrélations entre les indices des indicateurs IAE IAE(IF) et IF avec les indicateurs de référence IAE(IF) 51-55 et IF51 à IF55 (Méthode Obriot, 2016).

Tous les indicateurs sont corrélés à plus de 0.76 avec l'indicateur de référence de l'approche A3'. L'indicateur le plus corrélé est l'indicateur de l'approche statistique A1' IAE(IF) 11-15. Le moins corrélé est l'indicateur de l'approche A8 « statistique » de l'indicateur d'axe IAE 125 (Tableau XXIII).

TABLEAU XXVIII: CORRÉLATIONS ENTRE LES IAE(IF) ET IAE AVEC L'INDICATEUR DE « RÉFÉRENCE » DE L'APPROCHE A3'

Type d'approche	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	Expert	Expert	Expert	Expert	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique
Sélection	1. JDD	Fonctions		Fonctions		Fonctions				Sous-ensemble			Sous-ensemble	
	2. Correlations	Conservation		Suppression		Suppression				Suppression			Conservation	
	3.Méthode	Stepdisc		Stepdisc		Expert				Stepdisc			Stepdisc	
MDS	MDS1		MDS2		MDS4				MDS5			MDS6		
Scoring	Secure		Secure		Secure				Secure			Secure		
Pondération	Non		Non		Expert		Non		Non		Stepdisc		Stepdisc	
MDSP	MDSPa		MDSPb		MDSPc		MDSPf		MDSPg		MDSPh		MDSPi	
Agrégation	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A5	A5'	A6	A6'	A7	A7'	A8	A8'	A9	A9'
Nom de l'indicateur	IF1-5	IF11-15	IF21-25	IF31-35	IF81-85	IF91-95	IF101-105	IF111-115	121	123	125	127	129	131
A3' IF51-55	0,894	0,962	0,900	0,955	0,942	0,843	0,853	0,919	0,856	0,921	0,767	0,927	0,774	0,928

Les corrélations des indicateurs de fonction de type « statistique », « mixte » et « expert » avec l'indicateur de « référence » (Obriot et al, 2016) est présenté dans le tableau XXIX. Globalement, les indicateurs sont très corrélés à l'indicateur de « référence » mais il existe tout de même certains indicateurs peu corrélés comme les indicateurs « expert » IF84, IF93 et IF104, peu corrélés à l'indicateur IF53 (0,55, 0,57 et 0,55). Les indices de l'indicateur IF53 sont globalement moins corrélés aux indices des indicateurs « statistique » et « expert » (max 0,81 avec l'indicateur IF83). Les indicateurs IF11 à 15 sont ceux qui obtiennent la meilleure corrélation moyenne avec les indicateurs de « référence » sur chacune de leurs fonctions respectives (0,84). Les indices des indicateurs sont tous très corrélés aux indices de l'indicateur IF51.

TABLEAU XXIX : CORRÉLATIONS ENTRE IF51 à IF55 DE "RÉFÉRENCE" AVEC LES INDICATEURS IF "STATISTIQUES", "MIXTES" ET "EXPERTS".

Type d'approche			Statistique	Statistique	Mixte	Mixte	Expert	Expert	Expert	Expert
Sélection	1. JDD		Fonctions		Fonctions		Fonctions			
	2. Correlations		Conservation		Suppression		Suppression			
	3. Méthode		Stepdisc		Stepdisc		Expert			
MDS			MDS1		MDS2		MDS4			
Scoring			Secure		Secure		Secure			
Pondération			Non		Non		Expert		Non	
MDSP			MDSPa		MDSPb		MDSPe		MDSPf	
Agrégation			Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne
Approche			A1	A1'	A2	A2'	A5	A5'	A6	A6'
Nom de l'indicateur			IF1 à IF5	IF11 à IF15	IF21 à IF25	IF31 à IF35	IF81 à IF85	IF91 à IF95	IF101 à IF105	IF111 à IF115
Méthode de référence (Obriot et al, 2016)	E1	IF51	0,96	0,97	0,96	0,97	0,91	0,96	0,92	0,97
	E2	IF52	0,92	0,89	0,92	0,89	0,83	0,89	0,90	0,94
	E3	IF53	0,65	0,72	0,66	0,72	0,81	0,57	0,73	0,62
	E4	IF54	0,84	0,85	0,84	0,85	0,55	0,60	0,55	0,60
	E5	IF55	0,70	0,78	0,74	0,74	0,72	0,92	0,65	0,92
Moyenne des corrélations			0,82	0,84	0,82	0,83	0,76	0,79	0,75	0,81

Les tableaux en annexe (annexe19) résume les corrélations de l'indicateur de référence agrégé par la médiane IF41 à 45. Globalement on obtient les mêmes tendances que pour les corrélations avec les indicateurs IF51 à IF55. Le type de construction aboutissant aux indicateurs des fonctions qui en moyenne permet une corrélation la plus élevée avec l'indicateur de « référence » est obtenue pour les indicateurs I110 à 120 avec une corrélation moyenne de 0,81.

3. *Corrélations entre les indices des indicateurs IFA1 à IFA5 et les scores de Borda des NANSON IFA1 à IFA5.*

Les indices des indicateurs IF sont très corrélés aux scores de Borda de l'application de la règle de Nanson IFA1, IFA2 et IFA3 (Tableau XXX). Un seul indicateur obtient une corrélation négative avec les score de Borda de la règle de Nanson l'intégrant. En effet, l'indicateur de « référence » agrégé par la médiane IA IF46 est corrélé à -0.11 avec les scores de Borda de la règle Nanson IFA4. Les indicateurs sont peu corrélés avec l'indicateur de Nanson IFA5. Seul les indicateurs « experts » sont bien corrélés aux scores de Borda de cette application Nanson. Le type de construction d'indicateur qui obtient en moyenne les meilleures corrélations avec les scores de Borda de Nanson est l'indicateur « expert » construit à partir du MDS4.

TABLEAU XXX : CORRÉLATIONS DES IF AGRONOMIQUES AVEC LES NANSON IFA1 à IFA5

Type d'approche	Statistique	Statistique	Mixte	Mixte	Référence	Référence	Référence	Référence	Expert	Expert	Expert	Expert
Sélection	1. JDD	Fonctions		Fonctions		Fonctions				Fonctions		
	2. Correlations	Conservation		Suppression		Suppression				Suppression		
	3. Méthode	Stepdisc		Stepdisc		wilcox				Expert		
MDS	MDS1		MDS2		MDS3				MDS4			
Scoring	Secure		Secure		Ref				Secure			
Pondération	Non		Non		ACP		non		Expert		Non	
MDSP	MDSPa		MDSPb		MDSPc		MDSPd		MDSPe		MDSPf	
Agrégation	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A3	A3'	A4	A4'	A5	A5'	A6	A6'
Type d'indicateur	IFA		IFA		IFA		IFA		IFA		IFA	
Nom de l'indicateur	IF1 à IF5	IF11 à IFF15	IF21 à IF25	IF31 à IF35	IF41 à IF45	IF51 à IF55	IF61 à IF65	IF71 à IF75	IF81 à IF85	IF91 à IF95	IF101 à IF105	IF111 à IF115
Nanson IFA1	0,84	0,86	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Nanson IFA2	0,90	0,98	0,97	0,98	0,96	0,97	0,96	0,98	0,97	0,98	0,97	0,98
Nanson IFA3	0,93	0,99	0,99	0,96	0,98	0,98	0,59	0,98	0,85	0,90	0,85	0,90
Nanson IFA4	0,39	0,41	0,96	0,94	-0,11	0,75	0,11	0,77	0,94	0,95	0,96	0,94
Nanson IFA5	0,07	0,33	0,47	0,57	0,18	0,48	0,49	0,63	0,81	0,96	0,93	0,96
Moyenne des corrélations	0,63	0,71	0,88	0,89	0,60	0,84	0,63	0,87	0,91	0,953701	0,94	0,9525154

4. *Corrélations entre les indicateurs IAA(IF) et IAA et IF avec l'indicateur de « référence » IAA(IF)56-60 et IF56 à IF60.*

Les indicateurs IAA et IAA(IF) sont toujours très bien corrélés à l'indicateur de référence (>0.767). L'indicateur le moins corrélé est l'indicateur IAA 126 de la méthode « statistique » A8. L'indicateur le mieux corrélé à la méthode de référence est l'indicateur « statistique » IAA(IF) 36-40 de l'approche A2'. (Tableau XXXI)

TABLEAU XXXI : CORRÉLATIONS ENTRE INDICAEUR DE RÉFÉRENCE IAA(IF) 56-60 AVEC LES INDICATEURS IAA(IF) et IAA

Type d'approche	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	Expert	Expert	Expert	Expert	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	
Sélection	1. JDD	Fonctions		Fonctions		Fonctions				Sous-ensemble			Sous-ensemble		
	2. Correlations	Conservation		Suppression		Suppression				Suppression			Conservation		
	3. Méthode	Stepdisc		Stepdisc		Expert				Stepdisc			Stepdisc		
MDS	MDS1		MDS2		MDS4				MDS5			MDS6			
Scoring	Secure		Secure		Secure				Secure			Secure			
Pondération	Non		Non		Expert		Non		Non		Stepdisc		Stepdisc		
MDSP	MDSPa		MDSPb		MDSPe		MDSPf		MDSPg		MDSPh		MDSPi		
Agrégation	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A5	A5'	A6	A6'	A7	A7'	A8	A8'	A9	A9'	
Nom de l'indicateur	IA6-10	IA16-20	IF26-30	IF36-40	IF86-90	IF96-100	IF106-110	IF116-120	122	124	126	128	130	132	
A3'	IF56-60	0,954	0,985	0,910	0,989	0,803	0,978	0,780	0,961	0,835	0,894	0,767	0,944	0,772	0,935

Les tableaux (XXXII) représentent les corrélations entre les indicateurs de « référence » agrégés par la moyenne (IF56 à IF60). Les corrélations entre les indicateurs de « référence » agrégés par la médiane (IF46 à IF50) et les autres indicateurs de type « statistique », « mixte » et « expert » sont détaillées en annexe 20. Les indicateurs IF56, 57 et 58 et IF48, 49 et 50 des fonctions A1, A2 et A3 sont tous très bien corrélés (>0,8) aux autres indicateurs. Pour l'indicateur de référence IF59 de la fonction A4, les indicateurs sont tous corrélés entre 0,57 et 0,76. Les indices de l'indicateur IF49 de la fonction A4, ne sont jamais corrélés aux autres indicateurs (corrélations comprises entre -0,48 et -0,02). Les indicateurs IF60 et IF50 de la fonction A5 sont presque toujours très peu corrélés aux autres indicateurs. Pour les indicateurs agrégés par la moyenne, les indicateurs construits avec l'approche A1' sont ceux qui sont en moyenne les plus corrélés aux indicateurs de référence IF56 à IF60. Pour les indicateurs de référence agrégés par la médiane, ce sont les indicateurs de type A2 qui en moyenne les mieux corrélés à l'approche de « référence ».

TABLEAU XXXII : CORRÉLATIONS ENTRE LES INDICATEURS DE RÉFÉRENCE IF56 à IF60 AVEC LES INDICATEURS IFA1 à A5 DES TYPES "STATISTIQUES", "MIXTES" ET "EXPERTS".

Type d'approche		Statistique	Statistique	Mixte	Mixte	Expert	Expert	Expert	Expert
Sélection	1. JDD	Fonctions		Fonctions		Fonctions			
	2. Corrélations	Conservation		Suppression		Suppression			
	3. Méthode	Stepdisc		Stepdisc		Expert			
MDS	MDS1			MDS2		MDS4			
Scoring	Secure			Secure		Secure			
Pondération	Non			Non		Expert		Non	
MDSP	MDSPa			MDSPb		MDSPe		MDSPf	
Agrégation	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A5	A5'	A6	A6'	
Type d'indicateur	IFA	IFA	IFA	IFA	IFA	IFA	IFA	IFA	
Nom de l'indicateur	IF6 à IF10	IF16 à IFF20	IF26 à IF30	IF36 à IF40	IF86 à IF90	IF96 à IF100	IF106 à IF110	IF116 à IF120	
A1	IF56	0,80	0,82	0,98	1,00	0,98	1,00	0,98	1,00
A2	IF57	0,93	0,94	0,93	0,99	0,93	0,99	0,93	0,99
A3	IF58	0,91	0,99	0,98	0,99	0,81	0,87	0,81	0,87
A4	IF59	0,73	0,76	0,60	0,59	0,57	0,64	0,60	0,59
A5	IF60	0,48	0,76	-0,24	-0,11	0,28	0,40	0,28	0,34
Moyenne des corrélations		0,77	0,85	0,65	0,69	0,71	0,78	0,72	0,76

9. Indicateurs de perception paysanne

Le classement PP correspond au classement global de la perception paysanne agrégé des Indicateurs PP1 et PP2. Le classement PP1 est le classement des indices agrégés des questions Q1.1 à Q1.5 pondéré par l'importance des descripteurs. De même, le classement PP2 est le classement des indices agrégés des indices obtenus pour les questions Q2.1 à Q2.8. (Tableau XXXIII) Tous les indices sont présentés en annexe.

Les SFR qui se classe premier sur l'indicateur de perception paysanne global est le SFR7 suivi du SFR13 et 12. Les SFR 16, 8, 1 et 2 arrivent derniers.

TABLEAU XXXIII : CLASSEMENT FINAUX DES SFR DES INDICATEURS DE PERCEPTIONS PAYSANNES

SFR	PP	PP1	PP2
SFR1	14	14	14
SFR2	13	9	13
SFR3	8	7	8
SFR4	4	2	12
SFR5	10	8	9
SFR6	6	10	5
SFR7	1	1	10
SFR8	15	15	15
SFR9	9	11	6
SFR10	11	5	11
SFR11	12	13	7
SFR12	3	4	1
SFR13	2	3	3
SFR14	7	12	2
SFR15	5	6	4
SFR16	16	16	16

A. ÉVALUATION DES PERFORMANCES AGRONOMIQUES DES SFR PAR LES PAYSANS DE LA RÉGION ITASY.

Le SFR7 est le SFR qui a été le mieux évalué par les paysans pour sa performance agronomique. Il arrive en première ou deuxième position pour les 5 questions concernant tige, feuille, couleur, taille et hauteur du riz. Juste derrière, c'est le SFR4 qui se place en second et obtient, lui-aussi des classements de première ou deuxième position pour chaque question. Les SFR les moins bien notés sont les SFR 16 et 8 toujours classés en dernière ou avant-dernière position. Les classements des différentes questions sont globalement corrélés. Un même SFR a plus ou moins le même classement en fonction des questions 1 à 5. (Tableau XXXIV)

TABLEAU XXXIV : DETAILS DES CLASSEMENTS DES SFR SUR CHAQUES DESCRIPTEURS DE L'INDICATEUR PP1

SFR		SFR1	SFR2	SFR3	SFR4	SFR5	SFR6	SFR7	SFR8	SFR9	SFR10	SFR11	SFR12	SFR13	SFR14	SFR15	SFR16	
Q1	Pondération	14	9	7	2	8	10	1	15	11	5	13	4	3	12	6	16	
Q1.1	Tige	0.11	12	7	10	1	12	14	2	15	7	3	7	3	5	11	6	16
Q1.2	Feuille	0.34	14	9	6	1	8	9	2	15	9	3	12	6	3	12	5	16
Q1.3	Couleur	0.34	6	11	6	2	4	3	1	15	13	9	14	8	4	12	9	16
Q1.4	Taille	0.19	13	5	9	2	7	13	1	15	9	7	12	3	4	11	5	15
Q1.5	Hauteur	0.01	14	7	11	1	12	13	2	15	8	5	8	6	3	10	3	15

B. ÉVALUATION TECHNICO-ÉCONOMIQUE DES SFR PAR LES PAYSANS DE LA RÉGION ITASY.

Les SFR les moins bien classés de l'indicateur agrégé de perception technico-économique des SFR correspondent au témoin négatif et positif (SFR16 et SFR8), aux SFR 1 à 3, au SFR4, SFR7 et SFR10. Les meilleurs SFR sont les SFR12, 13, 14, 15.

Les SFR n'obtiennent pas le même classement en fonction des différentes questions. Le classement Q2 est fortement corrélé aux classements sur les descripteurs « riz » (Q2.8) et « sol » (Q2.2). En effet, ils impactent à eux deux 63% de l'indicateur « Q2 » agrégé.

Le SFR qui obtient le meilleur score agrégé de tous les SFR est le SFR12. Il est bien classé pour les questions du descripteur « sol », « bioagresseurs », « transport », « riz » et « épandage » mais obtient un mauvais classement pour le descripteur « accessibilité » et « coût » pondérés tous les deux à 6%. Le SFR14 arrive en deuxième position. Il arrive en première position du descripteur « riz » pondéré à 42% des autres descripteurs. Cependant, il arrive en dernière position du descripteur « accessibilité » (corrélé à 6%), 13^{ème}, 12^{ème} et 10^{ème} position seulement pour les descripteurs « transport », « sol » et « usage ». Le SFR16 arrive en dernière position de l'évaluation technico-économique ainsi que des descripteurs « sol », « usage », « bioagresseurs » et « riz » mais est première du classement pour les descripteurs « accessibilité », « épandage », « coût » et « transport » qui impactent ensemble 25% du classement agrégé (Tableau XXXV).

TABLEAU XXXV: DETAILS DES CLASSEMENTS DES SFR SUR CHAQUES DESCRIPTEURS DE L'INDICATEUR PP2

SFR			SFR1	SFR2	SFR3	SFR4	SFR5	SFR6	SFR7	SFR8	SFR9	SFR10	SFR11	SFR12	SFR13	SFR14	SFR15	SFR16
Q2		Pondération	14	13	8	12	9	5	10	15	6	11	7	1	3	2	4	16
Q2.1	Accessibilité	0.06	4	4	3	4	9	10	12	1	8	7	11	15	12	16	14	1
Q2.2	Sol	0.21	10	4	13	7	7	1	9	15	6	13	3	1	5	12	11	16
Q2.3	Epadage	0.10	10	14	10	15	16	3	13	12	9	7	5	3	2	6	7	1
Q2.4	Usage	0.06	14	13	8	11	3	1	7	15	4	12	8	6	2	10	5	16
Q2.5	Bioagresseurs	0.08	15	11	14	13	9	2	10	1	8	12	7	2	6	4	4	16
Q2.6	Coût	0.06	2	5	9	3	4	12	16	15	7	8	6	11	13	10	13	1
Q2.7	Trasport	0.03	2	8	10	10	16	2	15	5	7	6	14	2	8	13	10	1
Q2.8	Riz	0.42	15	13	5	12	9	7	6	14	8	11	10	2	4	1	3	16

VI. DISCUSSION

1. Comparaisons, similitudes et différences des différentes étapes de la construction des indicateurs.

A. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS ET COMPARAISON DES ÉTAPES DE LA SÉLECTION

L'objectif de cette étape est de réduire le nombre de variables en éliminant celles qui sont très redondantes ou celles qui n'ont qu'une importance mineure dans la variabilité du système.

La première étape de la sélection définit si l'analyse se fait sur les jeux de données écologiques et agronomiques directement ou en passant par les jeux de données des variables regroupées par fonctions. L'étude a montré que les indicateurs construits avec et sans passer par un regroupement fonctionnel sont en moyenne moins corrélés que les indicateurs d'une même approche de regroupement. Cette étape influence donc le résultat des indicateurs. Cependant, les indicateurs sans et avec regroupement par fonction sont en moyenne bien corrélés (0.83 pour les indicateurs écologiques et 0.79 pour les indicateurs agronomique). L'avantage de l'approche sans fonction est qu'elle est plus rapide et plus simple à utiliser car les variables n'ont pas besoin d'être assimilées à des fonctions. Elle permet également une approche « sans a priori ». L'approche par fonction a l'avantage d'être plus explicative et mieux adaptée à des utilisateurs de recherche. C'est pourquoi, pour expliquer par la suite le résultat des SFR dans une approche multicritère, **nous privilégierons les approches construites par fonctions** qui nous permettront de mieux évaluer les avantages et inconvénients de chaque SFR.

