Institut Agro Montpellier | Supagro
eRcane

Rapport de stage

Projet TERO : Etude de la fertilisation organique et du paillage

Etude des données secondaires relatives à l'enherbement

Analyse des données acquises entre 2014 et 2024

Par Julia Piccinini

Sous la direction d'Amélie Février et Marion Schwartz

Résumé

Dans le cadre du Projet de Développement Rural de l'île de la Réunion, financé par le FEADER, le projet TERO, mené par eRcane, a pour but de déterminer la valeur fertilisante en azote de chaque Mafor en contexte climatique tropical. L'île de la Réunion étant caractérisée par de multiples microclimats, quatre sites expérimentaux sont suivis pendant quatorze ans afin de rendre compte de leur pluralité. Dans le cadre des expérimentations mises en place dans le cadre du projet TERO, des suivis d'enherbement sont réalisés annuellement. Ce rapport a pour but de valoriser au mieux ces données secondaires pour apporter des éléments de compréhension de la réponse des communautés adventices en canne à sucre à une fertilisation organique ou par l'apport de Mafor comparativement à une fertilisation minérale. La structure des communautés est analysée par la méthode Non-parametric MultiDimensional Scaling (NMDS) afin d'appréhender les communautés du point de vue de leur composition spécifique. Les résultats montrent qu'un effet du temps est visible dans certains sites, indiquant une adaptation des communautés aux pratiques culturales dans leur ensemble. La fertilisation n'a pas d'impact majeur sur les compositions des communautés. Aucun effet n'a pu être mis en évidence concernant la richesse spécifique. Pour les résultats concernant l'effet du paillage, les communautés des parcelles paillées se différencient de celles non-paillées par une plus grande diversité, bien qu'elles restent très proches en termes de composition.

Mots clefs : adventices, canne, enherbement, communautés, paillage, fertilisation, MAFOR

Table des matières

1 Glossaire **4**

2 Introduction **5**

3 Matériels et méthodes **7**

3.1 Echantillonnage de terrain : design du projet TERO 7

3.1.1 Description des différents sites 7

3.1.2 Description des différentes modalités de fertilisation 8

3.1.3 Description des différentes modalités de paillage 9

3.1.4 Gestion et suivi de l'enherbement 9

3.2 Analyse statistique 10

3.2.1 Mise en forme des données et description des variables 10

3.2.2 Description de la méthode de visualisation de données multivariées : NMDS 10

3.2.3 Représentation graphique et construction des ellipses 11

3.2.4 Description de la méthode statistique pour repérer les différences entre modalité : PERMANOVA 11

3.2.5 Test non-paramétrique pour tester l'effet de la paille sur le recouvrement 12

4 Résultats **12**

4.1 Résultats relatifs aux effets des Mafor 12

4.1.1 Le site a un effet sur les communautés adventices 12

4.1.2 Les pratiques semblent sélectionner la flore au cours du temps 13

4.1.3 La richesse spécifique diminue au cours du temps et le type de fertilisation n'a pas d'effet 15

4.1.4 Les pratiques culturales et dans certains cas la fertilisation, ont un effet sur la structure des communautés adventices au cours du temps 16

4.2 Résultats relatifs aux effet du paillage 18

4.2.1 La composition des communautés est influencée par le paillage 18

4.2.2 La richesse spécifique n'est pas influencée par le paillage . . . 18

4.2.3 Le recouvrement n'est pas influencé par le paillage 20

5 Discussion **20**

5.1 L'effet de la fertilisation n'a pas un rôle structurant pour les communautés adventices des systèmes canniers très perturbés 20

5.2 La paille a un effet sur la structure des communautés adventices . . . 21

5.3 Perspectives 22

6 Conclusion **23**

Appendices **25**

A Figures **30**
A.1 Plan 30
A.2 Stressplot 33
A.3 Boxplot du recouvrement global 35

B Tableaux **35**
B.1 Matériel et méthode 35
B.2 Analyse de variance pour le modèle linéaire généralisé de la richesse spécifique expliquée par la fertilisation et la champs 36
B.3 Résultats des tests de PERMANOVA 36
B.4 Tableau des doses de mafor 38

1 Glossaire

Richesse spécifique : nombre d'espèces différentes d'une communauté

Mafor : Matière fertilisante d'origine résiduaire

NMDS : Non-parametric Multi-Dimensional Scaling, méthode de visualisation de données

Adventice : Plante apparaissant spontanément dans un agrosystème

Communauté : Ensemble d'individus de différentes espèces en interactions dans un espace-temps donné

RITA : Réseau d'Innovation et de Transfert Agricole

Stratégies C-S-R : Système de stratégies mis-en-place par Grime, qui définit trois grands types de stratégie de croissance/reproduction mise en place par les végétaux en fonction de leur environnement biotique et abiotique. On distingue trois stratégies : Compétitive (C), Stress-tolérante (S) et Rudérale (R).