L'étape de suppression des corrélations supprime 40% des variables écologiques et 57% des variables agronomiques. Cette étape est fondamentale dans les approches « experte » et « référence » car les experts sélectionnent très certainement des variables qui apportent la même information et l'ACP de la méthode de « référence » ne tolère pas les variables trop corrélées aboutissant à une analyse biaisée. Cependant, l'approche Stepdisc permet de sélectionner des variables non corrélées entre elles. On le voit en comparant les corrélations entre les indicateurs d'une même approche qui diffèrent uniquement par la suppression ou la conservation des variables avant le stepdisc. Ces Indicateurs sont corrélés à 0.99 sur l'axe écologique et 0.97 sur l'axe agronomique. **La suppression des corrélations avant le stepdisc n'est donc pas nécessaire.**

Enfin la dernière étape de la sélection consiste à réaliser l'analyse « stepdisc », « experte » ou « ACP ». D'un point de vue général une certaine homogénéité peut être observée en ce qui concerne la troisième étape de sélection des variables (méthode appliquée « stepdisc », « experte » ou « wilcoxon ». En effet, environ 48% des variables écologiques et 25% des variables agronomiques ont été supprimées dans tous les MDS. Les différentes méthodes de sélection arrivent à un consensus quant à la suppression d'au moins 25% des variables. Seulement 2 variables écologiques et 3 variables agronomiques ont été sélectionnées dans tous les MDS. Environ 27% (axe écologique) 35% (axe agronomique) des variables sélectionnées dans au moins un MDS sont sélectionnées par la moitié des méthodes de sélection. Les variables sélectionnées dans les différents MDS sont donc plus ou moins distinctes. La sélection « experte » est celle qui retiens le plus de variables (23% des variables écologiques et 12% des variables agronomiques sont supprimées). Les experts ont tendance à moins éliminer les variables que les analyses statistiques. Le « stepdisc » permet d'éliminer quant à lui un grand nombre de variables. Entre 85 et 90% des variables écologiques et 40 à 60 % des variables agronomiques sont supprimées par cette analyse. L'avantage de la sélection « experte » est qu'elle va permettre d'introduire des variables qui, même si elles n'ont aujourd'hui pas d'impact sur la variabilité du système, pourront s'avérer pertinentes dans les

années futures. Cependant, le risque est alors d'introduire un « bruit » de fond qui aura tendance à diminuer la puissance de l'indicateur. Pour les indicateurs agronomiques, les variables de départ étaient très corrélées entre elles. L'étape de suppression des corrélations avant les approches « experte » et « ACP » ont réduit considérablement le jeu de données ce qui a permis à ces approches de se rapprocher du nombre de variables sélectionnées avec l'approche stepdisc. La plus grande différence entre le nombre de variables sélectionnées se trouve pour les indicateurs écologiques entre l'approche « experte » du MDS4 et l'approche « stepdisc » aboutissant au MDS5. En regardant le résultat des corrélations de ces indicateurs, ces indicateurs ne sont ni les plus corrélés ni les moins corrélés. Cependant, en regardant plus précisément le résultat des classements des SFR par ces deux indicateurs, les classements des SFR ne sont presque jamais classés de la même manière mais diffèrent presque toujours de quelques places. Le SFR15 arrivant toujours dans les deux premiers SFR de tous les indicateurs « statistiques » arrivent par exemple à la 6^{ème} position. En comparant les indicateurs des différentes analyses « stepdisc » réalisées avec ou sans regroupement de fonctions on voit que ces approches sont toujours très fortement corrélées et donnent les mêmes classements. Pourtant, des variables différentes ont été sélectionnées mais ces variables, fortement discriminantes des SFR ont apporté la même information. Les différentes approches « experte » n'ont pas toujours donné les mêmes classements en fonction des différentes pondérations et agrégations. De même pour les approches « ACP ». On peut émettre l'hypothèse que la stabilité des résultats des indicateurs résultants des analyses « stepdisc » peut être due à la suppression de ces variables sélectionnées dans les autres méthodes et apportant du bruit. Il faudrait pouvoir vérifier cette hypothèse dans d'autres études. De plus, la méthode stepdisc est facile à réaliser car elle ne nécessite pas de suppression des corrélations, se réalise très facilement et est facilement interprétable puisqu'elle nous donne le nom et le classement des variables sélectionnées au fur et à mesure dans le modèle. **Cette méthode de sélection « stepdisc »** sera privilégiée dans la suite pour l'interprétation des résultats des SFR.

B. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DU SCORING ET COMPARAISONS DES DIFFÉRENTES MÉTHODES

Les scores des deux transformations sont corrélés à 100%. La façon de scorer n'influence donc pas les résultats finaux. La méthode « SECuRE » normalise par l'écart entre la valeur la plus bénéfique à atteindre (min, max, optimum) avec la valeur la moins bénéfique (min ou max) tandis que la méthode « référence » (Obriot et al.2019) normalise uniquement par la valeur la plus bénéfique à atteindre (min, max ou optimum) indépendamment de la valeur la moins bénéfique du jeu de données.

Ainsi, lorsque les valeurs des variables sont très proches de la valeur la plus bénéfique, il est préférable d'utiliser la méthode « SECuRE » car elle permet de mieux discriminer les individus en augmentant les écarts des indices. La méthode de « référence » permet cependant de conserver les écarts de départ. Le jeu de données SECuRE comprend 16 traitements (les 16 SFR), **il est donc préférable d'utiliser la méthode de scoring « SECuRE »** qui permettra de mieux discriminer tous les SFR.

C. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE LA PONDÉRATION ET COMPARAISON DES DIFFÉRENTES MÉTHODES

Dans les approches « statistiques » les meilleures variables fortement pondérées ($P_i = 1$) sont toujours des variables qui obtiennent un résultat significatif au seuil $\alpha=5\%$ aux tests de Kruskal-Wallis ou de Wilcoxon. Ce sont donc des variables qui sont très sensibles aux pratiques SFR (Annexe 3 et 4).

Les experts ont tendance à pondérer fortement ($P_i=1$) de nombreuses variables (voir le MDSPe), leur donnant un poids égal alors qu'elles n'ont pourtant pas une sensibilité équivalente aux pratiques comme le montre la méthode « stepdisc ». On pourrait opposer ici la perception des experts à l'approche statistique, si la méthode de « référence » pondérée par l'ACP (MDSPc) donnait la même tendance que le « stepdisc ». Pourtant, de nombreuses variables présentent de bonnes contributions sur les différents axes de l'ACP, alors qu'elles ne font pas parties du classement retenu par le « stepdisc » (MDSPh et i).

Les variables obtenant les meilleurs scores de pondérations sont très souvent celles qui sélectionnées dans les différentes approches. La variable écologique qui obtient les meilleurs scores de pondération pour les approches « expert » « statistique » et « référence » pondérées est la variable « pHeau » qui est une variable sélectionnée dans tous les MDS. De même la variable agronomique nous renseignant sur la hauteur à 1 mois du riz obtient le meilleur facteur de pondération dans les approches « référence » et « mixte » pondérées et est sélectionnée dans tous MDS.

Les pondérations sont donc reliées à la dernière étape de sélection qui a pour but de conserver les descripteurs les plus sensibles aux pratiques. Si peu de variables sont éliminées (comme dans les approches « expert » ou « référence »), la pondération est importante car certaines variables sont beaucoup plus sensibles aux pratiques que d'autres. Dans les approches où la sélection est forte (comme dans les approches « statistiques »), l'étape de pondération est moins importante voir inutile car les variables sélectionnées influencent toutes fortement les pratiques. En effet, les résultats des indicateurs « statistiques » pondérés ou non pondérés sont toujours très fortement corrélés et les classements des SFR sont presque identiques. Cependant, les indicateurs de la méthode de « référence » pondérés par l'ACP sont plus corrélés aux indicateurs statistiques que les indicateurs non pondérés de cette même méthode. L'ACP conservant plus de variables que les autres approches statistiques, la pondération a donc permis de se rapprocher des autres indicateurs « statistiques ».

La comparaison des indicateurs de la méthode « expert » pondérés et non pondérés ne donne pas de différence. Ceci s'explique par le fait qu'après avoir sélectionnés les variables grâce à la question : « Pensez-vous que cette variable influence la variabilité du système ? », les experts ont pondéré les variables grâce à une seconde question « pensez-vous que cette variable informe beaucoup ou peu la fonction qu'elle représente par rapport aux autres variables sélectionnée ? ». La pondération ne permet donc pas d'attribuer un poids plus ou moins élevé aux variables qui influencent moins les SFR mais de fournir une information pour donner du sens à l'indicateur.

Dans les indicateurs « statistique », ce type de pondération aurait pu être utilisé. En effet, plus de poids peut être attribué à la relation particulière d'une variable avec la fonction qu'elle représente. Par exemple si l'on veut renseigner sur le rendement, on pourra pondérer plus fortement la variable « rendement en grain » que la variable « rendement en paille » car elle semble plus importante aux vues des objectifs à atteindre. Ceci n'a pas été réalisé dans cette étude. Une autre possibilité consisterait à pondérer statistiquement par rapport aux service écosystémique rendu auquel se rapporte la fonction et non plus à la modalité de l'essai. Cependant, ceci est très difficile à faire car il faut pouvoir quantifier chaque service.

L'approche à privilégier est donc l'approche « Stepdisc » qui permet de sélectionner directement les variables qui auront un poids très important. Dans les futurs indicateurs, une pondération « experte » pourra être réalisée ensuite.

D. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS DE L'AGRÉGATION ET COMPARAISON DES DIFFÉRENTES MÉTHODES

L'étape d'agrégation permet d'aboutir aux indicateurs finaux. L'agrégation par médiane ou par moyenne influence les résultats. En effet, lorsque l'on regarde les corrélations entre les différents indicateurs pondérés par la moyenne (Annexe 6 et 8) on voit que pour les indicateurs agrégés sur l'axe écologique, la plus petite corrélation obtenue est de 0,84. Pour les indicateurs agrégés par la moyenne de l'axe agronomique, la plus petite corrélation est de 0,89. La moyenne des corrélations sur l'agrégation moyenne de l'axe écologique est de 0,93 et sur l'axe agronomique de 0,95. Les indicateurs agrégés par les moyennes sont donc tous extrêmement corrélés.

Cependant, lorsque l'on regarde les indicateurs agrégés par la médiane (annexe 5 et 7), la plus petite corrélation est de 0,55 sur les indicateurs écologiques et de 0,38 sur les indicateurs agronomiques. La moyenne des agrégations par la médiane de l'axe écologique est de 0,79 et sur l'axe agronomique de 0,68. Les indicateurs agrégés par les médianes sont donc moins corrélés entre eux que les indicateurs agrégés par les moyennes.

En effet, deux SFR pourront avoir la même moyenne finale alors que d'un côté, un SFR obtiendra dans plusieurs descripteurs des scores moyen (0.5) et de l'autre, un SFR obtiendra plus de la moitié de ces scores à 0 mais tous les autres scores de ces descripteurs très élevés. Ces deux SFR auront cependant des médianes très différentes car le premier SFR aura une médiane proche de la moyenne (0.5) tandis que le second SFR aura une médiane de 0.

Or beaucoup de SFR ont reçu dans plusieurs descripteurs des valeurs très basses et dans d'autres des valeurs très élevées (par exemple les SFR16 et 8 dans les descripteurs agronomiques car la biomasse était très faible pour ces descripteurs). D'un indicateur à l'autre, l'ajout d'un descripteur peut avoir un impact très fort sur la médiane. Ceci peut expliquer les différences observées et l'instabilité des différents indicateurs agrégés par les médianes.

L'agrégation par la moyenne permet une interprétation plus instinctive et moins complexe des indicateurs. Ainsi, **l'agrégation par la moyenne sera privilégiée** dans l'indicateur retenu pour expliquer le résultat des SFR.

2. Quel type de construction d'indicateur retenir ?

La méthode (Obriot et al, 2016) a été choisie dans cette étude comme méthode de référence pour la construction de nos indicateurs. En comparant les corrélations des indicateurs d'axe « référence » pondéré par l'ACP et agrégé par la moyenne, tous les indicateurs (agronomiques et écologiques) construits sont très fortement corrélés à cette approche (> 0.76). Les indicateurs IF et IA les plus corrélés à l'approche de « référence » sont les indicateurs agronomiques et écologiques des approches « mixtes » et « statistiques » (A1' et A2'). En effet, les indicateurs de ces approches sont construits par « fonction » tout comme l'indicateur de « référence ». L'indicateur de « référence » est une méthode mixte car l'ACP et le test de « Wilcoxon » sont utilisés dans l'analyse cependant l'expert intervient pour classer les variables dans les différentes fonctions et pour décider des variables à retenir entre deux variables fortement corrélées. La nouvelle méthode « statistique » employée à partir du

« Stepdisc » dans notre étude est donc très bien corrélée à la dernière approche trouvée dans la bibliographie (Obriot et al, 2016). Ces résultats confirment l'étude de (Rinot et al. 2019) qui avait montré que les indicateurs « statistiques » étaient à privilégier par rapport aux approches « expert ».

Finalement, les résultats des différentes approches méthodologique nous amène à privilégier l'**approche « statistique » A1**' dans cette étude. En effet, la sélection par groupe fonctionnels permet de mieux détailler les avantages et inconvénients des SFR, de plus l'analyse « stepdisc » permet une élimination des corrélations uniquement d'un point de vue statistique et permet de sélectionner efficacement les variables qui influencent le plus la variabilité du système. La pondération n'est donc pas nécessaire. Le scoring SECuRE sera préféré pour discriminer plus facilement les SFR dans les résultats de l'indicateur et enfin l'agrégation par la moyenne permettra une interprétation plus simple que l'agrégation par la médiane. Cette méthode semble être pertinente pour analyser les meilleurs SFR d'un point de vue écologique et agronomique.

3. Quels sont les SFR qui améliorent le mieux les performances écologiques ?

A. SUR L'AXE ÉCOLOGIQUE GLOBAL ?

Les expérimentations précédentes ont montré que dans les sols de la région d'étude Itasy de la riziculture des Hautes Terres, les sols sont appauvris en phosphore (P), puis de calcium (Ca) puis de magnésium (Mg) et en azote (N) (Raminoarison et al., 2019 ; FAO ,1998). L'apport en matière dans les SFR doit permettre au sol de ne pas s'appauvrir en ces éléments fortement demandés par les plantes (Lacharme 2001; Rahantalalao-Rakotonirainy 2017; Rakotoarisoa et al. 2010). De plus, les résultats des corrélations entre les résultats des indicateurs avec les propriétés des SFR (Annexe 16) montrent que les teneurs en soufre (S) et en carbone (C) sont fortement corrélées aux classements des SFR. Cependant, ces corrélations ont très certainement été influencées par les différences d'apport entre les SFR paysans (3t/ha) et les autres SFR (6t/ha) qui arrivent toujours mieux classés que les SFR paysans. On pourra donc simplement conclure qu'un apport en quantité plus importante améliore les performances écologiques des SFR.

En considérant l'indicateur écologique (IAE(IF)11-15) de l'approche « statistique » (A1'), le SFR9 composé de fumier traditionnel et de dolomie est celui qui semble améliorer le plus les performances écologiques (Indice de 1). Cette performance peut être expliquée par l'apport élevé de C, N ainsi que de S par rapport aux autres SFR. De plus, la particularité du SFR9 est qu'il apporte du Ca et du Mg grâce à la dolomie. Cet apport permet au SFR9 d'obtenir la meilleure amélioration de pH. En effet la solubilisation de la dolomite va permettre au ions Ca^{2+} d'arracher les ions H^+ du complexe argilo-humique. Ces ions H^+ responsable de l'acidité des sols vont pouvoir former des molécules d'eau en s'associant aux ions HO^- (Arvalis 2020). Le pH est une variable qui influence beaucoup le classement car elle discrimine bien les SFR. De plus le pH est corrélé d'autres variables écologiques (variables de l'activité microbienne et de la communauté de la macrofaune). La matière organique apportée (6t) associée à la dolomie (matière minérale) améliore directement le pH ce qui bénéficie aux organismes du sol qui ont assez d'énergie pour être stimulés et dégrader la matière organique. Ce qui confirme les études démontrant les relations entre organismes du sol et énergie fournie en quantité suffisante via les matières organiques (Blanchart et Trap 2020; P. Lavelle et Spain 2001).

Le SFR15 (fumier traditionnel, compost, lombricompost et guano) arrive en 2^{ème} position avec un indice de 0.93 suivie du SFR14 (fumier traditionnel, compost, lombricompost et prochimad) avec un indice de 0.92. Ces SFR sont ceux qui apportent le plus de matières organiques différentes ce qui leur confère des teneurs en C plus élevées que la plupart des SFR. Ils sont de plus, les deux SFR les plus riches en P. Le SFR15 est de plus, le SFR apportant le plus de S ce qui lui permet très certainement d'être mieux classé que le SFR14.

D'une manière plus générale, les SFR10 à 15 ainsi que les SFR 6 et 7 sont les SFR les mieux classés. Ils correspondent aux SFR qui mélangent matières organiques et matières minérales (autre que NPK) et aux SFR basés sur des apports de compost et lombricompost apportant beaucoup de matière organique déjà transformée par les microorganismes. Le SFR11 apporte le plus de P après les SFR14 et 15. Il est classé après ces SFR dans l'indicateur (4^{ème}). Le SFR10 (Fumier traditionnel et cendres) arrive 5^{ème} position et est notamment celui qui apporte le plus de carbone et d'azote au sol. Il apporte également beaucoup de soufre. Enfin, le SFR6 arrive en 6^{ème} position de l'indicateur et est celui qui permet d'apporter le plus de Ca et de Mg dans le sol.

Les SFR les moins bien classés sur l'axe écologiques sont les deux SFR témoins positif (SFR8) et négatif (SFR16). Ensuite, les SFR1 à 5 sont également mal classée. Ces SFR sont celle qui apporte le moins de matières organiques et le moins d'éléments manquants (P, Ca et Mg) dans le sol.

L'indicateur utilisé a donc permis d'identifier dans les premiers classements, les SFR qui apportaient le plus d'éléments manquants et de matière organique et dans les derniers les SFR apportant le moins de matière organique et éléments manquants. Ces résultats montrent la robustesse de l'indicateur. Ces résultats sont également confortés par les résultats de la règle de Nanson appliquée sur tous les indicateurs de l'axe agronomique. En effet, dans le classement de Nanson le SFR9 arrive également en premier avec une probabilité de Borda de remporter un SFR aléatoire dans un des indicateurs écologiques choisi arbitrairement est de 85%. Le SFR15 arrive en 2nd position avec une probabilité de Borda de 78%. Il est suivi des SFR 14 et 11 arrivant 3^{ème} execo suivi des SFR 12, 6, 10 et 13 et 7. L'indicateur utilisé (A1') donne donc les mêmes informations que les résultats prenant en compte tous les indices obtenus pour chacun des indicateurs écologiques du projet.

B. SUR LES DIFFÉRENTES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES DES SOLS

Le SFR9 (fumier traditionnel et dolomie) arrivant premier de l'indicateur sur l'axe écologique est premier sur les indicateurs de fonctions « physico-chimie des sols » (E1) et « Dynamique du carbone » (E2). Ces résultats sont confirmés dans les classement de Nanson des fonctions E1 et E2. Une amélioration de la fertilité physico-chimique des sols a permis de maintenir un bon niveau de biodiversité car il arrive 5^{ème} de l'indicateur de la fonction « maintien de la biodiversité ». Cependant, le SFR9 n'est que moyennement performant pour le « recyclage des nutriments » ainsi que pour la « régulation des ravageurs » (E4). Il obtient de mauvais score sur la variable mesurant le phosphore microbien du sol (pmicro) qui est une variable discriminant bien les SFR dans la fonction E3. Le calcium est connue pour insolubiliser le phosphore (Unifa 2010). La dolomite doit fixer le phosphore inorganique et pourrait donc engendrer ainsi une baisse de phosphore disponible pour les microorganismes et donc retrouvé dans la biomasse microbienne. C'est pourquoi, le SFR9 n'est pas bien classé pour cette fonction et obtient un indice de seulement 0.61. En améliorant la biodiversité du sol, le SFR attire également les ravageurs des cultures. Ce n'est qu'après l'évaluation de la performance agronomique de ce SFR que nous pourrions connaître si le taux de ravageurs est tout de même acceptable ou devient problématique pour les cultures.

Les SFR15 et 14 obtiennent des positions sur toutes les fonctions allant de la 2nd à la 4^{ème} place pour le SFR15 (excepté sur la fonction « régulation des ravageurs ») et à la 6^{ème} place pour le SFR14. Les SFR des quatre matières organiques mélangées permettent d'améliorer toutes les fonctions des sols avec une vigilance concernant le « guano » qui semble dans le SFR15 augmenter le risque de contamination par les ravageurs de cultures comparé au prochimad (SFR14). Cela est confirmé par le classement de Nanson sur la fonction « régulation des ravageurs » (E4). En effet, le SFR15 arrive 14^{ème} du classement. Ce SFR a dénombré le plus de nématodes phytoparasitaires mais cette variable n'a pas été retenu dans le MDS1 de l'indicateur utilisé. C'est pourquoi ce SFR est moins bien classé dans le classement de Nanson car cette variable a été prise en compte dans d'autres indicateurs. Pourtant, elle ne discrimine pas bien les SFR car elle n'est pas significative à 5% au test de Kruskal-Wallis. C'est pourquoi elle n'a pas été utilisé dans l'indicateur choisi. La pratique SFR15 obtient les moins bons résultats mais ces résultats ne sont pas significativement

différents des autres SFR. L'indice de structure, discriminant des SFR et retenu dans l'indicateur utilisé, a permis de classer le SFR 8^{ème} sur cette fonction.

Dans les fonctions renseignant sur la physico-chimie des sols, la dynamique du carbone et le maintien de la biodiversité, les pratiques SFR témoins « aucune fertilisation » (SFR16) et « fertilisation NPK » (SFR8) ainsi que les SFR 1 à 5 de matière organique unique se sont révélés être les moins performantes. Ces résultats sont confirmés dans les classements de Nanson sur les indicateurs de ces fonctions qui apportent les mêmes informations.

Le SFR1 arrive 1^{er} du classement de l'indicateur de fonction « régulation des ravageurs ». Cela peut s'expliquer par le fait que la poudrette de parc obtient les meilleurs scores pour la variable de l'indice de structure des communautés de nématodes. Cependant, dans le jeu de données utilisé, il n'y a pas de relation linéaire entre l'indice de structure et les carnivores. Ce sont donc majoritairement les nématodes omnivores qui influencent les valeurs de l'indice de structure (SI). Ce résultat peut s'expliquer par le fait que la proportion des omnivores du SFR1 est élevée car l'abondance des bactériovores est moyenne en comparaison des autres SFR. Cependant, en regardant l'abondance totale des omnivores, (550 individus par Kg) le SFR1 est seulement à la 13^{ème} place des SFR. Le SFR1 est donc loin d'être le meilleur SFR pour réguler ces ravageurs. Le SI contribue à la fonction de régulation mais il ne renseigne que sur la structure du réseau trophique et la régulation n'est pas liée uniquement à cet indice. D'ailleurs, dans notre jeu de données, il n'y a pas de corrélation entre le SI et le nombre de phytoparasites. Le résultat s'explique par une fertilisation moyenne (NPK) qui autorise la présence des omnivores sans s'accompagner d'une explosion des bactériovores. Il faudrait pondérer la fonction « régulation des ravageurs » par l'abondance totale des omni-prédateurs capable de réguler les phytoparasites pour rendre compte de la fonction de régulation des ravageurs. De plus le meilleur indice obtenu pour ce SFR1 n'est que de 65% ce qui n'est pas élevé car il peut atteindre des valeurs beaucoup plus grandes dans d'autres études (90%). (Ferris, Bongers, et Goede 2001). Pour comprendre les résultats de l'indicateur « régulation des ravageurs », il faut regarder au cas par cas pour chaque SFR pour établir un diagnostic sur les risques liés à la prolifération des ravageurs. Enfin, le SFR6 obtient le meilleur classement sur la fonction « recyclage des nutriments ». Cette fonction est influencée par le phosphore microbien et le phosphore disponible dans le sol (phosphore résine). Le SFR6 qui apporte le plus de phosphore dans le sol permet d'obtenir des phosphore microbien et disponible les plus importants. Les SFR11 à 15 apportant également beaucoup de phosphore sont bien classés dans cette fonction.