2 Introduction

Le terme "adventice" possède des définitions multiples qui ont longtemps été débattues (Bopp, 2023). Une définition consensuelle pourrait-être : un plante poussant spontanément dans un environnement modifié par l'homme (Bourgeois et al., 2019; Godinho, 1984). Grime, 1977 décrit trois statégies principales adoptées par les végétaux : la stratégie compétitrice, la stratégie stress-tolérante et la stratégie rudérale, dans laquelle on peut classer les adventices. Ces stratégies ne sont pas hermétiques et plusieurs stratégies peuvent être mises en place par des plantes selon le contexte. La stratégie rudérale est adoptée par des plantes subissants des perturbations. Une pertubation est définie comme un évènement stochastique détruisant partiellement ou dans sa globalité la biomasse de l'individu, comme par exemple un feu de fôret, un animal qui pâture ou un passage de tracteur (Grime, 1977).

A La Réunion en culture de canne à sucre, les adventices sont le premier facteur de perte de rendement (Marnotte & Marion, 1991). Il est donc primordial de les étudier et mieux les comprendre afin de réduire les pertes de rendements. En effet, les adventices tropicales sont des plantes très compétitives de la canne à sucre car le climat humide et chaud favorise une croissance prospère et rapide tout au long de l'année (Ibrahim, 1984). Certaines lianes comme les *Ipomoea* ou certaines *Poaceae* comme la fataque sont responsables de pertes de rendement importante (Marnotte & Marion, 1991).

Les études concernant l'effet des pratiques de désherbage sur les communautés d'adventices se sont multipliées (Fried et al., 2019; Garside & Bell, 2011; Judice et al., 2007). Par exemple, Fried et al., 2012 ont montré que les herbicides ont tendance à filtrer les espèces avec une germination et une date de floraison tardive alors que le travail du sol filtre plutôt selon le mode de dispersion des graines ou la taille de la plante.

L'impact de la fertilisation sur les communautés a été également étudié même si les études en milieux tropicaux restent en marge (Sánchez-Sabando et al., 2024; Tang et al., 2014). C'est un enjeu majeur étant donné que la fertilisation a tendance à favoriser la compétition entre la culture et les adventices (Buhler, 2002). En effet, le modèle C-S-R mis en place par Grime, stipule que les plantes adaptées aux habitats peu stressés et/ou peu perturbés sont très compétitives (Grime, 1977). Tang et al., 2014 ont montré qu'une fertilisation équilibrée en N, P et K était plus efficace pour inhiber la croissance des communautés adventices quand une fertilisation P, K la favorisait. La fertilisation peut également favoriser dans certains cas l'apparition de certaines espèces (Baskin & Baskin, 2014; Harper et al., 1965; Sardi & Beres, 1996). En effet, les amendements favorisent les adventices les plus compétitives dans des conditions de haute fertilité (J. P. Grime & Hunt, 1975). Pyšek et Lepš, 1991 ont montré que la dose et le type de fertilisant ont tout les deux un impact sur la composition des communautés adventices, que ce soit un effet direct ou indirect, par l'augmentation de la compétition pour les ressources.

Le type de fertilisant, notamment la différence entre des fertilisants minéraux et organiques, a également été étudiée (Major et al., 2005). Dans de bonnes conditions, un fertilisant organique peut même favoriser la croissance de la culture plus efficacement

qu'un fertilisant inorganique, en réduisant la compétition adventice-culture (Ghosh et al., 2022). Les fertilisants organiques ont également été étudiés et De Cauwer et al., 2011 a montré qu'un composte organique avec un ratio $C : N$ élevé et une faible activité microbienne favorisent une densité importante du stock de graines. Les différences interspécifiques pourraient-être expliquées par une résistance variable à la dégradation microbienne. D'autres études comme celles de Major et al., 2005 ont démontré que l'ajout de charbon n'a aucun impact sur la densité ou la richesse spécifique, mais qu'un effet synergique se produit dans le cas d'une application couplée à un fertilisant inorganique.

A La Réunion, l'utilisation d'amendement organique est particulièrement pertinente. En effet, l'application de fertilisants directement disponibles sur l'île permet de réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre liés à la fabrication et au transport (Chojnacka et al., 2019; Schlegel et al., 1996). De plus, dans le contexte actuel mondial de pénurie de matières premières, nécessaires à la fabrication d'engrais, privilégier une gestion intégrée des ressources et valoriser des déchêts industriels ou urbains est primordial (Schvartz et al., 2005). Par exemple, les Mafor (MAtières Fertilisantes d'Origine Résiduaire), déchets organiques issus de la filière élevage, agro-industrielle ou des déchets urbains, ont un potentiel de fertilisation important et pourraient être mieux valorisées.

L'usage de fertilisants minéraux est majoritaire en canne à sucre sur l'île de La Réunion (DAAF de la Réunion, 2025). Bien que d'autres fertilisants existent, les planteurs semblent réticents à l'idée d'utiliser ces méthodes alternatives, notamment car leur efficacité et leur impact sur l'enherbement ont été peu étudiés dans les conditions pédo-climatiques tropicales typiques de La Réunion. En effet, les références d'efficience d'utilisation de l'azote ne sont pour l'instant issues que de travaux réalisés en métropole et sont en cours d'actualisation avec des références réunionnaises.

De plus, les planteurs doivent se heurter à de nombreux problèmes techniques, notamment concernant l'épandage qui demande plus de moyens mécaniques pour apporter une quantité suffisante afin de subvenir aux besoins de la culture (Schvartz et al., 2005), dans la mesure où la quantité de fertilisant organique à apporter est bien suppérieure à celle d'un fertilisant minéral.

Comprendre comment la fertilisation par les Mafor modifie ou non la structure des communautés d'adventices au cours du temps par rapport à une fertilisation minérale permettrait de conseiller au mieux les agriculteurs quant au type d'amendement à utiliser selon leurs besoins et aux ajustements des pratiques de désherbage à réaliser selon la flore adventice présente au champ.

Afin de répondre à cette problématique, des données d'enherbement ont été récoltées sur quatre sites expérimentaux présentant des contextes pédo-climatiques différents. Sur chaque site, trois réplicats par type de fertilisation ont été suivis et huit modalités de fertilisation ont été testées.

3 Matériels et méthodes

3.1 Echantillonnage de terrain : design du projet TERO

Comme introduit précédemment, le projet TERO vise à étudier l'efficience azotée de huit Mafor sur l'ensemble de l'île de La Réunion. L'objectif étant de répérer un effet à long terme d'un apport répété de chaque fertilisant, chaque parcelle est suivie pendant une période de quatorze ans. Ce design permet, de par sa durée, de prendre en compte l'effet d'un apport prolongé de fertilisant organique sur la fertilité du sol. La canne étant une culture semi-pérenne replantée tous les sept ans selon les recommandations du RITA canne, ce design permet de suivre deux cycles de plantation et de prendre en compte l'année de plantation et les repousses dans l'analyse.

3.1.1 Description des différents sites

L'île de La Réunion se caractérise par une topologie, des microclimats et des sols variés. Afin d'en tenir compte et d'avoir une vision globale représentative de la diversité des conditions pédoclimatiques de l'île, quatre sites d'expérimentations ont été mis en place (Cf.Figure 1). Les sites sont répartis le long d'un gradient de sol, d'altitude et de pluviométrie. Les variétés de cannes cultivées sont celles préconisées par eRcane au vu des conditions pédoclimatiques de chaque site. L'Annexe B.4 résume l'ensemble des caractéristiques de chaque site.

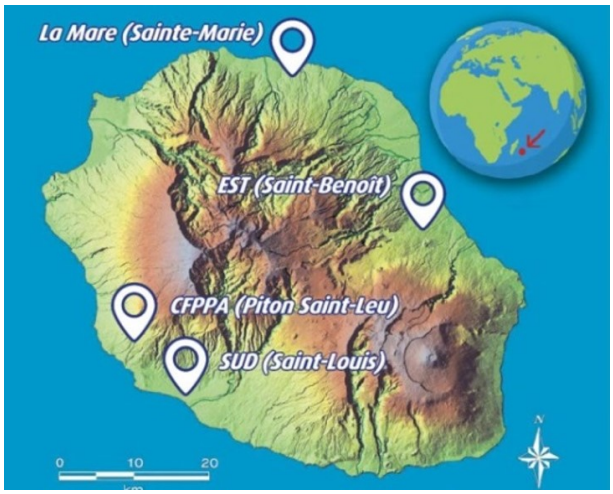


FIGURE 1 – Parcelles d'expérimentation suivies dans le cadre du projet TERO

Chaque site est échantillonné, une fois par an, pendant sept ans. Le site de La Mare, de par sa proximité géographique avec les bureaux de La Bretagne d'eRcane, est suivi de manière très régulière et aucune donnée n'est manquante. Les sites CFPPA et SUD n'ont été respectivement échantillonnés que pour les années 3, 5 et 7 et 2, 6 et 7. Concernant l'EST, la parcelle a été relativement peu suivie, ces données seront donc analysées avec parcimonie et parfois écartées quand la pertinence de l'analyse sera menacée.