4. Quels sont les SFR qui améliorent les performances agronomiques ?

A. SUR L'AXE AGRONOMIQUE GLOBAL

Les propriétés des SFR influençant le classement des SFR sur leurs performances agronomiques sont le carbone total apporté (C), l'azote total (N), le soufre (S), ainsi que la cellulose et la lignine apportés par les SFR. De plus, nous savons maintenant que les éléments limitants pour les plantes sont dans l'ordre le P > Ca > Mg > N (Raminoarison et al., 2019). Le phosphore est un élément essentiel pour la plante car il rentre dans la structure de l'ATP (source d'énergie nécessaire au métabolisme), il contribue à la formation des acides nucléiques et à la structure des sucres phosphatés et phospholipides. De plus on le retrouve en réserve dans les grains de riz. (Rahantalalao-Rakotonirainy 2017).

De manière générale, l'indicateur nous révèle que les SFR9 à 15 ainsi que le SFR4 et SFR7 sont toujours bien classés (dans les 9 premiers). Ces SFR correspondent au SFR

apportant soit beaucoup de matières organiques seules (6t/ha), soit un mélange de matière organiques et minérales.

Au contraire, les SFR mal classés sont, d'une part les SFR témoins n'apportant aucune fertilisation (SFR16) ou une fertilisation en élément N, P et K(SFR8), d'autre part les SFR apportant trop peu de matières organiques (3t/ha) (SFR1,2,3) ou de la matière organique stable (compost : SFR6) dont la décomposition est plus lente.

Le SFR15 composé de fumier traditionnel (2 t/ha), de compost (2 t/ha), de lombricompost (2 t/ha) et de guano (500 kg/ha) est le SFR qui obtient le meilleur indice et est classé comme le plus performant de l'axe agronomique par l'indicateur choisi. De plus, ce résultat est confirmé dans le classement de Nanson sur tous les indicateurs agronomiques avec une probabilité de Borda de remporter un autre SFR aléatoire dans un des indicateurs construits de 94%. Cette haute performance peut être expliquée par les très bons scores obtenus pour des variables déterminantes de l'indicateur comme les variables du rendement, de la hauteur, de la biomasse, et de la qualité des grains (« rdm-grain-carre », « harvest index », « biom-aer » « biom-rac », « hauteur-1mois », « rdm-paille-carre », « p-grain », « p-paille », « n-paille », « c-paille »). Dans ce SFR, tous les apports en carbone, nutriments (P, N, S, Mg, Ca, K) ainsi qu'en cellulose, hémicellulose et lignine sont élevés. Il est notamment le SFR qui apporte le plus de soufre et le second à apporter le plus de P et de Mg deux principaux éléments limitant pour les plantes dans ces sols.

Le SFR4 composé uniquement de fumier traditionnel (6t/ha) arrive second du classement (indice de 0.94) de l'indicateur agronomique. Le SFR4 est celui qui apporte le plus de C et N après le SFR 10 et 11.

Juste après avec un indice de 0.93, le SFR7 (lombricompost) se classe 3^{ème} du classement de l'indicateur. Les caractéristiques de ce SFR sont une teneur élevée en lignine. La lignine influence fortement le classement des SFR. De plus, ce SFR est classé deuxième après le SFR15 dans les variables « hauteur-1mois » et « Hauteur-2mois ». Ces variables sont les deux seules de la fonction « croissance de la plante » et ont donc un fort impact par rapport aux autres variables dans l'agrégation finale sur l'axe. Cependant elles ne nous renseignent pas sur les mêmes aspects, en effet, une bonne hauteur-1mois présage d'une pratique qui va permettre à la plante de pousser même si la pluie tarde à tomber et/ou finit son cycle plus vite. Elle est ici très discriminante des SFR. La hauteur à 2 mois est plutôt corrélée à la biomasse et au rendement futur et permet de prévoir à l'avance une bonne performance de rendement. Le SFR7 permet surtout une bonne croissance à un mois.

B. SUR LES DIFFÉRENTES FONCTIONS AGRONOMIQUES

Le SFR 15 arrive toujours dans les 4 premier SFR des indicateurs de toutes les fonctions agronomiques. Ce bon équilibre lui permet de fournir à la plante du riz tous les éléments nécessaires à sa croissance, sa biomasse et ainsi elle obtient un bon rendement et des grains de bonne qualité. Dans les classements de Nanson de la fonction « croissance de la plante » et « qualité des grains » le SFR15 est le meilleur.

Le SFR4 est premier sur l'indicateur « biomasse de la plante », « rendement » et « qualité des grains ». En effet, il obtient en effet les meilleurs rendements en grains de tous les SFR (2,6t ms/ha en moyenne) ainsi que les meilleures biomasses aériennes. Cependant, en regardant les résultats du SFR4 plus en détail ce SFR obtient des indices moyens sur les indicateurs de fonction « croissance de la plante », et « qualité des pailles ».

Le SFR7 est bien classé dans la fonction « croissance » de la plante puisqu'il obtient la 2nd place. Il obtient une bonne biomasse et un bon rendement. Cependant, ce SFR n'apportant aucune fertilisation minérale ne permet pas à la plante d'obtenir une bonne qualité en grain

et en paille. En effet, le taux d'azote et de phosphore des grains est plus faible que dans la plupart des SFR. La forte croissance des plants de riz ainsi que leurs biomasses élevées ont dilué les teneurs en azote et phosphore qui font chuter l'indicateur de qualité des grains.

5. Les SFR qui obtiennent les meilleures performances écologiques sont-elles celles qui obtiennent les meilleures performances agronomiques ?

Les indices des indicateurs écologique et agronomique utilisés sont corrélé à 0.88. Les SFR performants d'un point de vue écologiques sont globalement les SFR les plus performants agronomiquement. D'un point de vue général, les SFR 9 à 15 sont toujours bien classés dans les indicateurs à la fois écologiques et agronomiques. Les SFR composés de matière organiques et minérales mélangées améliorent à la fois les performances écologiques et agronomiques. Ces SFR permettent en effet les meilleures améliorations du pH (variable très importante d'un point de vue des performance écologiques) qui engendre une baisse du C/N trop élevé dans cette étude (en moyenne égale à 15) et permet ainsi une meilleure activité des microorganismes par le cycle du carbone permettant la mise à disposition d'éléments nutritifs pour les plantes. De plus, l'augmentation de la CEC a très certainement permis une neutralisation de la phytotoxicité aluminique des sols qui engendre une meilleure croissance des plantes comme l'ont démontré (Kasongo et al. 2012). Cette réciprocité des performances écologiques et agronomiques est aussi vrai pour les pratiques SFR les moins performantes comme les SFR témoins : SFR16 SFR8, et SFR paysanne: SFR1, SFR2 et SFR3. Le SFR15 permet à la fois une très bonne performance écologique puisqu'il arrive 2nd de l'indicateur écologique ainsi que la meilleure performance agronomique. Cependant, certaines SFR ne sont performantes que sur un seul axe comme le SFR4 ou le SFR7 qui sont très bien classés dans l'indicateur agronomiques bien qu'ils n'obtiennent pas la meilleure amélioration des fonctions écologiques des sols. Ces deux SFR ont la particularité d'être très riche en matière organique et non mélangé à de la matière minérale. Inversement, le SFR9 la meilleure pour les indicateurs écologiques alors qu'il n'est pas le meilleur sur les performances agronomiques même s'il n'est jamais mal classé. Cependant, on peut envisager que les SFR améliorant les fonctions écologiques des sols amélioreront les performances agronomiques au bout d'un certain temps mais plus durablement. Le SFR9 sera peut-être un très bon SFR pour de meilleures performances agronomiques s'il est apporté au sol durant plusieurs années. Il reste cependant à savoir si le SFR15 pourrait être mis en place par les paysans malgaches. L'indicateur de perception paysanne nous renseigne à ce sujet.

6. Les meilleures SFR améliorant le plus les performances écologiques et agronomiques sont-elles bien perçues par les paysans de la région ?

Le SFR7 (lombricompost) arrive premier de la perception paysanne SFR. En effet, sur l'indicateur de perception agronomique, ce traitement SFR a été perçu par les agriculteurs comme permettant la meilleure épaisseur de la tige, la meilleure forme des feuilles et la meilleure hauteur de riz. De plus, la couleur de la plante ainsi que le nombre de talles pour les plantes de riz de ce traitement ont été perçus comme très satisfaisante puisque la deuxième place est attribuée à ce SFR pour les descripteurs « nombre de talles » et « couleur ». Pourtant, en regardant l'indicateur de Perception socio-économique, il n'arrive que 10^{ème}. Il avait obtenu la 15^{ème} place sur le descripteur « riz ». Les agriculteurs avant prédit que ce SFR ne serait pas performant agronomiquement, pourtant lors de l'évaluation visuelle agronomique

ils l'ont très bien perçu. Le SFR13 arrive en 2^{ème} car il arrive 3^{ème} des deux sous-indicateur de perception agronomique et socio-économique. En effet, lors de l'évaluation visuelle des plants de riz sous ce traitement a été perçu comme très satisfaisante par les agriculteurs excepté pour la « couleur » du riz. De plus, ce SFR est perçu comme facile à épandre, accessible, et pouvant être performant sur d'autres cultures que le riz les années suivantes. Son désavantage est principalement son coût élevé ainsi que sa difficulté à être transporté. Le SFR12 est également très bien perçu ainsi que les SFR4 et 15.

La comparaison des classements des indicateurs agronomiques avec le classement de l'indicateur de perception paysanne « agronomique » donne environ les mêmes informations. En effet, les trois meilleurs SFR des perceptions paysannes agronomiques sont les SFR 7, SFR4 et SFR13. Or d'un point de vue agronomique, ces SFR sont également bien classés par la plupart des indicateurs. Le SFR7 et 4 obtient des classements compris entre la 2^{ème} place et la 6^{ème} position. Le SFR13 cependant est moyennement bien classé par les indicateurs agronomiques (position 5 à 9). L'indicateur de perception « socio-économique » donne également des classements qui peuvent se rapprocher des classements agronomiques et écologique. En effet, les meilleurs classements sont attribués au SFR12 à 15. Le SFR6 obtient ensuite la 6^{ème} place suivi du SFR9 (7^{ème} place). Ces classements sont essentiellement dû au descripteur riz qui a beaucoup plus de poids dans la perception que les autres descripteurs car les agriculteurs perçoivent le rendement en riz comme principal atout d'une bonne performance socio-économique. Cependant, ces SFR obtiennent les moins bons scores sur les descripteurs « coût » et « accessibilité » ce qui peut être des freins à la mise en place des pratiques les plus performantes d'un point de vue écologique et agronomique (SFR12 à 15 ainsi que SFR6 et SFR7). La perception paysanne est prise en compte dans les indicateurs IG et permet d'intégrer ces freins au sein même de l'indicateur.

7. Quels sont les limites de la méthodologie appliquée et les pistes d'amélioration à envisager ?

Les résultats sont à interpréter seulement dans le cadre comparatif des SFR testés. En effet, les scores attribués aux individus pour chaque variable correspondent à des notes attribuées en comparaison aux valeurs des SFR testés. Rien ne dit qu'un score élevé dans toutes les variables d'une fonction implique une bonne performance de cette SFR pour cette fonction. En revanche un indice d'un indicateur, plus élevé sur une SFRA en comparaison à un autre nous indique une meilleure performance de cette SFRA. Pour conclure sur la performance d'une SFR sans la comparer à une autre, il faudrait comparer les résultats des valeurs obtenus de ces SFR avec les valeurs de référence trouvés dans la littérature pour le contexte en question.

Il est très difficile d'expliquer quelles étapes de la construction des indicateurs vont influencer les résultats des indicateurs. Pour cela, il faudrait avoir construit plusieurs fois les même indicateurs en changeant simplement une seule étape de la construction. Des comparaisons et des tests statistiques pourraient être réalisés. Ils permettraient de comprendre quelles étapes peuvent être choisies uniquement d'un point de vue pratique car elles n'influencent pas les résultats des indicateurs ou quelles étapes au contraire influencent les fortement les résultats et sont donc à discuter.

Il faudrait pouvoir réévaluer les pratiques à l'aide de la même méthodologie et regarder si la pratique la plus performante évaluée ici est toujours la plus performante sur plusieurs années. Cela permettrait également de savoir si les SFR améliorant le plus les fonctions

écologiques du sol finissent par améliorer les performances agronomiques à long terme. En effet, nous savons que certains processus améliorant les fonctions écologiques bénéfiques à la production sont des processus qui mettent plusieurs années à évoluer (l'amélioration de la structure du sol par exemple ou du recyclage des nutriments ainsi que l'amélioration de la biodiversité et surtout la séquestration du carbone). De même, certains ravageurs peuvent mettre plusieurs années avant de proliférer dans une parcelle en réponse à une nouvelle pratique. Certains SFR très bien classés sur la fonction « régulation des ravageurs » aujourd'hui pourraient se voir obtenir une mauvaise performance à long terme sur cette même fonction. De plus, sur les parcelles du projet SECuRE, très peu de ravageurs au départ étaient présents car ces terrains étaient auparavant en friche. Dans quelques années, il se peut que les ravageurs s'installent due à une amélioration des conditions de vie pour ces espèces (amélioration de la structure du sol, des sources d'énergie de la culture et aux apports des SFR).

Les fonctions rendements et qualité des grains n'ont pas été pondérées pour construire l'indicateur agronomique, or, ce sont les performances les plus attendues d'un point de vue agronomiques. Les fonctions « croissance » ou « qualité des pailles » sont moins importantes pour définir la performance agronomique. En effet, des SFR étant très bien classés sur ces fonctions comme le SFR7 ou le SFR12 et qui sont pourtant moyennes en terme de performance de rendements et de qualité des grains ont été très bien classés par l'indicateur agronomique. Les fonctions agronomiques pourraient être pondérées pour que les indicateurs agrégés IAA(IF) aient plus de sens. De la même manière, ce sont les variables les plus discriminantes des SFR qui ont été les plus pondérées. Or, la pondération devrait également prendre en compte une approche experte qui considère l'importance de l'information renseignée par la variable par rapport à la performance évaluée.

Les indicateurs de perceptions paysannes se sont basés uniquement sur les perceptions des compositions des différentes matières. Les quantités apportées n'ont pas été évaluées car l'information n'a pas été donnée au moment de l'évaluation aux agriculteurs. Une évaluation économique pourrait être effectuée, cela permettrait aux agriculteurs de valider les meilleures pratiques écologiques et agronomiques selon leurs possibilités économiques.

VII. CONCLUSION

L'approche méthodologique n'influence pas drastiquement les résultats des indicateurs car la plupart des indicateurs globaux étaient très corrélés entre eux. Cependant, les résultats des indicateurs agrégés par la médiane, plus sensibles aux changements méthodologiques ont permis d'identifier les différences et similitudes entre approches de construction. Les indicateurs des approches « statistiques » se sont révélés être plus stables peu importe les méthodes de sélection, pondération et scoring utilisés. De plus les approches « statistiques » sont celles qui sont les plus corrélées à l'approche de référence utilisée.

La méthode retenue pour évaluer les pratiques a donc été la méthode basée sur une sélection « stepdisc » sur les jeux de données des fonctions, non pondéré et agrégé par la moyenne. La méthode « stepdisc » a permis de façon plus simple de donner les mêmes résultats que les approches statistiques de références et a permis d'éviter toute subjectivité en éliminant les étapes « experte » comme la suppression des variables trop corrélées. Les descripteurs, peu nombreux, n'ont pas été pondérés car ils étaient tous très sensibles aux pratiques. L'agrégation par la moyenne a été retenue pour faciliter l'interprétation des indicateurs. La construction de l'indicateur jusqu'au niveau fonctionnel a permis d'expliquer en détails les performances. L'indicateur ainsi construit à l'avantage d'être simple, rapide, robuste par la forte utilisation des méthodes statistiques dans sa construction mais il est également explicatif grâce à la touche experte dans la répartition des variables par fonction permettant d'expliquer les performances.

L'indicateur retenue a identifié le SFR15 composé de fumier traditionnel, compost, lombricompost et guano comme la pratique la plus performante si l'on veut maximiser de la même manière les performances agronomiques et écologiques ainsi que considérer les perceptions des paysans. Ce SFR a en effet une très bonne performance écologique car il s'est classé deuxième de cet axe, il détient la meilleure performance agronomique et est arrivé 5^{ème} des SFR les mieux perçus par les paysans. Cependant, son coût élevé et sa faible accessibilité ont été révélés par les paysans et pourraient être un frein pour sa mise en application sur le terrain.

D'un point de vue général, l'indicateur a permis de révéler la corrélation entre les performances agronomiques et écologiques. En effet, les pratiques les plus performantes écologiquement, permettant ainsi de mieux restaurer les fonctions écologiques des sols, ont permis de mieux améliorer les performances agronomiques. Beaucoup de ces pratiques n'étaient cependant pas encore acceptables par les paysans Malgaches.

Un travail de vulgarisation de ces indicateurs permettrait de palier certains freins de perception à la mise en pratique des meilleures SFR. Le suivi de l'évaluation par cette méthode de construction des pratiques sur plusieurs années permettrait de rendre compte des performances des pratiques à court et long terme.

BIBLIOGRAPHIE

- Altieri, Miguel A. 1999. « The Ecological Role of Biodiversity in Agroecosystems ». In *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes*, édité par M. G. Paoletti, 19-31. Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-50019-9.50005-4>.
- Andrews, S.S., D.L. Karlen, et J.P. Mitchell. 2002. « A Comparison of Soil Quality Indexing Methods for Vegetable Production Systems in Northern California ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 90 (1): 25-45. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00174-8).
- Andrews, Susan S., Douglas L. Karlen, et Cynthia A. Cambardella. 2004. « The Soil Management Assessment Framework ». *Soil Science Society of America Journal* 68 (6): 1945-62. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1945>.
- Arvalis. 2020. « Faux : le calcium n'a pas d'action sur le pH », 2020. <https://www.arvalis-infos.fr/non-ce-n-est-pas-le-calcium-des-amendements-mineraux-basiques-qui-contribue-a-remonter-le-ph-du-sol-@/view-19946-arvarticle.html>.
- Barrios, Edmundo. 2007. « Soil Biota, Ecosystem Services and Land Productivity ». *Ecological Economics*, Special Section - Ecosystem Services and Agriculture, 64 (2): 269-85. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004>.
- Bastida, Felipe, A. Zsolnay, Teresa Hernández, et Carlos Garcia. 2008. « Past, present and future of soil quality indices: A biological perspective ». *Geoderma* 147 (octobre): 159-71. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.08.007>.
- Ben Namane, Christina Kelly. 2019. « Essai sur les pratiques de restauration des fonctions écologiques du sol sous riz pluvial dans le Moyen-Ouest du Vakinankaratra ». Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA) - Université d'Antananarivo.
- Blanchart, Eric, et Jean Trap. 2020. « Intensifier les fonctions écologiques du sol pour fournir durablement des services écosystémiques en agriculture ». *Etude et Gestion des Sols* 27 (1): 121-34.
- Bongers, Tom, et Howard Ferris. 1999. « Nematode Community Structure as a Bioindicator in Environmental Monitoring ». *Trends in Ecology & Evolution* 14 (6): 224-28. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01583-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01583-3).
- Brejda, John J., Thomas B. Moorman, Douglas L. Karlen, et Thanh H. Dao. 2000. « Identification of Regional Soil Quality Factors and Indicators I. Central and Southern High Plains ». *Soil Science Society of America Journal* 64 (6): 2115-24. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6462115x>.
- Brussaard, Lijbert, Peter C. de Ruiter, et George G. Brown. 2007. « Soil Biodiversity for Agricultural Sustainability ». *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Biodiversity in Agricultural Landscapes: Investing without Losing Interest, 121 (3): 233-44. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.013>.
- Bünemann, Else K., Giulia Bongiorno, Zhanguo Bai, Rachel E. Creamer, Gerlinde De Deyn, Ron de Goede, Luuk Fleskens, et al. 2018. « Soil Quality – A Critical Review ». *Soil Biology and Biochemistry* 120 (mai): 105-25. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>.
- Castoldi, Nicola, et Luca Bechini. 2010. « Integrated Sustainability Assessment of Cropping Systems with Agro-Ecological and Economic Indicators in Northern Italy ». *European Journal of Agronomy*, Cropping Systems Design: new methods for new challenges, 32 (1): 59-72. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2009.02.003>.
- CIRAD. 2007. « La spectroscopie dans le proche infra rouge ».
- Craheix, Damien, Frederique Angevin, Jacques-Eric Bergez, Christian Bockstaller, Bruno Colomb, Laurence Guichard, Raymond Reau, et Thierry Doré. 2012. « MASC 2.0, Un Outil d'évaluation Multicritère Pour Estimer La Contribution Des Systèmes de Culture Au Développement Durable ». *Innovations Agronomiques* 20: 35.
- Delalande, Magalie, André Gavaland, Marie Noël Mistou, Florence Meunier, Rémy Marandel, Guillaume Miglionico, Sébastien Fargier, et Claude Doussan. 2017. « Mesure de l'eau