Les communautés adventices seront étudiées, premièrement indifféremment du site,

puis une approche site par site sera mise en place. En effet, les échantillons étant déséquilibrés, le site de La Mare influence majoritairement le jeu de données.

3.1.2 Description des différentes modalités de fertilisation

Dans le cadre du projet TERO, de nombreuses modalités d'apports azotés sont testées. On compte sept modalités d'apports d'engrais minéraux et vingt-deux modalités d'apports de Mafor au total. Ces modalités de fertilisation sont le croisement entre des types de matières fertilisantes, une dose apportée et une fréquence (annuelle, biennale, triennale). Nous avons sélectionné pour cette analyse les modalités constantes, où la dose d'engrais apportée est la même chaque année. Concernant la fertilisation minérale, on conserve la modalité 1,5 X qui sert de témoin et correspond à 150% de la dose d'azote à apporter à la culture pour couvrir 100% de ses besoins selon Serdaf[1]. Contrairement aux autres modalités d'apport de fertilisants minéraux, la modalité 1,5X est apportée chaque année dans les mêmes quantités.

Pour les matières fertilisantes organiques, huit Mafor différentes sont testées dans différentes quantités et fréquences d'apports. On conserve celles dont l'apport est constant et régulier afin d'avoir des données comparables entre elles.

Les Mafor sont apportés tous les ans à la même dose. La dose d'urée peut varier car la dose recommandée peut légèrement varier d'année en année. Le Tableau 1 décrit l'ensemble des modalités testées.

Nature	Abréviation	Description
Minérale	1,5X	1.5 fois la dose X en azote recommandée pour couvrir 100% des besoins de la culture
Organique	Ecum	Ecume de sucrerie
Organique	CDV	Compost de déchêts verts
Organique	BS	Boues de STEP
Organique	CP	Engrais organique de Camp Pierrot
Organique	LV	Litière de volaille
Organique	LP	Lisier de porc
Organique	FPG	Fiente de poule pondeuses en granulés
Organique	DM	Digestats de méthanisation

TABLE 1 – Modalités de fertilisation

Chaque site est sub-divisé en micro-parcelles, dont le nombre varie selon les contraintes de terrain. De 4 à 7 de modalités de fertilisation sont testées sur chaque site. Chaque modalité est répétée trois fois par site d'expérimentation. La taille des micro-parcelles varie selon les contraintes et la surface du site d'expérimentation, mais sa superficie minimum est de $75m^2$.

1. Serdaf est un outil de diagnostic et d'aide à la fertilisation, "Système d'Expert Réunionnais d'Aide à la Fertilisation

Pour chaque site, des relevés de sol ont été réalisés dans chaque micro-parcelle afin de définir une carte des teneurs en azote. Ainsi trois groupes sont définis par site :

— Bloc 1 : Forte teneur en azote
— Bloc 2 : Teneur moyenne
— Bloc 3 : Faible teneur

Les trois répétitions par modalité sont réparties entre les trois groupes de teneur en azote. Une répétition d'une modalité de fertilisation est répartie par bloc. Au sein d'un bloc, les micro-parcelles sont randomisées (Cf. Annexe A.1).

Un apport en phosphore et potassium est également réalisé, sous forme d'engrais minéraux, pour compléter les recommandations des doses Serdaf.

3.1.3 Description des différentes modalités de paillage

Pour étudier l'effet du paillage sur les communautés d'adventices, on séléctionne les micro-parcelles avec le traitement minéral "0 - 0.9". Cette modalité correspond à une application alternée d'azote de 0.9 fois la dose recommandée avec 0 fois la dose recommandée en azote, une année sur deux.

Pour cette modalité la dose d'azote qui est appliquée une année sur deux varie selon les recommandations Serdaf.

La moitié des micro-parcelles n'a pas de paillage et l'autre moitié est paillée une fois par an après la récolte.

3.1.4 Gestion et suivi de l'enherbement

La canne est récoltée à mâturité tous les 12 mois mais les dates de coupes diffèrent entre les sites en raison de contraintes techniques et des variations pedoclimatiques.

Les parcelles sont désherbées deux à trois fois par an. D'abord avec un herbicide de pré-levée, puis un ou deux herbicides de post-levée sont appliqués selon l'enherbement. Dès que le seuil de 30% de recouvrement est atteint, une intervention est programmée pour maintenir un niveau d'enherbement relativement bas. Un désherbage manuel peut également être nécessaire dans certains cas.

Les relevés spécifiques sont réalisés juste avant le passage du premier herbicide de post-levée. L'outil Plantnet qui permet d'identifier des plantes, ou la plateforme collaborative de partage de connaissances et d'aide à l'identification Wiktrop peuvent être utilisés pour reconnaître certaines espèces peu fréquentes.

Pour chaque notation de terrain, on relève le recouvrement global et le recouvrement par espèce. Une échelle de notation logarithmique allant de 1 à 9 est utilisée pour estimer le recouvrement et est détaillée dans l'Annexe B.5.

3.2 Analyse statistique

3.2.1 Mise en forme des données et description des variables

Le tableau de données des relevés par espèce contient les variables suivantes :

- **PE** : Le code de la micro-parcelle d'expérimentation (qualitative)
- **annee** : Le numéro de l'année dans le cycle, de 1 à 7 (donnée temporelle quantitative discrète)
- **code** : Le code EPPO de l'espèce (qualitative)
- **date** : La date à laquelle le relevé a été réalisé (qualitative)
- **modalite** : La dose de fertilisant apportée, donnant une indication de dose et de fréquence d'apport (qualitative)
- **champs** : Le nom du site (qualitative)
- **bloc** : Le numéro du bloc (qualitative)
- **recouvrement** : La valeur de recouvrement allant de 1 à 9 selon une échelle logarithmique détaillée dans l'Annexe B.5 (quantitative)

La variable recouvrement est reconvertie en pourcentage pour le reste de l'analyse, afin de faciliter l'interprétation et pour appliquer la méthode de visualisation.

Un tableau similaire pour les données de recouvrement global est construit.

3.2.2 Description de la méthode de visualisation de données multivariées : NMDS

La NMDS est une technique d'ordination basée sur les distances entre points.

Une technique d'ordination est une méthode statistique (descriptive) utilisée très largement en écologie pour analyser et visualiser des données multivariées, dont l'objectif est de réduire leur complexité en les représentant dans un espace de dimensions inférieures, tout en préservant autant que possible les relations entre les observations.

Dans une NMDS, ce ne sont pas les distances entre les unités d'échantillonage qui sont représentées et l'objectif n'est pas de maximiser la variance entre les points comme avec une Analyse en Composantes Principales. Ici, la règle de décision est la suivante : on place les points de telle sorte que les distances entre unités d'échantillonnage représentées dans un espace d'ordination soient classées dans le même ordre, c'est-à-dire aient le même rang que les distances réellement observées.

L'objectif est de représenter en deux ou trois dimensions les unités d'échantillonage, en faisant en sorte que les échantillons qui se ressemblent soient proches dans l'espace et ceux qui ne se ressemblent pas soient loins.

Prenons l'exemple des données d'enherbement TERO pour comprendre l'intérêt de la méthode. Pour chaque site d'expérimentation, on a un relevé des pourcentages de recouvrement par espèce. Nous voulons ici comparer les sites en fonction de la composition des communautés. Pour cela, nous allons représenter les sites dans un espace à n dimensions, n étant égal au nombre d'espèce.

Grâce à cette méthode, on obtient un graphique en deux dimensions, sur lequel sont représentées les espèces (les variables) et les communautés (les observations). Les points proches se ressemblent. Cette méthode permet de qualifier comparativement les communautés les unes par rapport aux autres. De plus, une communauté proche d'une espèce dans l'espace est très influencée par elle. On peut donc avoir une idée de la composition et l'impact de chaque variable sur chaque observation.

Afin de réaliser la NMDS, les données sont traitées sous R avec la fonction `metaMDS()` du package `vegan`. Les paramètres de l'analyse sont les suivants :

— Nombre de dimensions = 2
— Distance = "bray", pour distance de Bray-Curtis
— Nombre maximal d'itérations = 400

Un autre document détaillant intégralement le fonctionnement de la méthode est disponible.

Pour les sites CFPPA et SUD, on a choisit une représentation en deux dimensions qui suffit à obtenir un stress acceptable. Pour le site de La Mare qui est plus complexe, on choisit de réaliser la représentation en trois dimensions pour minimiser le stress.

Le stress en un critère permettant de déterminer si la représentation graphique est fidèle à la réalité ou non. Le stress mesure la qualité de l'ajustement qui a été réalisé. On souhaite le minimiser et le maintenir sous le seuil de 20% au dessus duquel on considère que la représentation est mauvaise.

3.2.3 Représentation graphique et construction des ellipses

Les ellipses, permettant de visualiser la variabilité des données, ont été construites à l'aide la fonction `veganCovEllipses` disponible en dans le document complémentaire détaillant la méthode statistique.

Cette fonction est utilisée pour calculer les coordonnées d'une ellipse en se basant sur une matrice de covariance. Cette ellipse représente la distribution des points autour d'un centre donné.