- du sol : questions, méthodes et outils Exemples d'application sur deux plateformes champs du réseau « PHENOME » », 32.
- Deyn, G. B. De, C. E. Raaijmakers, et W. H. Van Der Putten. 2004. « Plant Community Development Is Affected by Nutrients and Soil Biota ». *Journal of Ecology* 92 (5): 824-34. <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00924.x>.
- D'Hose, Tommy, Mathias Cougnon, Alex De Vlieghe, Bart Vandecasteele, Nicole Viaene, Wim Cornelis, Erik Van Bockstaele, et Dirk Reheul. 2014. « The Positive Relationship between Soil Quality and Crop Production: A Case Study on the Effect of Farm Compost Application ». *APPLIED SOIL ECOLOGY* 75: 189-98. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.11.013>.
- FAO. 1998. « Rapport sur les ressources en sols du monde ». 1998. <http://www.fao.org/3/Y3948F/y3948f09.htm>.
- Fernandes, Jairo Costa, Carlos Antonio Gamero, José Guilherme Lança Rodrigues, et José Manuel Mirás-Avalos. 2011. « Determination of the Quality Index of a Paleudult under Sunflower Culture and Different Management Systems ». *Soil and Tillage Research* 112 (2): 167-74. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.01.001>.
- Ferris, H., T. Bongers, et R. G. M. de Goede. 2001. « A Framework for Soil Food Web Diagnostics : Extension of the Nematode Faunal Analysis Concept ». *Applied Soil Ecology* 18: 13-29. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(01\)00152-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(01)00152-4).
- Fine, Aubrey K., Harold M. van Es, et Robert R. Schindelbeck. 2017. « Statistics, Scoring Functions, and Regional Analysis of a Comprehensive Soil Health Database ». *Soil Science Society of America Journal* 81 (3): 589-601. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.09.0286>.
- Gómez-Limón, José A., et Gabriela Sanchez-Fernandez. 2010. « Empirical Evaluation of Agricultural Sustainability Using Composite Indicators ». *Ecological Economics* 69 (5): 1062-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.027>.
- Gromski, Piotr S., Howbeer Muhamadali, David I. Ellis, Yun Xu, Elon Correa, Michael L. Turner, et Royston Goodacre. 2015. « A Tutorial Review: Metabolomics and Partial Least Squares-Discriminant Analysis--a Marriage of Convenience or a Shotgun Wedding ». *Analytica Chimica Acta* 879 (juin): 10-23. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2015.02.012>.
- Haney, R. L. 2012. « Haney test interpretation ».
- Herinasandratra, Volatantely. 2019. « Interaction entre matières organiques, vers de terre et mycorhizes sur la croissance du riz pluvial ». Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques (ESSA) - Université d'Antananarivo.
- Kasongo, Ruben Koy, Eric Van Ranst, Prosper Kanyankogote, Ann Verdoodt, et Geert Baert. 2012. « Réponse du soja (Glycine max) à l'application de phosphate de Kanzi et de dolomie rose de Kimpese sur sol sableux en RD Congo ». *Canadian Journal of Soil Science* 92 (6): 905-16. <https://doi.org/10.4141/cjss2011-097>.
- Keuskamp, Joost A., Bas J. J. Dingemans, Taru Lehtinen, Judith M. Sarneel, et Mariet M. Hefting. 2013. « Tea Bag Index: A Novel Approach to Collect Uniform Decomposition Data across Ecosystems ». *Methods in Ecology and Evolution* 4 (11): 1070-75. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12097>.
- Kibblewhite, M.G, K Ritz, et MJ Swift. 2008. « Soil health in agricultural systems | Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences ». <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rstb.2007.2178>.
- Koschke, Lars, Christine Fürst, Marco Lorenz, Anke Witt, Susanne Frank, et Franz Makeschin. 2013. « The Integration of Crop Rotation and Tillage Practices in the Assessment of Ecosystem Services Provision at the Regional Scale ». *Ecological Indicators* 32 (septembre): 157-71. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.03.008>.
- Kouno, Kenji, Yasuhiro Tuchiya, et Tadao Ando. 1995. « Measurement of Soil Microbial Biomass Phosphorus by an Anion Exchange Membrane Method ». *Soil Biology and Biochemistry* 27 (10): 1353-57. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00057-L](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00057-L).
- Kratz, Werner. 1998. « The Bait-Lamina Test ». *Environmental Science and Pollution Research* 5 (2): 94-96. <https://doi.org/10.1007/BF02986394>.

- Lacharme, M. 2001. « La fertilisation minérale du riz ». *Ministère du développement Rural et de l'Environnement*, n° 6: 17.
- Lavelle, P., et A. Spain. 2001. *Soil Ecology*. Springer Science & Business Media.
- Lavelle, Patrick, David Bignell, Lepage M, Volkmar Wolters, Pierre Roger, P. Ineson, O. Heal, et S.P. Dhillon. 1997. « Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers ». *European Journal of Soil Science* 33 (octobre): 159-93.
- Levard, L, P Bertrand, et P Masse. 2019. *Mémento pour l'évaluation de l'agroécologie : Méthodes pour évaluer ses effets et les conditions de son développement*. GTAE-AgroParisTechCIRAD-IRD. <https://www.cirad.fr/actualites/toutes-les-actualites/articles/2019/ca-vient-de-sortir/memento-pour-l-evaluation-de-l-agroecologie>.
- Li, Guilin, Jie Chen, Zhiying Sun, et Manzhi Tan. 2007. « Establishing a Minimum Dataset for Soil Quality Assessment Based on Soil Properties and Land-Use Changes ». *Acta Ecologica Sinica* 27 (7): 2715-24. [https://doi.org/10.1016/S1872-2032\(07\)60059-6](https://doi.org/10.1016/S1872-2032(07)60059-6).
- MAEP. 2019. « Rapport annuel 2019 : “Vers l'autosuffisance alimentaire et l'émergence d'un secteur agricole moderne” ». Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche. <http://www.maep.gov.mg/rapports-2019/>.
- McGilloway, D. A. 2005. *Grassland: A Global Resource: A Global Resource*. Wageningen Academic Publishers.
- McLaughlin, M. J., A. M. Alston, et J. K. Martin. 1986. « Measurement of Phosphorus in the Soil Microbial Biomass: A Modified Procedure for Field Soils ». *Soil Biology and Biochemistry* 18 (4): 437-43. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(86\)90050-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(86)90050-7).
- Mukherjee, Atanu, et Rattan Lal. 2014. « Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods ». *PLOS ONE* 9 (8): e105981. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105981>.
- Obriot, Fiona, Marie Stauffer, Yolaine Goubard, Nathalie Chevion, Guénola Peres, Marie Eden, Agathe Revallier, Laure Vieublé-Gonod, et Sabine Houot. 2016. « Multi-Criteria Indices to Evaluate the Effects of Repeated Organic Amendment Applications on Soil and Crop Quality ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 232 (septembre): 165-78. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.004>.
- OECD, European Union, et Joint Research Centre-European Commission. 2008. *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. OECD Publishing.
- Programme GESSOL (France). 2010. *La vie cachée des sols l'élément essentiel d'une gestion durable et écologique des milieux*. Paris: Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer.
- Pulido Moncada, Mansonia, Donald Gabriels, et Wim M. Cornelis. 2014. « Data-Driven Analysis of Soil Quality Indicators Using Limited Data ». *Geoderma* 235-236 (décembre): 271-78. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.014>.
- Rahajaharilaza, Koloina. 2019. « Mise au point des pratiques innovantes de restauration de la fertilité des sols par des assemblages de matières organo-minérales. » Antananarivo: Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques.
- Rahantalalao-Rakotonirainy, Solonirina Holy Ravaka. 2017. « Déterminant physico-chimiques de la phytodisponibilité du phosphore dans les sols malgaches ». Antananarivo: Antananarivo.
- Raharimalala, Sitrakiniaina. 2018. « Pratiques agricoles et gestion de la fertilité des sols par les exploitations agricoles des hautes terres malgaches : cas des Communes d'Imerintsiatosika et de Morarano, District d'Arivonimamo, Région Itasy. » Mémoire master II. Antananarivo: Ecole Supérieure des Sciences Agronomiques.
- Rakotoarisoa, Jacqueline, Robert Oliver, Julie Dusserre, Bertrand Muller, Jean-Marie Douzet, Roger Michellon, L. A. Moussa, Lala Aimée Razafinjara, Charlotte Rajeriarison, et Eric Scopel. 2010. « Bilan de l'azote minéral au cours du cycle du riz pluvial sous systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale en sol ferrallitique argileux à Madagascar ». *Etude et Gestion des Sols*. <https://agritrop.cirad.fr/556894/>.
- Raminoarison, Manoa, Tantely Razafimbelo, Tovohery Rakotoson, Thierry Becquer, Eric Blanchart, et Jean Trap. 2020. « Multiple-nutrient limitation of upland rainfed rice in

- ferralsols: a greenhouse nutrient-omission trial ». *Journal of Plant Nutrition* 43 (2): 270-84. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1676906>.
- Razafimbelo, Tantely Maminiana, Andry Andriamananjara, Tovonarivo Rafolisy, Herintsitohaina Razakamanarivo, Dominique Masse, Eric Blanchart, Marie-Virginie Falinirina, Laetitia Bernard, Nasandratra Ravonjarison, et Alain Albrecht. 2018. « Impact de l'agriculture climato-intelligente sur les stocks de carbone organique du sol à Madagascar ». *Cahiers Agricultures* 27 (3): 35001. <https://doi.org/10.1051/cagri/2018017>.
- Rezaei, Seyed Ata, Robert J. Gilkes, et Susan S. Andrews. 2006. « A Minimum Data Set for Assessing Soil Quality in Rangelands ». *Geoderma* 136 (1): 229-34. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.03.021>.
- Rinot, Oshri, Guy J. Levy, Yosef Steinberger, Tal Svoray, et Gil Eshel. 2019. « Soil Health Assessment: A Critical Review of Current Methodologies and a Proposed New Approach ». *Science of The Total Environment* 648 (janvier): 1484-91. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.259>.
- Ruiz Camacho, Nuria, Velasquez Elena, Anne Pando, Decaëns Thibaud, Dubs Florence, et Lavelle Patrick. 2009. « Indicateurs synthétiques de la qualité du sol ». *Etude et Gestion des Sols* 16 (3/4): 323-38.
- Sharma, K. L., S. C. Sharma, S. S. Bawa, Sher Singh, D. Suma Chandrika, Vivek Sharma, Anil Khokhar, et al. 2015. « Combined effect of tillage and organic fertilization on soil quality key indicators and indices in alluvial soils of Indo-Gangetic Plains under rainfed maize-wheat system ». *Archives of Agronomy and Soil Science* 61 (3): 313-27. <https://doi.org/10.1080/03650340.2014.933319>.
- Thoumazeau, A., C. Bessou, M. S. Renevier, J. Trap, R. Marichal, L. Mareschal, T. Decaens, et al. 2019. « Biofunctool®: A new framework to assess the impact of land management on soil quality. Part A: Concept and validation of the set of indicators ». *Ecological Indicators* 97: 100-110.
- Törne, E. von. 1990. « Assessing Feeding Activities of Soil-Living Animals. I. Bait-Lamina-Tests. » *Pedobiologia* 34 (2): 89-101.
- Unifa. 2010. « Le cycle des cations ». *Bilan régionaux de la fertilisation en France 1998-2010*.
- Vain, Anne Cécile. 2018. « Synthèse bibliographique : Les EcoPlates de Biolog. Système, Utilisation et Limites en Ecologie Fonctionnelle des Sols. » UMR Eco&Sols.
- Yoro, G., et G. Godo. 1989. « Les méthodes de mesure de la densité apparente : analyse de la dispersion des résultats dans un horizon donné ». *Cahiers ORSTOM.Série Pédologie* 25 (4): 423-29.

TABLE DES FIGURES

FIGURE I : SITES D'EXPERIMENTATIONS D'ITASY (EN HAUT) ET DE VAKINRANKARATRA (EN BAS).....	9
FIGURE II: APPAREIL DE MESURE DU SPAD	16
FIGURE III : RÉSUMÉ DES DIFFÉRENTES ÉTAPES ET MÉTHODOLOGIE POUR LA CONSTRUCTION D'UN INDICATEUR DE SANTÉ DES SOLS (RINOT ET AL, 2019).	21
FIGURE IV : TYPES DE FONCTIONS DE SCORING.....	29
FIGURE V : HISTOGRAMMES DES SCORES DE BORDA CUMMULÉS DE CHAQUE NANSON IFE1 A IFE5	48
FIGURE VI : RÉSULTATS DES SCORES DE BORDA CUMULLÉS DE CHAQUE NANSON IFA1 A IFA5	52
FIGURE VII : DÉTAILS DES INDICES OBTENUS POUR LES SFR8 ET SFR16 PAR TROIS TYPES D'INDICATEURS FONCTIONS " RÉFÉRENCE", " SATISTIQUES" ET "EXPERT"	54
FIGURE VIII : DÉTAILS DES INDICES OBTENUS POUR LES SFR1 A 3 PAR TROIS TYPES D'INDICATEURS FONCTIONS " RÉFÉRENCE", " SATISTIQUES" ET "EXPERT"	55
FIGURE IX : DÉTAILS DES INDICES OBTENUS POUR LES SFR4 A 7 PAR TROIS TYPES D'INDICATEURS FONCTIONS " RÉFÉRENCE", " SATISTIQUES" ET "EXPERT"	55
FIGURE X : DÉTAILS DES INDICES OBTENUS POUR LES SFR9 A 15 PAR TROIS TYPES D'INDICATEURS FONCTIONS " RÉFÉRENCE", " SATISTIQUES" ET "EXPERT"	56
FIGURE XI : DÉTAILS DES INDICES DES SFR OBTENUS DANS TROIS INDICATEURS DE FONCTIONS AGRONOMIQUES DIFFÉRENTS (" REFÉRENCE", " STATISTIQUE" ET " EXPERT")	59

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU I : DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS (PRATIQUES SFR)	24
TABLEAU II : CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DES DIFFÉRENTES MATIERES UTILISÉES (BEN NAAMANE,2019)	25
TABLEAU III : COMPOSITION DES DIFFERENTS PRODUITS UTILISÉS DANS LES SFR (BEN NAA MANE, 2019)	25
TABLEAU IV : DESCRIPTIONS DES FONCTIONS ÉCOLOGIQUES ET DES FONCTIONS AGRONOMIQUES	27
TABLEAU V : LES DIFFÉRENTES ÉTAPES DE LA SÉLECTION ABOUTISSANT AUX DIFFÉRENTS MDS	28
TABLEAU VI: RESUMÉ DES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE CONSTRUCTION D'INDICATEURS ÉCOLOGIQUES ET AGRONOMIQUES	33
TABLEAU VII : VARIABLES ÉCOLOGIQUES SÉLECTIONNÉES DANS LES DIFFÉRENTS MDS	40
TABLEAU VIII : VARIABLES AGRONOMIQUES SÉLECTIONNÉES DANS LES DIFFÉRENTS MDS.	41
TABLEAU IX : PONDÉRATION DES DIFFÉRENTES VARIABLES ÉCOLOGIQUES DANS LES MDSP	43
TABLEAU X: PONDÉRATION DES DIFFÉRENTES VARIABLES AGRONOMIQUES DANS LES DIFFÉRENTS MDSP	44
TABLEAU XI: RÉSULTAT DU NANSON IG	45
TABLEAU XII: RÉSULTATS DES NANSON DE L'AXE ÉCOLOGIQUE	46
TABLEAU XIII : ECARTS ENTRE LES CLASSEMENTS NANSON IAE(IF) ET IAE	46
TABLEAU XIV: RÉSULTATS DES NANSON IFE1 A IFES	47
TABLEAU XV : ÉCARTS A LA MOYENNE DES CLASSEMENTS DE NANSON IFE1 A IFES	48
TABLEAU XVI : CORRÉLATIONS ENTRE LES NANSON DES INDICATEURS DE FONCTIONS ÉCOLOGIQUES (IFE1A IFES)	49
TABLEAU XVII : RÉSULTATS DES NANSON DE L'AXE AGRONOMIQUE	49
TABLEAU XVIII: ÉCARTS ENTRE LES CLASSEMENTS DE NANSON IAA(IF) ET IAA	50
TABLEAU XIX : RÉSULTATS DES NANSON SUR LES INDICATEURS DE FONCTIONS AGRONOMIQUES (IFA1 A IFA5)	51
TABLEAU XX : RÉSULTATS DES ÉCARTS A LA MOYENNE DES DIFFÉRENTS NANSON IFA1 A IFA5	51
TABLEAU XXI: CORRÉLATIONS DES NANSON DES INDICATEURS AGRONOMIQUES (IFA1 A IFA5)	52
TABLEAU XXII : CLASSEMENTS FINAUX DES SFR DANS LES DIFFÉRENTS INDICATEURS GLOBAUX (IG)	53
TABLEAU XXIII : CLASSEMENTS DES SFR DANS LES DIFFÉRENTS INDICATEURS DE L'AXE ÉCOLOGIQUE	54
TABLEAU XXIV: CLASSEMENTS DES SFR OBTENUS DANS LES DIFFÉRENTS INDICATEURS DE L'AXE AGRONOMIQUE	57
TABLEAU XXV: CORRÉLATIONS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES DES SFR ET DES INDICATEURS ÉCOLOGIQUES IAE ET IAE(IF) 51-55 "RÉFÉRENCE" ET 111-115 "EXPERT"	57
TABLEAU XXVI :CORRÉLATIONS ENTRE LES CARACTÉRISTIQUES SFR ET LES INDICATEURS AGRONOMIQUES IAA ET IAA(IF) 56-60 "RÉFÉRENCE" ET 96-100 "EXPERT"	60
TABLEAU XXVII: CORRÉLATIONS ENTRE LES NANSON IFE1 A E5 ET LES INDICATEURS IF ÉCOLOGIQUES	61
TABLEAU XXVIII: CORRÉLATIONS ENTRE LES IAE(IF) ET IAE AVEC L'INDICATEUR DE « RÉFÉRENCE » DE L'APPROCHE A3'	61
TABLEAU XXIX : CORRÉLATIONS ENTRE IF51 A IF55 DE "RÉFÉRENCE" AVEC LES INDICATEURS IF "STATISTIQUES", "MIXTES" ET "EXPERTS".	62
TABLEAU XXX : CORRÉLATIONS DES IF AGRONOMIQUES AVEC LES NANSON IFA1 A IFA5	63
TABLEAU XXXI : CORRÉLATIONS ENTRE INDICAEUR DE RÉFÉRENCE IAA(IF) 56-60 AVEC LES INDICATEURS IAA(IF) ET IAA	63
TABLEAU XXXII : CORRÉLATIONS ENTRE LES INDICATEURS DE RÉFÉRENCE IF56 A IF60 AVEC LES INDICATEURS IFA1 A A5 DES TYPES "STATISTIQUES", "MIXTES" ET "EXPERTS".	64
TABLEAU XXXIII : CLASSEMENT FINAUX DES SFR DES INDICATEURS DE PERCEPTIONS PAYSANNES	65
TABLEAU XXXIV : DETAILS DES CLASSEMENTS DES SFR SUR CHAQUES DESCRIPTEURS DE L'INDICATEUR PP1	65
TABLEAU XXXV: DETAILS DES CLASSEMENTS DES SFR SUR CHAQUES DESCRIPTEURS DE L'INDICATEUR PP2	66

Annexe 1 : Répartition des variables agronomique dans les différentes fonctions.

VARIABLES DU JEU DE DONNÉES DE L'AXE AGRONOMIQUE								
Noms des variables	Nom utilisé dans le rapport	Unités des variables	Fonctions des variables					Corrélations
			A1	A2	A3	A4	A5	
Hauteur Méthode 2 lignes 1 mois après semis	Hauteur-1mois	cm						Suppression
Hauteur Méthode 2 lignes 2 mois après semis	Hauteur-2mois	cm						Conservation
SPAD	SPAD	SU						Conservation
Biomasse aérienne (montaison - épiaison)	Biomae	g.m ⁻²						Conservation
Biomasse racinaire 0-20 cm	Biomrac	g.m ⁻²						Conservation
Shoot : root ratio	ShRt	SU						Suppression
Hauteur Méthode 2 lignes (épiaison)	Hauteur-épi	cm						Conservation
Hauteur 7 poquets	Hauteur-7poq	cm						Suppression
Nb tiges 7 poquets	Nb-tiges	SU						Conservation
Nb panicules blanches 7 poquets	nb-paniblanche	SU						Suppression
Nb panicules 7 poquets	nbpani	SU						Suppression
Poids panicules 7 poquets (poids frais)	pdspani	g						Suppression
Poids tiges + panicules 7 poquets (poids frais)	pdspani-tige	g MS						Suppression
Poids tige 7 poquets (poids sec)	pds-tige	g MS						Suppression
Poids grains 7 poquets (poids sec)	pds-grains	g MS						Suppression
Rendement grains 7 poquets (poids sec)	rdm-grain7poq	t MS.ha ⁻¹						Suppression
Rendement paille Carré Rendement (poids sec)	rdm-paille-carre	t. MS ha ⁻¹						Suppression
Rendement grains Carré Rendement (poids sec)	rdm-grain-carre	t. MS ha ⁻¹						Conservation
Harvest index	HI	%						Conservation
Pourcentage grains pleins	Grain-pleins	%						Conservation
Carbone total 7 poquets	C-grain	g.kg ⁻¹						Conservation
Azote total 7 poquets	N-grain	g.kg ⁻¹						Conservation
C/N	C/N-grain	SU						Suppression
Phosphore total 7 poquets	P-grain	mg.kg ⁻¹						Conservation
Carbone total 7 grains (Quantité) 7 poquets	C-grain7poq	g						Suppression
Azote total 7 grains (Quantité) 7 poquets	N-grain7poq	g						Suppression
Phosphore total 7 grains (Quantité) 7 poquets	P-grain7poq	mg						Conservation
Carbone total 7 grains (Quantité) Carré de rendement	C-grain-carre	kg .ha ⁻¹						Suppression
Azote total 7 grains (Quantité) Carré de rendement	N-grain-carre	kg .ha ⁻¹						Suppression
Phosphore total 7 grains (Quantité) Carré de rendement	P-grain-carre	kg .ha ⁻¹						Suppression
Carbone total 7 poquets	C-paille	g.kg ⁻¹						Conservation
Azote total 7 poquets	N-paille	g.kg ⁻¹						Suppression
C/N	C/N-paille	SU						Suppression
Phosphore total 7 poquets	P-paille	mg.kg ⁻¹						Conservation
Carbone total 7 paille (Quantité) 7 poquets	C-paille-7poq	g						Suppression
Azote total 7 paille (Quantité) 7 poquets	N-paille-7poq	g						Suppression
Phosphore total 7 paille (Quantité) 7 poquets	P-paille-7poq	mg						Conservation
Carbone total 7 paille (Quantité) Carré de rendement	C-paille-carre	kg .ha ⁻¹						Suppression
Azote total 7 paille (Quantité) Carré de rendement	N-paille-carre	kg .ha ⁻¹						Suppression
Phosphore total 7 paille (Quantité) Carré de rendement	P-paille-carre	kg P.ha ⁻¹						Suppression
Carbone total Quantité totale 7 poquets	C-pailgrain-7poq	g						Suppression
Azote total Quantité totale 7 poquets	N-pailgrain-7poq	g						Suppression
Phosphore total Quantité totale 7 poquets	P-pailgrain-7poq	g						Suppression
Carbone total Quantité totale Carré de rendement	C-pailgrain-carre	kg .ha ⁻¹						Suppression
Azote total Quantité totale Carré de rendement	N-pailgrain-carre	kg .ha ⁻¹						Suppression
Phosphore total Quantité totale Carré de rendement	P-pailgrain-carre	kg .ha ⁻¹						Suppression
Matière sèche (labo)	Mslab	%						Conservation
Matière sèche SPIR	MSSPIR	%						Suppression
Cendres totales CT	CT	%						Conservation
Matières azotées totales MAT	MAT	%						Conservation
Cellulose Brute CB	CB	%						Conservation
Neutral Detergent Fiber NDF	NDF	%						Suppression
Acid Detergent Fiber ADF	ADF	%						Suppression
Acid Detergent Lignin ADL	ADL	%						Conservation

Annexe 2 : Répartition des variables écologiques dans les différentes fonctions.

VARIABLES DU JEU DE DONNÉES DE L'AXE ECOLOGIQUE								
Noms variables	Nom utilisé dans le rapport	Unités variables	Fonctions des variables					Corrélations
			E1	E2	E3	E4	E5	
pH in situ (sonde 0-15 cm)	pHsitu	SU						Conservation
Humidité 0-10 cm (interpoquet)	Humi10	%						Conservation
Humidité 10-20 cm (interpoquet)	Humi20	%						Conservation
Densité apparente 0-10 cm (interpoquet)	DA10	g.cm ⁻³						Conservation
Densité apparente 10-20 cm (interpoquet)	DA20	g.cm ⁻³						Conservation
Agrégation (> 2mm) 0-10 cm (interpoquet)	Agre10	%						Conservation
Agrégation (> 2mm) 10-20 cm (interpoquet)	Agre20	%						Conservation
pH eau 0-10 cm (interpoquet)	pHeau	SU						Conservation
Carbone total 0-10 cm (interpoquet)	C-ipoq	g.kg ⁻¹						Suppression
Carbone total 0-10 cm (monolithe)	C-mono	g.kg ⁻¹						Conservation
Carbone oxydable par le permanganate (POxC) 0-10 cm (interpoquet)	POxC	mg.kg ⁻¹						Conservation
Azote total 0-10 cm (interpoquet)	N-ipoq	g.kg ⁻¹						Suppression
Azote total 0-10 cm (monolithe)	N-mono	g.kg ⁻¹						Suppression
Phosphore résine 0-10 cm (monolithe)	P-res	mg.kg ⁻¹						Conservation
Phosphore microbien 0-10 cm (monolithe)	P-micro	mg.kg ⁻¹						Conservation
Stock Carbone total 0-10 cm (interpoquet)	Stock-C-ipoq	Mg.ha ⁻¹						Suppression
Stock Carbone total 0-10 cm (monolithe)	Stock-C-mono	Mg.ha ⁻¹						Conservation
Stock Azote total 0-10 cm (interpoquet)	Stock-N-ipoq	Mg.ha ⁻¹						Suppression
Stock Azote total 0-10 cm (monolithe)	Stock-N-mono	Mg.ha ⁻¹						Suppression
Stock Phosphore résine 0-10 cm (monolithe)	Stock-P-res	kg.ha ⁻¹						Suppression
T3 cumulé 0-10 cm	T3-cum	µg C-CO ₂ .g ⁻¹						Suppression
T7 cumulé 0-10 cm	T7-cum	µg C-CO ₂ .g ⁻¹						Suppression
T15 cumulé 0-10 cm	T15-cum	µg C-CO ₂ .g ⁻¹						Suppression
T21 cumulé 0-10 cm	T21-cum	µg C-CO ₂ .g ⁻¹						Suppression
T28 cumulé 0-10 cm	T28-cum	µg C-CO ₂ .g ⁻¹						Suppression
T3 vitesse 0-10 cm	T3-V	µg C-CO ₂ .g ⁻¹						Suppression
T7 vitesse 0-10 cm	T7-V	µg C-CO ₂ .h ⁻¹ .g ⁻¹						Conservation
T15 vitesse 0-10 cm	T15-V	µg C-CO ₂ .h ⁻¹ .g ⁻¹						Suppression
T21 vitesse 0-10 cm	T21-V	µg C-CO ₂ .h ⁻¹ .g ⁻¹						Suppression
T28 vitesse 0-10 cm	T28-V	µg C-CO ₂ .h ⁻¹ .g ⁻¹						Conservation
Macrofaune pitfall (biomasse)	Biom-macro-pitf	g. pitfall ⁻¹						Conservation
Macrofaune pitfall (nombre individus (somme))	Indiv-macro-pitf	individus. pitfall ⁻¹						Conservation
Macrofaune pitfall (nombre taxons)	nbtax-macro-pitf	SU						Conservation
Macrofaune monolithe (biomasse totale) 0-20 cm	Biom-macro	g.m ⁻²						Suppression
Macrofaune monolithe (biomasse) fourmis 0-20 cm	Biom-fourmis	g fourmis.m ⁻²						Conservation
Macrofaune monolithe (biomasse) vers de terre 0-20 cm	Biom-vdt	g vers de terre.m ⁻²						Suppression
Macrofaune monolithe (biomasse) cocons de vers de terre 0-20 cm	Biom-coconvdt	g cocons.m ⁻²						Conservation
Macrofaune monolithe (densité totale) 0-20 cm	Dens-macro	individus.m ⁻²						Conservation
Macrofaune monolithe (densité) fourmis 0-20 cm	Dens-fourmis	fourmis.m ⁻²						Conservation
Macrofaune monolithe (densité) vers de terre 0-20 cm	Dens-vdt	vers de terre.m ⁻²						Suppression
Macrofaune monolithe (densité) cocons de vers de terre 0-20 cm	Dens-coconvdt	cocons.m ⁻²						Suppression
Macrofaune monolithe (densité) coléoptères 0-20 cm	Dens-coléo	coléoptères.m ⁻²						Suppression
Macrofaune monolithe (nombre taxons) 0-20 cm	nb-tax-macro	SU						Conservation
<i>P. corethrus</i> (densité) 0-20 cm	Dens-pcor	individus.m ⁻²						Suppression
Bioagresseurs (biomasse)	Biom-bioag-macro	pds/m2						Conservation
Bioagresseurs (densité)	Dens-bioag-macro	NB/m2						Conservation
Omnivores (biomasse)	Biom-omni-macro	Pds omniv/m2						Suppression
Omnivores (densité)	Dens-omni-macro	NB/m2						Suppression
Détritivores (biomasse)	Biom-detri-macro	Pds détri/m2						Conservation
Détritivores (densité)	Dens-detri-macro	NB/m2						Conservation
Prédateurs (biomasse)	Biom-preda-macro	Pds préda/m2						Conservation
Prédateurs (densité)	Dens-preda-macro	NB/m2						Conservation
Ingénieurs (biomasse)	Biom-inge-macro	Pds ingé/m2						Conservation
Ingénieurs (densité)	Dens-inge-macro	NB/m2						Suppression
Nématodes (nombre) 250g	nb-nema250g	nombre. 250 g ⁻¹ sol						Suppression
Nématodes (nombre) 1kg	nb-nema1kg	nombre. kg ⁻¹ sol sec)						Suppression
Indice de maturité (IM)	IM	SU						Suppression
Indice de phytoparasite (PP)	PP	SU						Conservation
IM/PP	IM/PP	SU						Conservation
Bactériovores	bacte-nema	nombre. kg ⁻¹ sol sec)						Suppression
Fongivores	fongi-nema	nombre. kg ⁻¹ sol sec)						Conservation
Phytoparasites	phyto-nema	nombre. kg ⁻¹ sol sec)						Suppression
Phytoparasites intéressants (ajouts)	phyto-rav-nema	nombre. kg ⁻¹ sol sec)						Conservation
Omnivores	omni-nema	nombre. kg ⁻¹ sol sec)						Conservation
Carnivores	carni-nema	nombre. kg ⁻¹ sol sec)						Conservation
Nematode Channel Ratio	CR	SU						Conservation
Richesse taxon	Rtax	SU						Conservation
Enrichissement	Enrich	%						Conservation
Structure	Struct	%						Conservation
AWCD totale	AWCD	SU						Suppression
RF	RF	SU						Conservation
AWCD Carbohydate	AWCD-carboH	SU						Conservation
AWCD Polymers	AWCD-poly	SU						Conservation
AWCD Acides carboxylique et cetones	AWCD-carbox-cet	SU						Conservation
AWCD Amidés et Amines	AWCD-am-ac	SU						Conservation
AWCD Acides Aminés	AWCD-aa	SU						Conservation
Décomposition journalière thé rouge	Décompj-TR	mg.j ⁻¹						Suppression
Décomposition journalière thé vert	Décompj-TV	mg.j ⁻¹						Suppression
Taux de décomposition totale thé rouge	Tx-decomp-TR	%						Conservation
Taux de décomposition totale thé vert	Tx-decomp-TV	%						Conservation
Activité alimentaire totale	Actalim-tot	%						Conservation
Activité alimentaire journalière	Actalim-j	%j ⁻¹						Suppression

Annexe 3 : Sélection ou suppression des variables écologiques du jeu de données de départ.

Description méthode	Nom variables	Unité variables	Kruskal Wallis Bloc	Kruskal Wallis SFR	Wilcoxon	MDS1	MDS2	MDS3	MDS4	MDS5	MDS6	Variables supprimées	Corrélation	
E1 : Maintien d'un bon environnement Physico-chimique	pH in situ (Bonde 0-15 cm)	su		0,0000	0,0095								Conservation	
	Humidité 0-10 cm (Interpoquet)	%	0,0065	0,0794	0,0265								Conservation	
	Humidité 0-20 cm (Interpoquet)	%	0,0100	0,2491	0,0141								Conservation	
	Densité apparente 0-10 cm (Interpoquet)	g.cm ⁻³			0,5772	0,4873								Conservation
	Densité apparente 0-20 cm (Interpoquet)	g.cm ⁻³		0,0420	0,3856	0,1694								Conservation
	Agrégation (> 2mm) 0-10 cm (Interpoquet)	%		0,0104	0,3513	0,7603								Conservation
	Agrégation (> 2mm) 0-20 cm (Interpoquet)	%			0,4672	0,7814								Conservation
	pH eau 0-10 cm (Interpoquet)	SU			0,0002	0,0022								Conservation
	Macrofaune monolithique (biomasse) de terre 0-20 cm	g vers de terre.m ⁻²			0,0066	0,0986								Suppression
	Ingénieurs (biomasse)	Pds ingé/m ²			0,0039	0,0537								Conservation
					0,9796	0,9668								Suppression
	E2 : Dynamique du Carbone	Carbone total 0-10 cm (Interpoquet)	g.kg ⁻¹			0,2733								Conservation
Carbone total 0-10 cm (monolithe)		g.kg ⁻¹			0,2733								Conservation	
Carbone oxydable par le permanganate (POx) 0-10 cm (Interpoquet)		mg.kg ⁻¹			0,1236	0,6673							Conservation	
Stock Carbone total 0-10 cm (Interpoquet)		Mg.ha ⁻¹			0,6134	0,7081							Suppression	
Stock Carbone total 0-10 cm (monolithe)		Mg.ha ⁻¹			0,9494	0,2983							Conservation	
T3 0-10 cm		µg C-CD ₃ .g ⁻¹			0,0560	0,0045							Suppression	
T7 0-10 cm		µg C-CD ₃ .g ⁻¹			0,0199	0,0095							Suppression	
T15 0-10 cm		µg C-CD ₃ .g ⁻¹			0,0477	0,0141							Suppression	
T21 0-10 cm		µg C-CD ₃ .g ⁻¹			0,0764	0,0206							Suppression	
T28 0-10 cm		µg C-CD ₃ .g ⁻¹			0,0759	0,0171							Suppression	
T3 0-10 cm		µg C-CD ₃ .g ⁻¹			0,0549	0,0051							Suppression	
T7 0-10 cm		µg C-CO ₂ .h ⁻¹ .g ⁻¹			0,0197	0,0273							Conservation	
T15 0-10 cm		µg C-CO ₂ .h ⁻¹ .g ⁻¹			0,1668	0,0931							Suppression	
T21 0-10 cm		µg C-CO ₂ .h ⁻¹ .g ⁻¹			0,1384	0,0361							Suppression	
T28 0-10 cm		µg C-CO ₂ .h ⁻¹ .g ⁻¹			0,0504	0,0164							Conservation	
Détritivores (biomasse)		Pds détri/m ²			0,9459	0,9589								Conservation
Nématodes Bombre 250g		nombre. 250 g ⁻¹ sol			0,2547	0,0074								Suppression
Nématodes Bombre 1kg		nombre. kg ⁻¹ sol sec			0,3105	0,0088								Suppression
AWCD totale		SU			0,0105	0,0039								Suppression
AWCD à carbohydrate		SU			0,0308	0,0068								Conservation
AWCD Polymers		SU			0,0003	0,0041								Conservation
AWCD Acides carboxylique et cétone		SU			0,0360	0,0177								Conservation
Décomposition journalière thé rouge		mg.j ⁻¹			0,0128	0,8778								Suppression
Décomposition journalière thé vert		mg.j ⁻¹		0,0487	0,4407	0,8477								Suppression
Taux de décomposition totale thé rouge		%			0,0128	0,0477								Conservation
Taux de décomposition totale thé vert		%		0,0487	0,4407	0,8331								Conservation
Activité alimentaire totale		%			0,0854	0,0077								Conservation
Activité alimentaire journalière	%j ⁻¹			0,0854	0,0077								Suppression	
E3: Recyclage des nutriments	Azote total 0-10 cm (Interpoquet)	g.kg ⁻¹			0,9438	0,6669							Suppression	
	Azote total 0-10 cm (monolithe)	g.kg ⁻¹			0,7306	0,1739							Suppression	
	Phosphore résine 0-10 cm (monolithe)	mg.kg ⁻¹			0,0008	0,0830							Conservation	
	Phosphore microbien 0-10 cm (monolithe)	mg.kg ⁻¹			0,0789	0,0171							Conservation	
	Stock Azote total 0-10 cm (Interpoquet)	Mg.ha ⁻¹			0,9774	0,9006							Suppression	
	Stock Azote total 0-10 cm (monolithe)	Mg.ha ⁻¹			0,9331	0,1739							Suppression	
	Stock Phosphore résine 0-10 cm (monolithe)	kg.ha ⁻¹			0,0009	0,0759							Suppression	
	Bactériovores	nombre. kg ⁻¹ sol sec			0,3116	0,0575								Suppression
	Fongivores	nombre. kg ⁻¹ sol sec			0,3212	0,9668								Conservation
	Omnivores	nombre. kg ⁻¹ sol sec			0,1347	0,0121								Conservation
	Carnivores	nombre. kg ⁻¹ sol sec			0,1566	0,3385								Conservation
	Nematode Channel Ratio	SU			0,0849	0,0690								Conservation
	AWCD Amidés et Amines	SU			0,0368	0,0099								Conservation
	AWCD Acides Aminés	SU			0,1993	0,0071								Conservation
	E4: Régulation des ravageurs	Bioagresseurs (biomasse)	pds/m ²			0,6053	0,4543							Conservation
		Bioagresseurs (densité)	NB/m ²			0,3406	0,0692							Conservation
		Indice de maturité (IM)	SU			0,0964	0,0388							Suppression
Indice de phytoparasite (PP)		SU			0,1886	0,1492							Conservation	
IM/PP		SU			0,2936	0,8243							Conservation	
Phytoparasites		nombre. kg ⁻¹ sol sec			0,1740	0,0049							Suppression	
Phytoparasites intéressants (ajouts)		nombre. kg ⁻¹ sol sec			0,0843	0,0022							Conservation	
E5: Maintien d'un bon niveau de biodiversité	Structure	%			0,0628	0,0238							Conservation	
	Macrofaune monolithique (biomasse) de terre 0-20 cm	g vers de terre.m ⁻²			0,0066	0,0986							Conservation	
	Ingénieurs (biomasse)	Pds ingé/m ²			0,0039	0,0537							Suppression	
	Détritivores (biomasse)	Pds détri/m ²			0,9459	0,9589							Conservation	
	Macrofaune pitfall (biomasse)	g. pitfall ⁻¹			0,2697	0,0248							Conservation	
	Macrofaune pitfall (nombre individus) (bomme)	individus. pitfall ⁻¹			0,1230	0,2609							Conservation	
	Macrofaune pitfall (nombre taxons)	NB		0,0031	0,7305	0,0166							Conservation	
	Macrofaune monolithique (biomasse totale) 0-20 cm	g.m ⁻²			0,0105	0,0929							Suppression	
	Macrofaune monolithique (biomasse) fourmis 0-20 cm	g fourmis.m ⁻²			0,0157	0,7405							Conservation	
	Macrofaune monolithique (biomasse) cocons de vers de terre 0-20 cm	g cocons.m ⁻²			0,1436	0,1415							Conservation	
	Macrofaune monolithique (densité totale) 0-20 cm	individus.m ⁻²			0,0356	0,0253							Conservation	
	Macrofaune monolithique (densité) fourmis 0-20 cm	fourmis.m ⁻²			0,0327	0,6850							Conservation	
	Macrofaune monolithique (densité) vers de terre 0-20 cm	vers de terre.m ⁻²			0,0108	0,0975							Suppression	
	Macrofaune monolithique (biomasse) cocons de vers de terre 0-20 cm	cocons.m ⁻²			0,1855	0,1401							Suppression	
	Macrofaune monolithique (densité) coléoptères 0-20 cm	coléoptères.m ⁻²			0,2337	0,0504							Suppression	
	Macrofaune monolithique (nombre taxons) 0-20 cm	NB			0,0056	0,0377								Conservation
	<i>P. corethrus</i> (densité) 0-20 cm	individus.m ⁻²			0,0061	0,1176								Suppression
	Omnivores (biomasse)	Pds omniv/m ²			0,0157	0,7405								Suppression
	Omnivores (densité)	NB/m ²			0,0327	0,6850								Suppression
	Détritivores (densité)	NB/m ²			0,8977	0,8685								Conservation
	Prédateurs (biomasse)	Pds préda/m ²			0,1394	0,4631								Conservation
	Prédateurs (densité)	NB/m ²			0,0712	0,5392								Conservation
	Ingénieurs (densité)	NB/m ²			0,0070	0,0529								Conservation
	Nématodes Bombre 250g	nombre. 250 g ⁻¹ sol			0,2547	0,0074								Suppression
	Nématodes Bombre 1kg	nombre. kg ⁻¹ sol sec			0,3105	0,0088								Suppression
	Indice de maturité (IM)	SU			0,0964	0,0388								Suppression
	Omnivores	nombre. kg ⁻¹ sol sec			0,1347	0,0121								Conservation
Carnivores	nombre. kg ⁻¹ sol sec			0,1566	0,3385								Conservation	
Nematode Channel Ratio	SU			0,0849	0,0690								Conservation	
Richesse taxon	SU			0,0228	0,1425								Conservation	
Enrichissement	%		0,0092	0,5179	0,2171								Conservation	
Structure	%			0,0628	0,0238								Conservation	
RF	su			0,0024	0,0020								Conservation	

Annexe 4 : Sélection ou suppression des variables agronomiques du jeu de données de départ.