3.2.4 Description de la méthode statistique pour repérer les différences entre modalité : PERMANOVA

Pour tester statistiquement les différences entre les groupes, on utilise une PERMANOVA. La PERmutational Multivariate ANalysis Of VAriance (PERMANOVA) est un test non-paramétrique. Cette méthode élabore des statistiques de test similaires à celles de l'ANOVA à partir d'une matrice de ressemblances (distances, dissimilarités, similarités) calculées entre les unités d'échantillonnage. On obtient des p-values en permutant aléatoirement les observations entre les groupes.

Elle est utilisée pour comparer des groupes d'individus pour des données multivariées. Dans ce cas, il est probable que les hypothèses de l'ANOVA classique ne soient pas respectées. L'hypothèse nulle à tester est : **"Les centroïdes des groupes sont équivalents"**. Si H_0 est vraie alors les différences observées entre les centroïdes d'un jeu de

données sont uniquement dus au hasard et on obtiendrait le même résultat si les individus étaient aléatoirement alloués à un groupe.

Dans notre cas, on cherche à savoir si on observe un effet de l'année ou du mode de fertilisation ou les deux sur le recouvrement.

$$Matrix_{recouvrement} \sim Annee + Fertilisation + Annee * Fertilisation$$

Pour réaliser ce test, on utilise la fonction `adonis()` avec les paramètres `"bray"` pour le type de distance calculé, `permutation = 999` et on précise `by = "term"` pour tester le modèle avec interaction et pas seulement les effets simples (qui est le paramètre par défaut).

3.2.5 Test non-paramétrique pour tester l'effet de la paille sur le recouvrement

Après avoir exploré la distribution des données, la normalité n'étant pas repectée, un test non-paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisé pour mettre en évidence un potentiel effet de la paille sur le recouvrement global.

4 Résultats

4.1 Résultats relatifs aux effets des Mafor

4.1.1 Le site a un effet sur les communautés adventices

Afin de comparer les espèces présentes sur les différents sites, des diagrammes d'infestation sont construits (Figure 2). La ligne horizontale (bleu) et verticale (rouge) permettent de repérer les quatre catégories d'adventices :

- les majeures générales (rouge) : recouvrement et fréquence importante
- les majeures locales (vert) : recouvrement important, fréquence faible
- les mineures générales (bleu) : recouvrement faible, fréquence importante (aucune espèce dans cette catégorie)
- les mineures (violet) : recouvrement et fréquence faible

Pour le site de La Mare, deux espèces ressortent comme majeures générales : le *Cyperus rotundus* et l'*Euphorbia heterophylla*. Les espèces comme *Litsea glutinosa*, *Ricinus communis* ou *Mimosa diplotricha* sont les espèces majeures du site. Au CFPPA, aucune espèce ne rentre dans la catégorie des majeures générales. On retrouve le *Cyperus rotondus* et l'*Euphorbia heterophylla* comme espèces majeures mais également le *Cynodon dactylon*, deux *Paspalum* et deux *Oxalis*. A l'EST, par manque de relevés, le diagramme est assez simple à lire. Aucune espèce d'adventice majeure générale n'est mise en évidence. On retrouve les *Paspalum* en espèces d'adventices majeures et le *Sorghum arundinaceum*. Dans le SUD, on constate également une absence d'espèce majeure générale mais on a

une plus grande diversité d'espèces majeures avec toujours *Cyperus rontundus*, *Euphorbia heterophylla*, *Cynodon dactylon*. La particularité du SUD est de présenter une liane *Ipomoea obscura* comme espèce majeure.

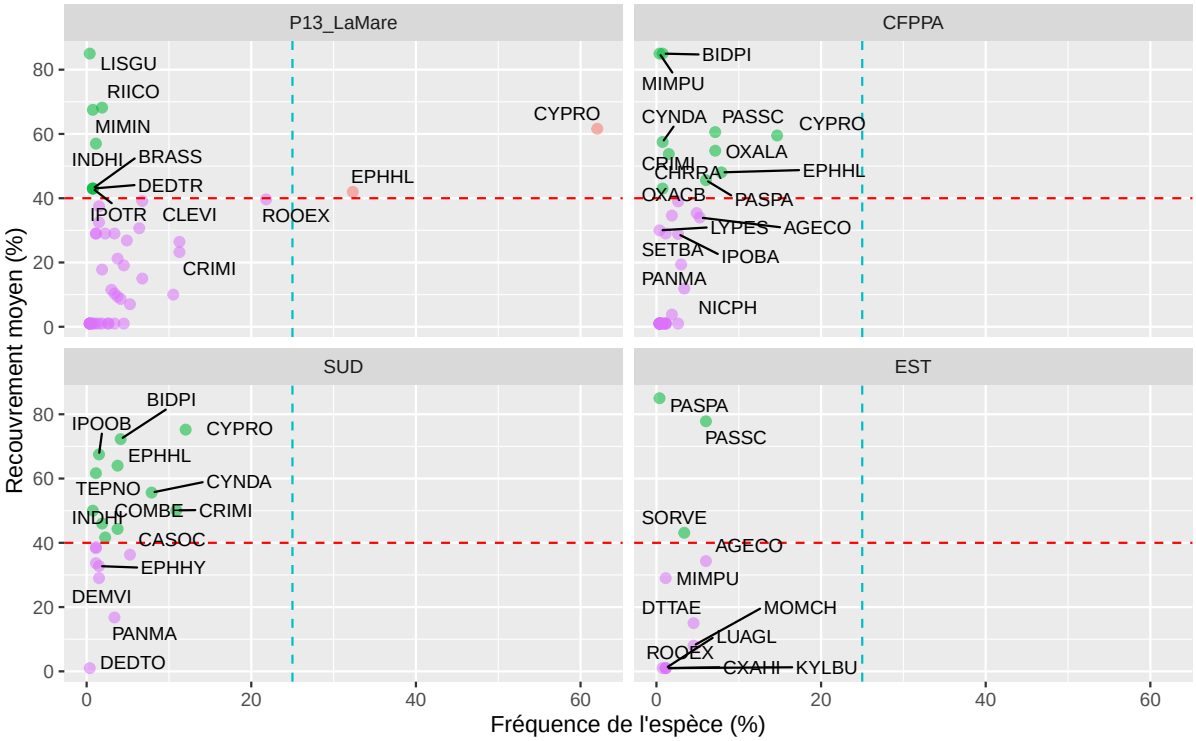


FIGURE 2 – Diagramme d'infestation par site d'expérimentation, toutes années confondues

Bien que certaines espèces très communes reviennent d'un site à l'autre, on repère tout de même des différences entre sites en termes de composition de la flore. On fait l'hypothèse que l'effet de la fertilisation est faible comparé à l'effet du site, et par la suite, l'étude se fera site par site afin de mettre en évidence un potentiel effet de la fertilisation. De plus, la puissance d'échantillonnage étant différente entre les sites, cela complexifierait l'analyse statistique.

4.1.2 Les pratiques semblent sélectionner la flore au cours du temps

Pour tous les sites, entre le début et la fin de l'expérimentation, la richesse spécifique, c'est-à-dire le nombre d'espèces, semble diminuer. Notamment, le nombre d'espèces mineures locales semble le plus touché.

A la Mare (Figure 3.A), l'*Euphorbia heterophylla* qui était une espèce majeure générale est passée dans la catégorie des majeures locales, espèces moins présentes mais très couvrantes. Le *Cyperus rotundus* est passé de la catégorie des mineures générales à majeures locales. Les pratiques dans leur globalité semblent avoir sélectionné une flore plus spécifique et moins diversifiée. Les espèces capables de résister à une telle pression de sélection sont donc dans une moindre mesure soumises à la compétition avec d'autres