JDD fonction	Nom variables	Unité variables	Kruskal Wallis Bloc	Kruskal Wallis SFR	Wilcoxon	MDS1	MDS2	MDS3	MDS4	MDS5	MDS6	Variables supprimées	Corrélations	
A1 : Croissance de la plante	Hauteur Méthode 2 lignes 1 mois après semis	cm		0,0030	0,0041								Conservation	
	Hauteur Méthode 2 lignes 2 mois après semis	cm		0,0000	0,0009								Suppression	
A2 : Biomasse de la plante	Biomasse aérienne (montaison - épiaison)	g.m ⁻²		0,0011	0,0011								Conservation	
	Biomasse racinaire 0-20 cm	g.m ⁻²		0,0014	0,0012								Conservation	
	Shoot : root ratio			0,0144	0,0049								Conservation	
	Hauteur Méthode 2 lignes (épiaison)	cm		0,0000	0,0009								Suppression	
A3 : Rendement	Hauteur 7 poquets	cm		0,0003	0,0011								Conservation	
	Nb tiges 7 poquets		0,0387	0,0042	0,0011								Suppression	
	Nb panicules blanches 7 poquets			0,3599	0,1392								Conservation	
	Nb panicules 7 poquets			0,0030	0,0010								Suppression	
	Poids panicules 7 poquets (poids frais)	g		0,0001	0,0009								Suppression	
	Poids tiges + panicules 7 poquets (poids frais)	g MS		0,0002	0,0009								Suppression	
	Poids tige 7 poquets (poids sec)	g MS		0,0001	0,0009								Suppression	
	Poids grains 7 poquets (poids sec)	g MS		0,0002	0,0009								Suppression	
	Rendement grains 7 poquets (poids sec)	t.MS.ha ⁻¹		0,0002	0,0009								Suppression	
	Rendement paille (arré Rendement (poids sec)	t.MS.ha ⁻¹		0,0001	0,0009								Suppression	
	Rendement grains (arré Rendement (poids sec)	t.MS.ha ⁻¹		0,0001	0,0009								Conservation	
	Harvest index	%		0,0052	0,0058								Conservation	
	Pourcentage grains pleins	%		0,3466	0,0880									Conservation
	A4 : Qualité des grains	Carbone total (neur)	g.kg ⁻¹		0,0154	0,0016								Conservation
		Azote total (neur)	g.kg ⁻¹		0,0000	0,0029								Conservation
C/N				0,0000	0,0041								Suppression	
Phosphore total (neur)		mg.kg ⁻¹		0,0001	0,7288								Conservation	
Carbone total (grains (Quantité) (7 poquets)		g		0,0002	0,0009								Suppression	
Azote total (grains (Quantité) (7 poquets)		g		0,0009	0,0009								Suppression	
Phosphore total (grains (Quantité) (7 poquets)		mg		0,0000	0,0009								Conservation	
Carbone total (grains (Quantité) (arré de rendement)		kg.ha ⁻¹		0,0001	0,0009								Suppression	
Azote total (grains (Quantité) (arré de rendement)		kg.ha ⁻¹		0,0006	0,0009								Suppression	
Phosphore total (grains (Quantité) (arré de rendement)		kg.ha ⁻¹		0,0000	0,0009								Suppression	
Carbone total (Quantité totale (7 poquets)		g		0,0001	0,0009								Suppression	
Azote total (Quantité totale (7 poquets)		g		0,0013	0,0009								Suppression	
Phosphore total (Quantité totale (7 poquets)		g		0,0000	0,0009								Suppression	
Carbone total (Quantité totale (arré de rendement)		kg.ha ⁻¹		0,0001	0,0009								Suppression	
Azote total (Quantité totale (arré de rendement)		kg.ha ⁻¹		0,0013	0,0009								Suppression	
Phosphore total (Quantité totale (arré de rendement)	kg.ha ⁻¹		0,0000	0,0009								Suppression		
A5 : Qualité des pailles	Carbone total (neur)	g.kg ⁻¹		0,0002	0,0014								Conservation	
	Azote total (neur)	g.kg ⁻¹		0,0001	0,0010								Suppression	
	C/N			0,0001	0,0011								Conservation	
	Phosphore total (neur (7 poquets)	mg.kg ⁻¹		0,0017	0,0058								Conservation	
	Carbone total (paille (Quantité) (7 poquets)	g		0,0001	0,0009								Suppression	
	Azote total (paille (Quantité) (7 poquets)	g		0,0081	0,0009								Suppression	
	Phosphore total (paille (Quantité) (7 poquets)	mg		0,0006	0,0009								Conservation	
	Carbone total (paille (Quantité) (arré de rendement)	kg.ha ⁻¹		0,0001	0,0009								Suppression	
	Azote total (paille (Quantité) (arré de rendement)	kg.ha ⁻¹		0,0132	0,0009								Suppression	
	Phosphore total (paille (Quantité) (arré de rendement)	kg.P.ha ⁻¹		0,0000	0,0009								Suppression	
	Carbone total (Quantité totale (7 poquets)	g		0,0001	0,0009								Suppression	
	Azote total (Quantité totale (7 poquets)	g		0,0013	0,0009								Suppression	
	Phosphore total (Quantité totale (7 poquets)	g		0,0000	0,0009								Suppression	
	Carbone total (Quantité totale (arré de rendement)	kg.ha ⁻¹		0,0001	0,0009								Suppression	
	Azote total (Quantité totale (arré de rendement)	kg.ha ⁻¹		0,0013	0,0009								Suppression	
Phosphore total (Quantité totale (arré de rendement)	kg.ha ⁻¹		0,0000	0,0009								Suppression		
Matière sèche (abo)	%		0,0165	0,0778	0,3862								Conservation	
Matière sèche (PIR)	%		0,0197	0,1366	0,0116								Suppression	
Cendres totales (T)	%			0,0014	0,0020								Conservation	
Matières azotées totales (MAT)	%			0,0004	0,0018								Conservation	
Cellulose Brute (B)	%			0,0382	0,0031								Conservation	
Neutral Detergent Fiber (NDF)	%			0,1286	0,0612								Suppression	
Acid Detergent Fiber (ADF)	%			0,1438	0,0033								Suppression	
Acid Detergent Lignin (ADL)	%			0,0324	0,0095								Conservation	
SPAD				0,0001	0,0158								Conservation	

Annexe 5 : Corrélations entre les indicateurs écologiques IAA(IF) et IAA des approches A agrégé par les médianes

Corrélations Indicateurs Ecologiques (Agrégation "médiane")										
Type d'indicateur		IAE(IF)					IEA			
Sélection	2. Corrélations	Conservation	Suppression	Suppression		Suppression		Suppression		Conservation
	3.Méthode	Stepdisc	Stepdisc	wilcox		Expert		Stepdisc		Stepdisc
MDS		MDS1	MDS2	MDS3		MDS4		MDS5		MDS6
Scoring		Secure	Secure	Ref		Secure		Secure		Secure
Pondération		Non	Non	ACP	non	Expert	Non	Non	Stepdisc	Stepdisc
MDSP		MDSPa	MDSPb	MDSPc	MDSPd	MDSPe	MDSPf	MDSPg	MDSPh	MDSPi
Agrégation		Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane
Approche		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Indicateur N°		IF1-5	IF21-25	IF41-45	IF61-65	IF81-85	IF101-105	121. I(EO)	125.I(EO)	129. I(EO)
IAE(IF)	IE1-5	1,00								
	IE21-25	0,96	1,00							
	IE41-45	0,78	0,78	1,00						
	IE61-65	0,79	0,74	0,87	1,00					
	IE81-85	0,91	0,90	0,83	0,80	1,00				
	IE101-105	0,92	0,85	0,75	0,88	0,87	1,00			
IEA	121. I(EO)	0,89	0,92	0,77	0,68	0,81	0,82	1,00		
	125. I(EO)	0,72	0,76	0,56	0,57	0,68	0,73	0,85	1,00	
	129. I(EO)	0,83	0,85	0,55	0,57	0,73	0,74	0,89	0,92	1,00
		Moyenne =								0,79

Annexe 6 : Corrélations entre les indicateurs écologiques IAA(IF) et IAA des approches A' agrégé par les moyennes

Corrélations Indicateurs Ecologiques (Agrégation "moyenne")										
Type d'indicateur		IAE(IF)					IEA			
Sélection	2. Corrélations	Conservation	Suppression	Suppression		Suppression		Suppression		Conservation
	3.Méthode	Stepdisc	Stepdisc	wilcox		Expert		Stepdisc		Stepdisc
MDS		MDS1	MDS2	MDS3		MDS4		MDS5		MDS6
Scoring		Secure	Secure	Ref		Secure		Secure		Secure
Pondération		Non	Non	ACP	non	Expert	Non	Non	Stepdisc	Stepdisc
MDSP		MDSPa	MDSPb	MDSPc	MDSPd	MDSPe	MDSPf	MDSPg	MDSPh	MDSPi
Agrégation		Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Approche		A1'	A2'	A3'	A4'	A5'	A6'	A7'	A8'	A9'
Indicateur N°		IF11-15	IF31-35	IF51-55	IF71-75	IF91-95	IF111-115	123.I(EO)	127.I(EO)	131.I(EO)
IAE(IF)	IE11-15	1,00								
	IE31-35	1,00	1,00							
	IE51-55	0,96	0,95	1,00						
	IE71-75	0,94	0,93	0,96	1,00					
	IE91-95	0,92	0,92	0,84	0,87	1,00				
	IE111-115	0,97	0,96	0,92	0,94	0,98	1,00			
IEA	123. I(EO)	0,97	0,98	0,92	0,86	0,89	0,93	1,00		
	127. I(EO)	0,97	0,98	0,93	0,87	0,89	0,94	0,99	1,00	
	131. I(EO)	0,96	0,97	0,93	0,86	0,86	0,92	0,98	0,99	1,00
		Moyenne =								0,93

Annexe 7 : Corrélations entre les indicateurs IAA(IF) et IAA des approches A agrégés par les médianes

Corrélations Indicateurs Agronomiques (Agrégation "médiane")										
Type d'indicateur		IAA(IF)					IAA			
Sélection	2. Corrélations	Conservation	Suppression	Suppression		Suppression		Suppression		Conservation
	3.Méthode	Stepdisc	Stepdisc	wilcox		Expert		Stepdisc		Stepdisc
MDS		MDS1	MDS2	MDS3		MDS4		MDS5		MDS6
Scoring		Secure		Ref		Secure		Secure		Secure
Pondération		Non	Non	ACP	non	Expert	Non	Non	Stepdisc	Stepdisc
MDSP		MDSPa	MDSPb	MDSPc	MDSPd	MDSPe	MDSPf	MDSPg	MDSPh	MDSPi
Agrégation		Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane	Médiane
Approche		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Indicateur N°		IA6-10	IF26-30	IF46-50	IF66-70	IF86-90	IF106-110	122	126	130
IAA(IF)	IA6-10	1,00								
	IF26-30	0,92	1,00							
	IF46-50	0,75	0,84	1,00						
	IF66-70	0,84	0,92	0,74	1,00					
	IF86-90	0,65	0,61	0,39	0,54	1,00				Moyenne = 0,68
	IF106-110	0,77	0,70	0,38	0,56	0,79	1,00			
IAA	122	0,84	0,70	0,49	0,62	0,75	0,75	1,00		
	126	0,83	0,66	0,57	0,58	0,55	0,52	0,86	1,00	
	130	0,84	0,70	0,66	0,56	0,49	0,55	0,83	0,85	1,00

Annexe 8 : Corrélations entre les indicateurs IAA(IF) et IAA des approches A' agrégés par les moyennes

Corrélations Indicateurs Agronomiques (Agrégation "moyenne")										
Type d'indicateur		IAA(IF)					IAA			
Sélection	2. Corrélations	Conservation	Suppression	Suppression		Suppression		Suppression		Conservation
	3.Méthode	Stepdisc	Stepdisc	wilcox		Expert		Stepdisc		Stepdisc
MDS		MDS1	MDS2	MDS3		MDS4		MDS5		MDS6
Scoring		Secure		Ref		Secure		Secure		Secure
Pondération		Non	Non	ACP	non	Expert	Non	Non	Stepdisc	Stepdisc
MDSP		MDSPa	MDSPb	MDSPc	MDSPd	MDSPe	MDSPf	MDSPg	MDSPh	MDSPi
Agrégation		Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne
Approche		A1'	A2'	A3'	A4'	A5'	A6'	A7'	A8'	A9'
Indicateur N°		IA16-20	IF36-40	IF56-60	IF76-80	IF96-100	IF116 -120	124	128	132
IAA(IF)	IA16-20	1,00								
	IF36-40	0,96	1,00							
	IF56-60	0,98	0,99	1,00						
	IF76-80	0,99	0,99	1,00	1,00					
	IF96-100	0,96	0,99	0,98	0,98	1,00				
	IF116 -120	0,92	0,98	0,96	0,96	0,97	1,00			
IAA	124	0,90	0,91	0,89	0,90	0,92	0,92	1,00		
	128	0,92	0,96	0,94	0,94	0,96	0,98	0,94	1,00	
	132	0,93	0,94	0,93	0,94	0,96	0,95	0,96	0,97	1,00

Annexe 9 : Indices des 18 indicateurs globaux IG construits

Type d'indicateurs	Statistique		Mixte	Référence		Référence		Expert		Expert		Mixte		Mixte		Statistique		
	Médiane	Moyenne	MDS1	Médiane	Moyenne													
JDD	Fonctions		Fonctions	Fonctions		Axe												
Corrélation	Conservation		Suppression	Suppression		Conservation												
Méthode sélection	Stepdisc		Stepdisc	wilcox		wilcox		Expert		Expert		Stepdisc		Stepdisc		Stepdisc		
MDS	MDS1		MDS2	MDS3		MDS3		MDS4		MDS4		MDS5		MDS5		MDS6		
Scoring	Secure		Secure	Ref		Ref		Secure										
Pondération	Non		Non	ACP		non		Expert		Non		Non		Stepdisc		Stepdisc		
MDSp	MDSpa		MDSpb	MDSpc		MDSpd		MDSpe		MDSpf		MDSpg		MDSph		MDSpi		
Agrégation	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A3	A3'	A4	A4'	A5	A5'	A6	A6'	A7	A7'	A8	A8'	A9	A9'
SFR1	0,42	0,56	0,56	0,57	0,71	0,68	0,70	0,71	0,47	0,65	0,55	0,64	0,50	0,55	0,49	0,51	0,39	0,52
SFR2	0,66	0,65	0,66	0,65	0,78	0,76	0,72	0,77	0,61	0,72	0,67	0,71	0,64	0,65	0,61	0,63	0,52	0,65
SFR3	0,67	0,75	0,72	0,75	0,86	0,84	0,79	0,86	0,65	0,79	0,68	0,79	0,73	0,75	0,71	0,71	0,63	0,73
SFR4	0,82	0,84	0,77	0,83	0,90	0,90	0,83	0,91	0,78	0,86	0,84	0,84	0,77	0,81	0,73	0,75	0,72	0,79
SFR5	0,79	0,78	0,80	0,77	0,82	0,82	0,81	0,84	0,68	0,80	0,71	0,79	0,76	0,77	0,67	0,74	0,68	0,75
SFR6	0,82	0,80	0,81	0,81	0,88	0,84	0,91	0,86	0,72	0,82	0,82	0,82	0,80	0,77	0,67	0,75	0,60	0,76
SFR7	0,85	0,88	0,80	0,87	0,89	0,93	0,89	0,92	0,83	0,88	0,83	0,90	0,78	0,85	0,76	0,84	0,70	0,85
SFR8	0,30	0,36	0,34	0,42	0,54	0,56	0,53	0,58	0,44	0,54	0,56	0,53	0,45	0,45	0,40	0,41	0,28	0,44
SFR9	0,97	0,87	0,84	0,84	0,86	0,86	0,81	0,86	0,74	0,87	0,81	0,85	0,88	0,86	0,72	0,82	0,76	0,83
SFR10	0,91	0,84	0,78	0,80	0,85	0,86	0,81	0,87	0,75	0,80	0,78	0,80	0,76	0,80	0,71	0,77	0,73	0,78
SFR11	0,91	0,82	0,78	0,80	0,81	0,84	0,79	0,85	0,72	0,81	0,75	0,80	0,75	0,80	0,73	0,79	0,70	0,80
SFR12	0,78	0,89	0,82	0,87	0,89	0,91	0,88	0,92	0,84	0,91	0,82	0,92	0,88	0,87	0,77	0,87	0,76	0,86
SFR13	0,87	0,87	0,83	0,86	0,89	0,89	0,88	0,90	0,74	0,88	0,85	0,86	0,88	0,85	0,76	0,84	0,83	0,85
SFR14	0,92	0,84	0,84	0,83	0,83	0,85	0,80	0,86	0,74	0,84	0,78	0,83	0,86	0,85	0,76	0,82	0,77	0,83
SFR15	0,95	0,91	0,91	0,92	0,85	0,92	0,85	0,91	0,86	0,90	0,92	0,90	0,93	0,93	0,89	0,93	0,89	0,93
SFR16	0,18	0,24	0,25	0,31	0,50	0,47	0,42	0,49	0,26	0,46	0,28	0,45	0,35	0,38	0,33	0,30	0,29	0,33

Annexe 10 : Classements des SFR par les Indicateurs IF, IAE(IF) et IAE écologiques

CLASSEMENT PAR LES INDICATEURS ECOLOGIQUES																			
Type d'approche	Statistique		Statistique		Référence		Référence		Référence		Expert	Expert	Expert	Expert	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	
Sélection	1. JDD		Fonctions		Fonctions		Fonctions		Fonctions		Fonctions		Fonctions		Sous-ensemble		Sous-ensemble		
	2. Corrélations		Conservation		Suppression		Suppression		Suppression		Suppression		Suppression		Suppression		Conservation		
	3. Méthode		Stepdisc		Stepdisc		wilcox		wilcox		Expert		Expert		Stepdisc		Stepdisc		
MDS	MDS1		MDS2		MDS3		MDS4		MDS5		MDS6		MDS7		MDS8		MDS9		
Scoring	Secure		Secure		Ref		Ref		Ref		Ref		Ref		Ref		Ref		
Pondération	Non		Non		ACP		non		Expert		Non		Non		Stepdisc		Stepdisc		
MDSP	MDSPa		MDSPb		MDSPc		MDSPd		MDSPe		MDSPf		MDSPg		MDSPh		MDSPi		
Agrégation	Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A3	A3'	A4	A4'	A5	A5'	A6	A6'	A7	A7'	A8	A8'	A9	A9'	
IF-E1																			
Rangs	SFR1	14	14	14	14	14	14	14	14	13	14	13	14						
	SFR2	13	13	13	13	13	13	13	13	14	13	14	13						
	SFR3	12	12	12	12	10	12	12	12	12	12	11	12						
	SFR4	11	11	11	11	11	9	11	11	8	11	12	11						
	SFR5	4	3	4	3	2	3	2	2	7	2	3	3						
	SFR6	6	2	6	2	1	4	3	3	10	4	6	2						
	SFR7	8	8	8	8	6	7	6	7	6	10	8	8						
	SFR8	16	16	16	16	15	15	16	16	15	16	15	15						
	SFR9	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1	4	1						
	SFR10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	6	9	6						
	SFR11	10	9	10	9	12	8	10	10	5	5	10	6						
	SFR12	5	7	5	7	8	10	5	5	11	9	9	9						
	SFR13	3	5	3	5	7	6	9	8	9	7	5	10						
	SFR14	7	6	7	6	3	2	4	4	2	3	1	4						
	SFR15	2	4	2	4	5	5	7	6	4	8	7	7						
	SFR16	15	15	15	15	16	16	15	15	16	15	16	16						
IF-E2																			
Rangs	SFR1	2	.12	22	32	42	52	62	72	82	92	102	112						
	SFR2	15	15	15	15	15	15	14	15	15	15	15	15						
	SFR3	13	12	13	12	12	13	13	13	13	13	13	13						
	SFR4	11	11	11	11	13	12	12	12	10	12	12	12						
	SFR5	9	10	9	10	5	11	7	7	2	2	10	4						
	SFR6	9	10	9	10	11	9	10	6	7	3	9	6						
	SFR7	10	13	10	13	4	10	1	8	1	5	1	5						
	SFR8	7	6	7	6	2	6	3	3	9	8	4	7						
	SFR9	14	14	14	14	14	14	15	14	14	14	14	14						
	SFR10	1	1	1	1	7	4	5	1	4	1	2	1						
	SFR11	3	3	3	3	6	1	4	2	12	6	5	2						
	SFR12	2	2	2	2	9	2	9	4	8	7	8	9						
	SFR13	8	8	8	8	8	5	8	11	6	9	11	8						
	SFR14	5	7	5	7	3	7	6	10	11	11	6	11						
	SFR15	6	5	6	5	10	8	11	9	5	10	7	10						
	SFR16	4	4	4	4	1	3	2	5	3	4	3	3						
IF-E3																			
Rangs	SFR1	.3	.13	23	33	43	53	63	73	83	93	103	113						
	SFR2	14	14	14	14	15	16	14	15	15	11	15	13						
	SFR3	15	15	15	15	12	13	12	13	14	14	12	15						
	SFR4	13	12	13	12	5	12	7	1	13	13	14	9						
	SFR5	11	11	11	11	13	4	11	12	11	12	10	14						
	SFR6	12	13	12	13	3	10	4	6	10	15	13	12						
	SFR7	1	1	1	1	4	6	1	2	4	5	1	5						
	SFR8	6	7	6	7	8	2	8	9	6	10	6	10						
	SFR9	8	9	9	9	10	14	10	10	8	6	9	8						
	SFR10	10	8	8	8	14	9	15	14	12	7	7	7						
	SFR11	9	10	10	10	1	1	3	3	2	8	11	6						
	SFR12	5	3	5	3	2	5	6	5	5	3	8	2						
	SFR13	4	5	4	5	7	7	2	4	1	1	3	1						
	SFR14	3	4	3	4	11	8	9	8	7	9	5	11						
	SFR15	7	6	7	6	6	11	5	7	3	4	4	4						
	SFR16	2	2	2	2	9	3	13	11	9	2	2	3						
IF-E4																			
Rangs	SFR1	.4	.14	24	34	44	54	64	74	84	94	104	114						
	SFR2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	3	2	3						
	SFR3	14	14	14	14	14	15	14	15	11	11	11	11						
	SFR4	4	5	4	5	2	4	2	4	6	6	6	6						
	SFR5	10	7	10	7	11	9	11	9	14	15	14	15						
	SFR6	13	12	13	12	13	13	13	13	10	8	10	8						
	SFR7	1	3	1	3	4	7	4	7	7	7	7	7						
	SFR8	8	11	8	11	9	10	9	10	8	10	8	10						
	SFR9	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16						
	SFR10	6	9	6	9	5	5	5	5	5	4	5	4						
	SFR11	9	4	9	4	10	8	10	8	13	12	13	12						
	SFR12	12	13	12	13	12	12	12	12	9	13	9	13						
	SFR13	5	6	5	6	7	2	7	2	3	5	3	5						
	SFR14	11	10	11	10	3	3	3	3	4	2	4	2						
	SFR15	3	2	3	2	6	6	6	6	15	9	15	9						
	SFR16	7	8	7	8	15	14	15	14	12	14	12	14						
IF-E5																			
Rangs	SFR1	.5	.15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115						
	SFR2	1	14	14	14	14	13	14	13	15	13	15	13						
	SFR3	5	11	12	8	8	2	7	1	10	10	9	8						
	SFR4	7	12	11	12	11	10	11	10	13	12	13	12						
	SFR5	12	6	3	3	9	11	10	11	6	8	4	9						
	SFR6	3	10	10	11	11	9	11	9	11	9	11	10						
	SFR7	11	8	5	10	1	4	1	4	4	5	5	5						
	SFR8	16	15	15	15	15	16	15	16	16	16	16	16						
	SFR9	9	5	5	7	6	5	2	7	5	3	6	3						
	SFR10	4	1	8	5	4	7	8	5	7	6	7	6						
	SFR11	13	2	7	4	3	6	3	6	8	7	8	7						
	SFR12	6	7	4	9	7	3	6	3	2	1	3	1						
	SFR13	10	9	8	6	13	12	13	12	9	11	10	11						
	SFR14	2	3	2	1	2	1	4	2	3	2	1	2						
	SFR15	8	4	1	2	5	8	5	8	1	4	2	4						
	SFR16	15	16	15	16	10	14	9	14	14	15	14	14						
IAE																			
Rangs	SFR1	IF1-5	IF11-15	IF21-25	IF31-35	IF41-45	IF51-55	IF61-65	IF71-75	IF81-85	IF91-95	IF101-105	IF111-115	121	123	125	127	129	131
	SFR2	15	13	14	13	14	14	13	13	15	13	14	13	15	14	13	14	15	14
	SFR3	12	14	13	14	1													

Annexe 11 : Indices des SFR dans les indicateurs IF, IAE(IF) et IAE écologiques.

INDICES NORMALISÉS DES INDICATEURS ÉCOLOGIQUES																		
Type d'approche	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	Référence	Référence	Référence	Référence	Expert	Expert	Expert	Expert	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	Statistique	
Sélection	1. JDD				Fonctions				Fonctions				Axe					
	2. Corrélations				Suppression				Suppression				Suppression					
	3. Méthode				Stepdisc				wilcox				Expert					
MDS	MDS1				MDS2				MDS3				MDS4					
Scoring	Secure				Secure				Ref				Secure					
Pondération	Non				Non				ACP				non					
MDSP	MDSPa				MDSPb				MDSPd				MDSPe					
Agrégation	Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne			
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A3	A3'	A4	A4'	A5	A5'	A6	A6'	A7	A7'	A8	A8'	A9	
IF-E1	1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	101	111						
Rangs	SFR1	0.32	0.34	0.32	0.34	0.93	0.93	0.91	0.91	0.48	0.48	0.58	0.56					
	SFR2	0.47	0.48	0.47	0.48	0.94	0.94	0.94	0.94	0.46	0.46	0.56	0.60					
	SFR3	0.52	0.52	0.52	0.52	0.97	0.96	0.94	0.94	0.54	0.62	0.69	0.71					
	SFR4	0.61	0.61	0.61	0.61	0.96	0.97	0.96	0.95	0.76	0.74	0.68	0.82					
	SFR5	0.83	0.84	0.83	0.84	1.00	0.99	1.00	0.99	0.77	0.92	0.91	0.95					
	SFR6	0.81	0.85	0.81	0.85	1.00	0.99	0.99	0.99	0.66	0.91	0.82	0.95					
	SFR7	0.77	0.78	0.77	0.78	0.98	0.98	0.97	0.97	0.81	0.78	0.77	0.85					
	SFR8	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.88	0.30	0.42	0.40	0.45				
	SFR9	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	0.87	0.87	0.87	0.93	0.92				
	SFR10	0.76	0.70	0.76	0.70	0.97	0.97	0.97	0.98	0.97	0.87	0.87	0.93	0.92				
	SFR11	0.75	0.74	0.75	0.74	0.96	0.97	0.97	0.96	0.84	0.87	0.72	0.90					
	SFR12	0.82	0.81	0.82	0.81	0.97	0.97	0.99	0.98	0.66	0.82	0.76	0.83					
	SFR13	0.83	0.82	0.83	0.82	0.98	0.98	0.97	0.97	0.71	0.85	0.83	0.83					
	SFR14	0.78	0.81	0.78	0.81	1.00	0.99	0.99	0.98	0.99	0.92	1.00	0.94					
	SFR15	0.84	0.82	0.84	0.82	0.99	0.99	0.98	0.98	0.84	0.84	0.78	0.86					
	SFR16	0.23	0.22	0.23	0.22	0.89	0.90	0.89	0.89	0.27	0.43	0.33	0.43					
IF-E2	2.00	12.00	22.00	32.00	42.00	52.00	62.00	72.00	82.00	92.00	102.00	112.00						
Rangs	SFR1	0.20	0.21	0.20	0.21	0.58	0.54	0.57	0.55	0.45	0.49	0.40	0.51					
	SFR2	0.47	0.45	0.47	0.45	0.71	0.72	0.67	0.71	0.71	0.64	0.64	0.67					
	SFR3	0.53	0.49	0.53	0.49	0.71	0.79	0.69	0.77	0.77	0.75	0.67	0.79					
	SFR4	0.50	0.58	0.50	0.58	0.91	0.83	0.87	0.90	0.93	0.95	0.81	0.93					
	SFR5	0.62	0.53	0.62	0.53	0.78	0.84	0.83	0.90	0.87	0.93	0.81	0.92					
	SFR6	0.55	0.44	0.55	0.44	0.93	0.84	1.00	0.90	1.00	0.88	1.00	0.93					
	SFR7	0.66	0.65	0.66	0.65	0.96	0.87	0.93	0.94	0.78	0.85	0.91	0.89					
	SFR8	0.39	0.38	0.39	0.38	0.69	0.68	0.55	0.68	0.52	0.61	0.55	0.63					
	SFR9	1.00	1.00	1.00	1.00	0.89	0.90	0.89	1.00	0.92	1.00	0.93	1.00					
	SFR10	0.85	0.77	0.85	0.77	0.90	1.00	0.93	0.97	0.73	0.88	0.88	0.95					
	SFR11	0.93	0.85	0.93	0.85	0.81	0.94	0.83	0.94	0.85	0.87	0.82	0.88					
	SFR12	0.65	0.60	0.65	0.60	0.81	0.88	0.83	0.85	0.90	0.84	0.78	0.89					
	SFR13	0.77	0.65	0.77	0.65	0.95	0.86	0.88	0.86	0.75	0.75	0.85	0.82					
	SFR14	0.75	0.68	0.75	0.68	0.80	0.85	0.79	0.87	0.91	0.80	0.83	0.84					
	SFR15	0.78	0.70	0.78	0.70	1.00	0.91	0.99	0.91	0.93	0.90	0.93	0.94					
	SFR16	0.09	0.15	0.09	0.15	0.47	0.49	0.46	0.50	0.26	0.48	0.38	0.46					
IF-E3	3.00	13.00	23.00	33.00	43.00	53.00	63.00	73.00	83.00	93.00	103.00	113.00						
Rangs	SFR1	0.36	0.35	0.38	0.35	0.37	0.49	0.49	0.61	0.30	0.74	0.32	0.68					
	SFR2	0.29	0.34	0.29	0.34	0.62	0.78	0.63	0.70	0.61	0.68	0.58	0.63					
	SFR3	0.41	0.55	0.42	0.56	0.81	0.81	0.76	1.00	0.62	0.70	0.42	0.74					
	SFR4	0.50	0.58	0.52	0.59	0.60	0.94	0.66	0.76	0.66	0.70	0.69	0.64					
	SFR5	0.46	0.54	0.48	0.55	0.85	0.87	0.82	0.91	0.67	0.67	0.50	0.69					
	SFR6	1.00	1.00	1.00	1.00	0.82	0.92	1.00	0.98	0.87	0.88	1.00	0.81					
	SFR7	0.65	0.66	0.66	0.67	0.69	0.98	0.75	0.77	0.83	0.77	0.76	0.73					
	SFR8	0.57	0.61	0.59	0.62	0.68	0.71	0.70	0.77	0.80	0.83	0.72	0.75					
	SFR9	0.55	0.61	0.59	0.63	0.54	0.88	0.47	0.65	0.63	0.80	0.73	0.76					
	SFR10	0.56	0.60	0.57	0.61	1.00	1.00	0.84	0.96	0.91	0.79	0.61	0.81					
	SFR11	0.72	0.83	0.72	0.83	0.92	0.94	0.77	0.93	0.87	0.92	0.72	0.91					
	SFR12	0.80	0.78	0.80	0.79	0.75	0.91	0.84	0.94	1.00	1.00	0.91	1.00					
	SFR13	0.81	0.82	0.83	0.81	0.66	0.91	0.70	0.79	0.82	0.79	0.76	0.72					
	SFR14	0.62	0.67	0.63	0.69	0.77	0.82	0.77	0.80	0.89	0.90	0.81	0.84					
	SFR15	0.87	0.90	0.86	0.89	0.69	0.98	0.54	0.77	0.76	0.95	0.92	0.89					
	SFR16	0.24	0.27	0.25	0.28	0.27	0.52	0.28	0.39	0.22	0.41	0.22	0.34					
IF-E4	4.00	14.00	24.00	34.00	44.00	54.00	64.00	74.00	84.00	94.00	104.00	114.00						
Rangs	SFR1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	0.96	0.92	0.96					
	SFR2	0.57	0.54	0.57	0.54	0.81	0.78	0.81	0.78	0.70	0.79	0.70	0.79					
	SFR3	0.99	0.98	0.99	0.98	0.96	0.95	0.96	0.95	0.84	0.93	0.84	0.93					
	SFR4	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.91	0.86	0.91	0.67	0.74	0.67	0.74					
	SFR5	0.79	0.80	0.79	0.80	0.83	0.85	0.83	0.85	0.74	0.85	0.74	0.85					
	SFR6	1.00	0.99	1.00	0.99	0.95	0.92	0.95	0.92	0.82	0.86	0.82	0.86					
	SFR7	0.88	0.86	0.88	0.86	0.90	0.88	0.90	0.88	0.76	0.80	0.76	0.80					
	SFR8	0.23	0.27	0.23	0.27	0.61	0.66	0.61	0.66	0.64	0.73	0.64	0.73					
	SFR9	0.89	0.88	0.89	0.88	0.94	0.95	0.94	0.95	0.86	0.94	0.86	0.94					
	SFR10	0.87	0.99	0.87	0.99	0.89	0.92	0.89	0.92	0.68	0.76	0.68	0.76					
	SFR11	0.81	0.78	0.81	0.78	0.84	0.85	0.84	0.85	0.75	0.74	0.75	0.74					
	SFR12	0.91	0.97	0.91	0.97	0.93	0.96	0.93	0.96	0.91	0.94	0.91	0.94					
	SFR13	0.83	0.86	0.83	0.86	0.96	0.95	0.96	0.95	0.91	0.97	0.91	0.97					
	SFR14	0.99	1.00	0.99	1.00	0.94	0.94	0.94	0.94	0.67	0.81	0.67	0.81					
	SFR15	0.88	0.88	0.88	0.88	0.80	0.83	0.80	0.83	0.70	0.74	0.70	0.74					
	SFR16	0.48	0.49	0.48	0.49	0.90	0.87	0.90	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00					
IF-E5	5.00	15.00	25.00	35.00	45.00	55.00	65.00	75.00	85.00	95.00	105.00	115.00						
Rangs	SFR1	0.30	0.50	0.24	0.50	0.47	0.69	0.37	0.73	0.07	0.56	0.14	0.56					
	SFR2	0.28	0.53	0.15	0.54	0.30	0.52	0.23	0.61									

Annexe 12 : Classements des SFR dans les indicateurs IF, IAA(IF) et IAA agronomiques.

CLASSEMENT PAR LES INDICATEURS AGRONOMIQUES																			
Type d'approche		Statistique		Statistique		Référence		Référence		Expert		Expert		Statistique		Statistique			
1. IDD		Fonctions		Fonctions		Fonctions		Fonctions		Fonctions		Fonctions		Sous-ensemble		Sous-ensemble			
Sélection		Conservation		Suppression		Suppression		Suppression		Suppression		Suppression		Stepdisc		Stepdisc			
3.Méthode		MDS1		MDS2		MDS3		MDS4		MDS5		MDS6		MDS7		MDS8			
Scoring		Non		Non		ACP		non		Expert		Non		Non		Stepdisc			
Pondération		MDSPa		MDSPb		MDSPc		MDSPd		MDSPe		MDSPf		MDSPg		MDSPh			
MDSP		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne			
Agréation		A1		A1'		A2		A2'		A3		A3'		A4		A4'			
Approche		A5		A5'		A6		A6'		A7		A7'		A8		A8'			
Rangs	IF-A1	SFR1	14	14	10	12	10	12	10	12	10	12	10	12					
	SFR2	11	11	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11					
	SFR3	12	12	13	14	13	14	13	14	13	14	13	14	13					
	SFR4	9	9	14	13	14	13	14	13	14	13	14	13	14					
	SFR5	13	13	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8					
	SFR6	10	10	5	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5					
	SFR7	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
	SFR8	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16					
	SFR9	7	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9					
	SFR10	6	7	12	11	11	11	11	11	11	12	11	12	11					
	SFR11	8	6	7	8	7	7	7	7	7	8	7	8	7					
	SFR12	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
	SFR13	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6					
	SFR14	4	4	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4					
	SFR15	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
	SFR16	16	16	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15					
	IF-A2		7	17	27	37	47	57	67	77	87	97	107	117					
Rangs	SFR1	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14					
	SFR2	8	5	2	6	2	5	2	6	2	6	2	6	2					
	SFR3	5	9	7	5	6	4	6	5	7	5	7	5	7					
	SFR4	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
	SFR5	11	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13					
	SFR6	12	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11	10	11					
	SFR7	9	6	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4					
	SFR8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15					
	SFR9	6	8	9	7	10	7	9	7	9	7	9	7	9					
	SFR10	7	4	6	4	7	6	7	4	6	4	6	4	6					
	SFR11	1	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5					
	SFR12	10	11	10	11	9	11	10	11	10	11	10	11	10					
	SFR13	4	7	8	9	8	9	8	9	8	9	8	9	8					
	SFR14	13	13	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12					
	SFR15	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
	SFR16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16					
	IF-A3		16	18	28	38	48	58	68	78	88	98	108	118					
Rangs	SFR1	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14					
	SFR2	12	12	11	11	12	12	5	12	9	10	9	10	9					
	SFR3	11	11	12	10	11	11	8	11	13	12	13	12	12					
	SFR4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
	SFR5	9	6	7	4	10	5	3	5	8	4	8	4	8					
	SFR6	13	13	13	13	13	13	4	13	12	13	12	13	13					
	SFR7	4	5	4	6	4	6	11	6	4	5	4	5	4					
	SFR8	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15					
	SFR9	6	4	3	3	3	3	6	3	2	2	2	2	2					
	SFR10	2	2	2	2	2	2	2	2	10	7	10	7	10					
	SFR11	10	8	9	8	8	8	9	8	6	9	6	9	6					
	SFR12	8	7	6	7	6	7	7	7	3	3	3	3	3					
	SFR13	7	10	8	9	7	9	10	9	11	11	11	11	11					
	SFR14	5	9	10	12	9	10	12	10	6	6	6	6	6					
	SFR15	3	3	5	5	5	4	13	4	5	8	5	8	5					
	SFR16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16					
	IF-A4		9	19	29	39	49	59	69	79	89	99	109	119					
Rangs	SFR1	14	15	15	16	4	15	5	15	16	15	15	16	15					
	SFR2	12	12	11	10	6	8	6	10	11	9	11	10	10					
	SFR3	9	9	13	13	8	9	9	9	13	13	13	13	13					
	SFR4	2	1	6	7	10	2	10	2	7	7	6	7	6					
	SFR5	5	5	14	14	3	11	3	13	14	14	14	14	14					
	SFR6	13	13	16	15	5	16	7	16	15	16	16	15	15					
	SFR7	7	8	7	9	15	10	16	8	6	10	7	9	9					
	SFR8	15	14	1	1	2	6	1	7	2	1	1	1	1					
	SFR9	3	3	4	4	9	3	8	3	4	4	4	4	4					
	SFR10	6	4	10	11	11	7	12	6	9	11	10	11	11					
	SFR11	11	10	9	8	14	13	15	12	12	8	9	8	8					
	SFR12	10	11	12	12	12	12	13	11	10	12	12	12	12					
	SFR13	8	7	8	6	13	4	14	4	8	6	8	6	8					
	SFR14	4	6	5	5	16	5	11	5	5	5	5	5	5					
	SFR15	1	2	3	3	7	1	4	1	3	2	3	3	3					
	SFR16	16	16	2	2	1	14	2	14	1	2	2	2	2					
	IF-A5		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120					
Rangs	SFR1	15	16	7	7	11	16	15	16	14	16	14	16	13					
	SFR2	12	14	10	11	3	15	14	14	14	15	14	15	14					
	SFR3	13	13	5	5	2	12	9	12	5	10	8	10	8					
	SFR4	5	9	6	6	7	11	12	11	12	12	13	12	12					
	SFR5	10	2	3	2	10	6	11	3	6	3	6	3	6					
	SFR6	11	12	4	4	5	14	10	9	11	4	3	4	3					
	SFR7	9	10	16	16	13	10	3	13	10	16	15	16	15					
	SFR8	14	11	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2					
	SFR9	3	6	11	10	8	5	16	4	9	7	11	9	11					
	SFR10	2	3	8	8	4	8	5	6	3	8	4	7	8					
	SFR11	4	7	13	15	14	9	13	10	4	9	7	8	8					
	SFR12	7	5	14	12	6	4	8	5	8	6	9	6	9					
	SFR13	6	8	9	13	15	7	7	8	13	11	10	11	10					
	SFR14	1	1	12	9	9	2	4	2	7	5	5	5	5					
	SFR15	8	4	15	14	12	3	6	7	15	13	12	14	14					
	SFR16	16	15	2	3	16	13	1	15	1	2	1	2	2					
	IAA		IF6-10	IA16-20	IF26-30	IF36-40	IF46-50	IF56-60	IF66-70	IF76-80	IF86-90	IF96-100	IF106-110	IF116-120	122	124	126	128	130
Rangs	SFR1	14	14	14	14	6	14	11	14	15	14	15	14	16	16	14	15	15	15
	SFR2	11	12	4	11														

Annexe 13 : Indices des SFR dans les indicateurs IF, IAA et IAA agronomiques.

INDICES NORMALISES DES INDICATEURS AGRONOMIQUES																		
Type d'approche	Statistique		Statistique		Référence		Référence		Expert		Statistique		Statistique		Statistique			
Sélection	1. JDD		Fonctions		Fonctions		Fonctions		Fonctions		Sous-ensemble		Sous-ensemble		Sous-ensemble			
	2. Correlations		Conservation		Suppression		Suppression		Suppression		Suppression		Suppression		Suppression			
	3. Méthode		Stepdisc		Stepdisc		wilcox		Expert		Stepdisc		Stepdisc		Conservation			
MDS	MDS1		MDS2		MDS3		MDS4		MDS5		MDS6		MDS7		MDS8			
Scoring	Secure		Secure		Ref		Ref		Secure		Secure		Secure		Secure			
Pondération	Non		Non		ACP		non		Expert		Non		Non		Stepdisc			
MDSP	MDSPa		MDSPb		MDSPc		MDSPd		MDSPe		MDSPf		MDSPg		MDSPh		MDSPi	
Agrégation	Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne		Médiane		Moyenne			
Approche	A1	A1'	A2	A2'	A3	A3'	A4	A4'	A5	A5'	A6	A6'	A7	A7'	A8	A8'	A9	A9'
IF-A1																		
Rangs	SFR1	0.53	0.51	0.48	0.48	0.68	0.68	0.68	0.68	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
	SFR2	0.64	0.63	0.47	0.49	0.68	0.69	0.68	0.69	0.47	0.49	0.47	0.49	0.47	0.49	0.47	0.49	0.47
	SFR3	0.64	0.63	0.44	0.44	0.66	0.66	0.66	0.66	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44
	SFR4	0.69	0.67	0.41	0.46	0.64	0.67	0.64	0.67	0.41	0.46	0.41	0.46	0.41	0.46	0.41	0.46	0.41
	SFR5	0.63	0.67	0.50	0.50	0.70	0.69	0.70	0.69	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	SFR6	0.65	0.65	0.59	0.65	0.75	0.78	0.75	0.78	0.59	0.65	0.59	0.65	0.59	0.65	0.59	0.65	0.59
	SFR7	1.00	0.97	0.96	0.98	0.98	0.99	0.98	0.99	0.96	0.98	0.96	0.98	0.96	0.98	0.96	0.98	0.96
	SFR8	0.13	0.16	0.02	0.02	0.40	0.40	0.40	0.40	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	SFR9	0.71	0.68	0.49	0.50	0.69	0.69	0.69	0.69	0.49	0.50	0.49	0.50	0.49	0.50	0.49	0.50	0.49
	SFR10	0.73	0.69	0.47	0.48	0.68	0.69	0.68	0.69	0.47	0.48	0.47	0.48	0.47	0.48	0.47	0.48	0.47
	SFR11	0.71	0.70	0.51	0.50	0.70	0.69	0.70	0.69	0.51	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50	0.51
	SFR12	0.93	0.90	0.86	0.87	0.91	0.92	0.91	0.92	0.86	0.87	0.86	0.87	0.86	0.87	0.86	0.87	0.86
	SFR13	0.73	0.72	0.58	0.60	0.75	0.76	0.75	0.76	0.58	0.60	0.58	0.60	0.58	0.60	0.58	0.60	0.58
	SFR14	0.76	0.74	0.59	0.58	0.75	0.74	0.75	0.74	0.59	0.58	0.59	0.58	0.59	0.58	0.59	0.58	0.59
	SFR15	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	SFR16	0.09	0.09	0.14	0.14	0.48	0.47	0.48	0.47	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
IF-A2																		
Rangs	SFR1	0.37	0.62	0.21	0.31	0.21	0.34	0.21	0.34	0.21	0.31	0.21	0.31	0.21	0.31	0.21	0.31	0.21
	SFR2	0.75	0.90	0.80	0.71	0.77	0.73	0.77	0.73	0.80	0.71	0.80	0.71	0.80	0.71	0.80	0.71	0.80
	SFR3	0.82	0.87	0.69	0.71	0.68	0.73	0.68	0.73	0.69	0.71	0.69	0.71	0.69	0.71	0.69	0.71	0.69
	SFR4	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	SFR5	0.63	0.79	0.40	0.49	0.38	0.51	0.38	0.51	0.40	0.49	0.40	0.49	0.40	0.49	0.40	0.49	0.40
	SFR6	0.58	0.83	0.55	0.57	0.53	0.59	0.54	0.59	0.55	0.57	0.55	0.57	0.55	0.57	0.55	0.57	0.55
	SFR7	0.75	0.89	0.74	0.68	0.74	0.70	0.74	0.70	0.74	0.68	0.74	0.68	0.74	0.68	0.74	0.68	0.74
	SFR8	0.24	0.24	0.16	0.19	0.20	0.22	0.20	0.22	0.16	0.19	0.16	0.19	0.16	0.19	0.16	0.19	0.16
	SFR9	0.79	0.88	0.57	0.69	0.54	0.71	0.55	0.71	0.57	0.69	0.57	0.69	0.57	0.69	0.57	0.69	0.57
	SFR10	0.79	0.93	0.70	0.72	0.66	0.73	0.67	0.73	0.70	0.72	0.70	0.72	0.70	0.72	0.70	0.72	0.70
	SFR11	1.00	0.99	0.71	0.88	0.71	0.90	0.71	0.90	0.71	0.88	0.71	0.88	0.71	0.88	0.71	0.88	0.71
	SFR12	0.64	0.82	0.56	0.54	0.55	0.57	0.55	0.56	0.56	0.54	0.56	0.54	0.56	0.54	0.56	0.54	0.56
	SFR13	0.86	0.89	0.65	0.67	0.61	0.68	0.62	0.68	0.65	0.67	0.65	0.67	0.65	0.67	0.65	0.67	0.65
	SFR14	0.50	0.75	0.49	0.52	0.48	0.54	0.48	0.54	0.49	0.52	0.49	0.52	0.49	0.52	0.49	0.52	0.49
	SFR15	0.90	0.94	0.74	0.78	0.74	0.79	0.74	0.79	0.74	0.78	0.74	0.78	0.74	0.78	0.74	0.78	0.74
	SFR16	0.07	0.08	0.04	0.06	0.05	0.10	0.04	0.10	0.04	0.06	0.04	0.06	0.04	0.06	0.04	0.06	0.04
IF-A3																		
Rangs	SFR1	0.43	0.53	0.48	0.54	0.55	0.60	0.74	0.62	0.73	0.72	0.73	0.72	0.73	0.72	0.73	0.72	0.73
	SFR2	0.66	0.78	0.66	0.77	0.66	0.81	0.83	0.81	0.89	0.87	0.89	0.87	0.89	0.87	0.89	0.87	0.89
	SFR3	0.67	0.79	0.64	0.78	0.69	0.82	0.81	0.82	0.80	0.85	0.80	0.85	0.80	0.85	0.80	0.85	0.80
	SFR4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	SFR5	0.74	0.88	0.71	0.84	0.71	0.88	0.86	0.88	0.89	0.95	0.89	0.95	0.89	0.95	0.89	0.95	0.89
	SFR6	0.60	0.73	0.64	0.72	0.62	0.76	0.84	0.77	0.82	0.84	0.82	0.84	0.82	0.84	0.82	0.84	0.82
	SFR7	0.81	0.89	0.74	0.82	0.79	0.87	0.79	0.87	0.93	0.94	0.93	0.94	0.93	0.94	0.93	0.94	0.93
	SFR8	0.23	0.31	0.20	0.32	0.42	0.43	0.54	0.45	0.55	0.58	0.55	0.58	0.55	0.58	0.55	0.58	0.55
	SFR9	0.79	0.90	0.75	0.86	0.81	0.90	0.82	0.89	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97
	SFR10	0.89	0.96	0.86	0.90	0.92	0.94	0.89	0.93	0.89	0.88	0.89	0.88	0.89	0.88	0.89	0.88	0.89
	SFR11	0.72	0.85	0.69	0.80	0.74	0.85	0.80	0.85	0.91	0.87	0.91	0.87	0.91	0.87	0.91	0.87	0.91
	SFR12	0.74	0.87	0.72	0.82	0.77	0.86	0.82	0.86	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	SFR13	0.74	0.84	0.70	0.80	0.76	0.84	0.80	0.84	0.83	0.86	0.83	0.86	0.83	0.86	0.83	0.86	0.83
	SFR14	0.80	0.85	0.68	0.77	0.73	0.83	0.78	0.83	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
	SFR15	0.81	0.91	0.74	0.83	0.79	0.89	0.77	0.88	0.92	0.88	0.92	0.88	0.92	0.88	0.92	0.88	0.92
	SFR16	0.08	0.16	0.15	0.19	0.26	0.28	0.24	0.32	0.14	0.44	0.14	0.44	0.14	0.44	0.14	0.44	0.14
IF-A4																		
Rangs	SFR1	0.40	0.47	0.42	0.46	0.98	0.83	0.81	0.82	0.38	0.50	0.42	0.46	0.42	0.46	0.42	0.46	0.42
	SFR2	0.67	0.74	0.59	0.66	0.94	0.89	0.73	0.89	0.62	0.69	0.59	0.66	0.59	0.66	0.59	0.66	0.59
	SFR3	0.78	0.79	0.54	0.59	0.91	0.89	0.70	0.89	0.58	0.63	0.54	0.59	0.54	0.59	0.54	0.59	0.54
	SFR4	1.00	1.00	0.75	0.71	0.84	0.98	0.68	0.98	0.73	0.78	0.75	0.71	0.78	0.75	0.71	0.78	0.75
	SFR5	0.92	0.88	0.49	0.54	0.98	0.89	0.82	0.88	0.46	0.57	0.49	0.54	0.49	0.54	0.49	0.54	0.49
	SFR6	0.58	0.64	0.37	0.47	0.94	0.82	0.72	0.82	0.40	0.45	0.37	0.47	0.37	0.47	0.37	0.47	0.37
	SFR7	0.80	0.83	0.70	0.66	0.78	0.89	0.60	0.89	0.80	0.68	0.70	0.66	0.70	0.66	0.70	0.66	0.70
	SFR8	0.20	0.56	1.00	1.00	1.00	0.93	1.00	0.91	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	SFR9	0.92	0.94	0.79	0.76	0.86	0.98	0.70	0.97	0.81	0.83	0.79	0.76	0.79	0.76	0.79	0.76	0.79
	SFR10	0.91	0.92	0.60	0.62	0.83	0.91	0.64	0.91	0.63	0.66	0.60	0.62	0.60	0.62	0.60	0.62	0.60
	SFR11	0.75	0.77	0.61	0.67	0.80	0.88	0.62	0.88	0.61	0.72	0.61	0.67	0.61	0.67	0.61	0.67	0.61
	SFR12	0.77	0.77	0.58	0.60	0.83	0.88	0.64	0.88	0.62	0.65	0.58	0.60	0.58	0.60	0.58	0.60	0.58
	SFR13	0.78	0.84	0.63	0.73	0.82	0.95	0.63	0.95	0.66	0.81	0.63	0.73	0.63	0.73	0.63	0.73	0.63
	SFR14	0.92	0.85	0.77	0.75	0.78	0.94	0.67	0.95	0.81	0.82	0.77	0.75	0.77	0.75	0.77	0.75	0.77
	SFR15	1.00	0.95	0.87	0.85	0.92	1.00	0.82	1.00	0.94	0.95	0.87	0.85	0.87	0.85	0.87	0.85	0.87
	SFR16	0.01	0.36	1.00	0.91	1.00	0.84	0.91	0.83	1.00	0.88	1.00	0.91	1.00	0.91	1.00	0.91	1.00
IF-A5																		
Rangs	SFR1	0.50	0.58	0.61	0.64	0.93	0.87	0.81	0.89	0.42	0.57	0.40	0.56	0.40	0.56	0.40	0.56	0.40
	SFR2	0.																

Annexe 14 : Classements des SFR dans chaque descripteur de perception paysanne ainsi que dans chacun des indicateurs PP1, PP2 et PP.

CLASSEMENT DES INDICATEURS DE PERCEPTION PAYSANNE																
Perception Agronomique des SFR					Perception Socio-économique des SFR										Perception paysanne	
Indicateurs non agrégés					Indicateur agrégé	Indicateurs non agrégés								Indicateur agrégé		Indicateur total
Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q1.5	PP1	Q2.1	Q2.1	Q2.3	Q2.4	Q2.5	Q2.6	Q2.7	Q2.8	PP2	PP	
Tige	Feuille	Couleur	Taille	Hauteur	Avec pondération	Accessibilité	Sol	Epadage	Usage	Bioagresseurs	Coût	Transport	Riz	Avec pondération	Avec pondération	
SFR1	12	14	6	13	14	14	4	10	10	14	15	2	2	15	14	14
SFR2	7	9	11	5	7	9	4	4	14	13	11	5	8	13	13	13
SFR3	10	6	6	9	11	7	3	13	10	8	14	9	10	5	8	8
SFR4	1	1	2	2	1	2	4	7	15	11	13	3	10	12	12	4
SFR5	12	8	4	7	12	8	9	7	16	3	9	4	16	9	9	10
SFR6	14	9	3	13	13	10	10	1	3	1	2	12	2	7	5	6
SFR7	2	2	1	1	2	1	12	9	13	7	10	16	15	6	10	1
SFR8	15	15	15	15	15	15	1	15	12	15	1	15	5	14	15	15
SFR9	7	9	13	9	8	11	8	6	9	4	8	7	7	8	6	9
SFR10	3	3	9	7	5	5	7	13	7	12	12	8	6	11	11	11
SFR11	7	12	14	12	8	13	11	3	5	8	7	6	14	10	7	12
SFR12	3	6	8	3	6	4	15	1	3	6	2	11	2	2	1	3
SFR13	5	3	4	4	3	3	12	5	2	2	6	13	8	4	3	2
SFR14	11	12	12	11	10	12	16	12	6	10	4	10	13	1	2	7
SFR15	6	5	9	5	3	6	14	11	7	5	4	13	10	3	4	5
SFR16	16	16	16	15	15	16	1	16	1	16	16	1	1	16	16	16

Annexe 15 : Indices des SFR dans chaque descripteur de perception paysanne ainsi que dans chacun des indicateurs PP1, PP2 et PP.

INDICES DES INDICATEURS DE PERCEPTION PAYSANNE																
Perception Agronomique des SFR					Perception Socio-économique des SFR										Perception paysanne	
Indicateurs non agrégés					Indicateur agrégé	Indicateurs non agrégés								Indicateur agrégé		Indicateur total
Q1.1	Q1.2	Q1.3	Q1.4	Q1.5	PP1	Q2.1	Q2.1	Q2.3	Q2.4	Q2.5	Q2.6	Q2.7	Q2.8	PP2	PP	
Tige	Feuille	Couleur	Taille	Hauteur	Avec pondération	Accessibilité	Sol	Epadage	Usage	Bioagresseurs	Coût	Transport	Riz	Avec pondération	Avec pondération	
SFR1	0,32	0,32	0,74	0,28	0,09	0,46	0,94	0,88	0,45	0,69	0,33	0,91	0,77	0,29	0,65	0,56
SFR2	0,62	0,59	0,55	0,66	0,51	0,60	0,94	0,95	0,18	0,74	0,50	0,77	0,38	0,34	0,66	0,63
SFR3	0,53	0,65	0,74	0,59	0,43	0,66	0,97	0,74	0,45	0,86	0,39	0,51	0,31	0,73	0,81	0,74
SFR4	1,00	1,00	0,90	0,97	1,00	0,97	0,94	0,90	0,09	0,79	0,44	0,86	0,31	0,42	0,68	0,82
SFR5	0,32	0,62	0,77	0,62	0,31	0,64	0,68	0,90	0,00	0,95	0,53	0,83	0,00	0,63	0,76	0,70
SFR6	0,29	0,59	0,84	0,28	0,23	0,59	0,50	1,00	0,82	1,00	0,81	0,29	0,77	0,65	0,90	0,74
SFR7	0,97	0,97	1,00	1,00	0,91	1,00	0,18	0,89	0,24	0,87	0,52	0,00	0,06	0,68	0,72	0,86
SFR8	0,06	0,15	0,29	0,00	0,00	0,16	1,00	0,21	0,27	0,55	1,00	0,14	0,69	0,31	0,47	0,31
SFR9	0,62	0,59	0,48	0,59	0,49	0,56	0,74	0,92	0,61	0,95	0,57	0,70	0,50	0,65	0,86	0,71
SFR10	0,76	0,74	0,65	0,62	0,74	0,70	0,80	0,74	0,64	0,76	0,47	0,63	0,54	0,47	0,71	0,70
SFR11	0,62	0,50	0,45	0,52	0,49	0,51	0,26	0,96	0,77	0,86	0,73	0,73	0,22	0,58	0,82	0,67
SFR12	0,76	0,65	0,71	0,76	0,71	0,71	0,01	1,00	0,82	0,90	0,81	0,31	0,77	0,93	1,00	0,86
SFR13	0,74	0,74	0,77	0,72	0,77	0,76	0,18	0,93	0,91	0,98	0,75	0,28	0,38	0,86	0,96	0,86
SFR14	0,47	0,50	0,52	0,55	0,46	0,52	0,00	0,85	0,71	0,83	0,78	0,31	0,25	1,00	0,96	0,74
SFR15	0,65	0,71	0,65	0,66	0,77	0,68	0,11	0,86	0,64	0,90	0,78	0,28	0,31	0,92	0,92	0,80
SFR16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,28	0,14

Annexe 18 : Corrélations entre les indicateurs écologiques (IAE(IF) et IAE) et agronomiques (IAA(IF) et IAA).

		IAA(IF)										IAA							
		IA6-10	IA16-20	IF26-30	IF36-40	IF46-50	IF56-60	IF66-70	IF76-80	IF86-90	IF96-100	IF106-110	IF116-120	122	124	126	128	130	132
IAE(IF)	IF1-5	0,79	0,81	0,69	0,76	0,46	0,77	0,73	0,77	0,54	0,77	0,62	0,77	0,81	0,77	0,65	0,76	0,66	0,81
	IF11-15	0,88	0,88	0,77	0,82	0,56	0,84	0,82	0,85	0,58	0,83	0,63	0,82	0,80	0,80	0,67	0,81	0,74	0,85
	IF21-25	0,80	0,81	0,69	0,75	0,45	0,76	0,77	0,76	0,53	0,76	0,59	0,76	0,81	0,77	0,68	0,76	0,67	0,81
	IF31-35	0,88	0,88	0,79	0,83	0,56	0,84	0,83	0,85	0,59	0,83	0,65	0,82	0,82	0,81	0,69	0,82	0,75	0,86
	IF41-45	0,84	0,83	0,73	0,76	0,55	0,79	0,78	0,79	0,46	0,74	0,57	0,71	0,69	0,69	0,67	0,68	0,68	0,72
	IF51-55	0,90	0,91	0,76	0,87	0,59	0,88	0,76	0,89	0,62	0,86	0,64	0,85	0,83	0,87	0,74	0,84	0,80	0,89
	IF61-65	0,69	0,71	0,61	0,70	0,42	0,71	0,70	0,70	0,48	0,66	0,55	0,68	0,57	0,57	0,39	0,61	0,41	0,60
	IF71-75	0,84	0,84	0,72	0,76	0,56	0,79	0,80	0,79	0,47	0,74	0,51	0,73	0,70	0,74	0,65	0,72	0,70	0,76
	IF81-85	0,85	0,86	0,70	0,78	0,57	0,80	0,72	0,81	0,48	0,79	0,61	0,75	0,81	0,84	0,69	0,76	0,75	0,81
	IF91-95	0,68	0,70	0,60	0,64	0,41	0,66	0,74	0,66	0,45	0,64	0,40	0,67	0,69	0,66	0,55	0,67	0,64	0,69
IF101-105	0,76	0,79	0,68	0,81	0,50	0,79	0,69	0,80	0,65	0,80	0,71	0,80	0,76	0,73	0,49	0,76	0,57	0,78	
IF111-115	0,78	0,80	0,68	0,73	0,48	0,75	0,79	0,75	0,52	0,73	0,50	0,74	0,75	0,74	0,62	0,74	0,69	0,77	
IAE	121	0,79	0,79	0,75	0,77	0,46	0,76	0,74	0,76	0,58	0,78	0,69	0,77	0,82	0,77	0,61	0,79	0,72	0,83
	123	0,86	0,86	0,77	0,83	0,53	0,84	0,77	0,84	0,65	0,84	0,68	0,84	0,84	0,82	0,69	0,85	0,77	0,90
	125	0,74	0,76	0,75	0,81	0,48	0,78	0,68	0,78	0,72	0,78	0,77	0,81	0,69	0,73	0,44	0,84	0,59	0,82
	127	0,85	0,86	0,76	0,82	0,49	0,83	0,79	0,83	0,62	0,83	0,68	0,83	0,84	0,83	0,69	0,85	0,74	0,88
	129	0,70	0,72	0,68	0,74	0,37	0,72	0,66	0,71	0,62	0,73	0,66	0,77	0,76	0,76	0,51	0,81	0,62	0,81
	131	0,87	0,89	0,79	0,87	0,51	0,87	0,80	0,87	0,69	0,87	0,74	0,88	0,86	0,86	0,70	0,89	0,73	0,90

Annexe 19 : Corrélations entre les indicateurs IF41 à IF45 de l'indicateur de référence de l'approche A (agrégation médiane) avec les indicateurs IFE1 à E5 des approches « statistique », « mixte » et « experte ».

Type d'approche			Statistique	Statistique	Mixte	Mixte	Expert	Expert	Expert	Expert
Sélection	1. JDD		Fonctions		Fonctions		Fonctions			
	2. Correlations		Conservation		Supression		Supression			
	3.Méthode		Stepdisc		Stepdisc		Expert			
MDS			MDS1		MDS2		MDS4			
Scoring			Secure		Secure		Secure			
Pondération			Non		Non		Expert		Non	
MDSP			MDSPa		MDSPb		MDSPe		MDSPf	
Agrégation			Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne
Approche			A1	A1'	A2	A2'	A5	A5'	A6	A6'
Nom de l'indicateur			IF1 à IF5	IF11 à IFF15	IF21 à IF25	IF31 à IF35	IF81 à IF85	IF91 à IF95	IF101 à IF105	IF111 à IF115
Méthode de référence (Obriot et al, 2016)	E1	IF41	0,91	0,93	0,91	0,93	0,83	0,91	0,93	0,93
	E2	IF42	0,76	0,74	0,76	0,74	0,81	0,83	0,94	0,88
	E3	IF43	0,48	0,58	0,48	0,59	0,81	0,55	0,48	0,68
	E4	IF44	0,79	0,76	0,79	0,76	0,63	0,68	0,63	0,68
	E5	IF45	0,78	0,76	0,78	0,69	0,66	0,86	0,60	0,87
Moyenne des corrélations			0,74	0,75	0,75	0,74	0,75	0,77	0,72	0,81

Annexe 20 : Corrélations entre les indicateurs IF46 à IF50 de l'indicateur de référence de l'approche A (agrégation médiane) avec les indicateurs IFA1 à A5 des approches « statistique », « mixte » et « expert ».

Type d'approche			Statistique	Statistique	Mixte	Mixte	Expert	Expert	Expert	Expert
Sélection	1. JDD		Fonctions		Fonctions		Fonctions			
	2. Correlations		Conservation		Supression		Supression			
	3.Méthode		Stepdisc		Stepdisc		Expert			
MDS			MDS1		MDS2		MDS4			
Scoring			Secure		Secure		Secure			
Pondération			Non		Non		Expert		Non	
MDSP			MDSPa		MDSPb		MDSPe		MDSPf	
Agrégation			Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne	Médiane	Moyenne
Approche			A1	A1'	A2	A2'	A5	A5'	A6	A6'
Type d'indicateur			IFA	IFA	IFA	IFA	IFA	IFA	IFA	IFA
Nom de l'indicateur			IF6 à IF10	IF16 à IFF20	IF26 à IF30	IF36 à IF40	IF86 à IF90	IF96 à IF100	IF106 à IF110	IF116 à IF120
A1	IF46		0,81	0,83	1,00	0,98	1,00	0,98	1,00	0,98
A2	IF47		0,83	0,92	0,99	0,90	0,99	0,90	0,99	0,90
A3	IF48		0,94	0,95	0,98	0,92	0,82	0,84	0,82	0,84
A4	IF19		-0,48	-0,45	-0,04	-0,03	-0,04	-0,02	-0,04	-0,03
A5	IF50		-0,08	-0,07	0,30	0,41	0,13	0,16	0,15	0,16
Moyenne des corrélations			0,40	0,44	0,65	0,64	0,58	0,57	0,59	0,57