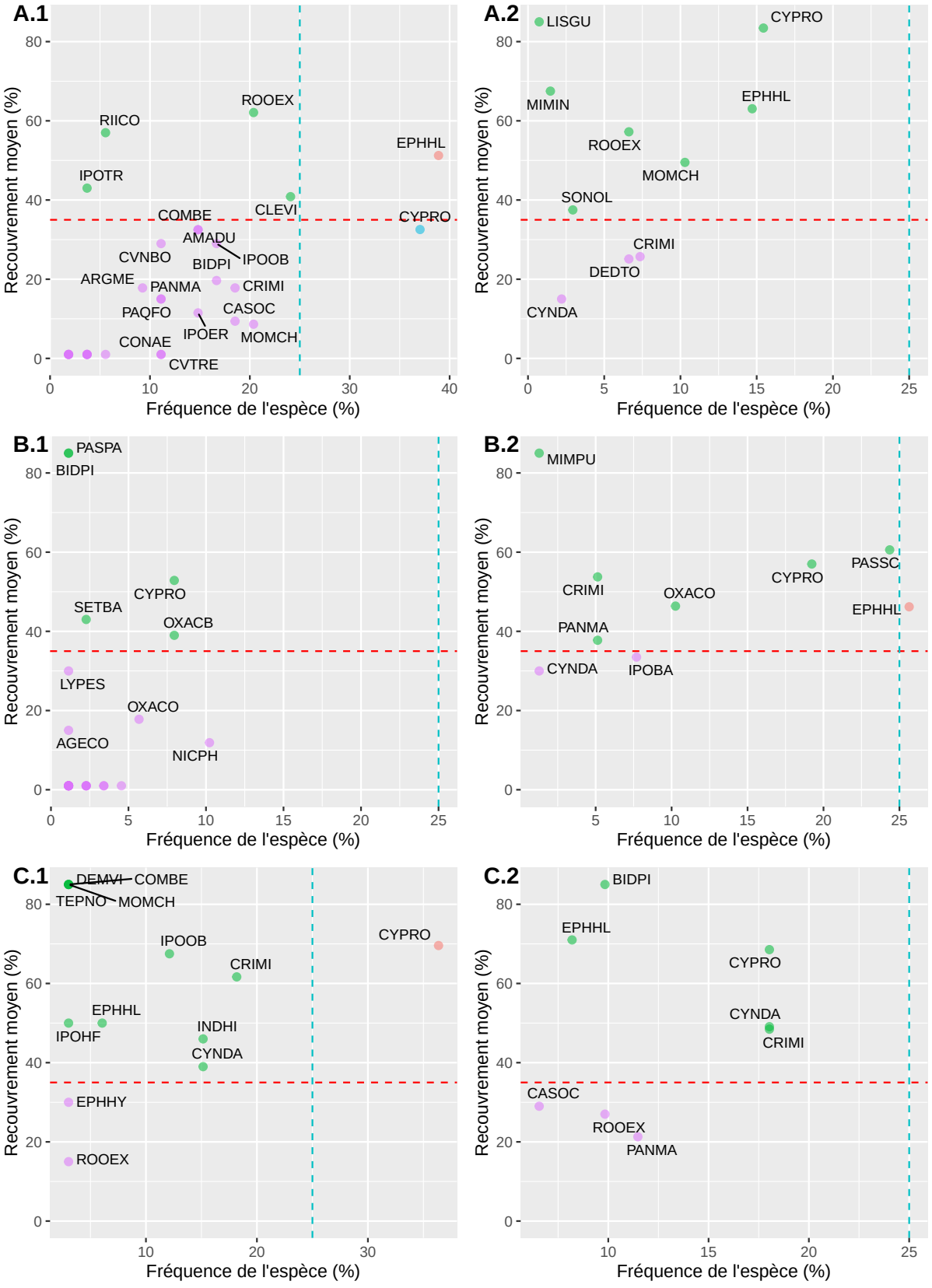


FIGURE 3 – Diagramme d'infestation par site d'expérimentation (A.) La Mare, (B.) CFPPA et (C.) SUD pour deux périodes (.1) Première année de relevé et (.2) Dernière année de relevé

espèces et sont plus couvrantes.

Au CFPPA (Figure 3.B), on observe une tendance similaire à la baisse de la richesse avec très peu d'espèces mineures locales. On a également trois espèces qui sont devenues majoritaires : le *Cyperus rotundus*, une espèce de *Paspapalum* et l'*Euphorbia heterophylla*.

Au SUD (Figure 3.C), on observe également cette tendance à la baisse de la richesse. Le résultat est plus nuancé concernant les espèces devenues majoritaires : le *Cyperus rotondus* est également devenu une espèce majoritaire locale donc moins présente qu'en début d'expérimentation.

Afin de vérifier l'effet potentiel des pratiques au cours du temps sur la flore adventice, les prochaines parties investigueront respectivement l'effet de ces variables sur la richesse et sur la composition des communautés. Le site EST n'est pas commenté dans la suite de ce rapport et a été écarté de l'analyse au vu de la structure des données. La précision des mesures et la quantité trop faible de relevés n'ont pas permis d'appliquer la méthode de visualisation afin d'obtenir des résultats cohérents.

4.1.3 La richesse spécifique diminue au cours du temps et le type de fertilisation n'a pas d'effet

Les communautés adventices échantillonnées ont été premièrement étudiées du point de vue de la richesse. La richesse moyenne captée lors des relevés est de cinq espèces sur l'ensemble des sites avec une richesse plus importante sur le site expérimental de La Mare. Un modèle linéaire généralisé a été construit pour repérer un potentiel effet de la fertilisation, du temps et du site sur la richesse. Le type de fertilisation n'ayant aucun effet sur la richesse, le modèle le plus parcimonieux avec les effets du temps et du site a été conservé B.2.

L'analyse de la variance confirme un effet du temps, du site et de l'interaction. En regardant plus précisément la table des coefficients 2, on peut tirer les conclusions suivantes : la richesse est moindre au CFPPA et au SUD par rapport à La Mare et la richesse diminue au cours du temps d'autant plus au SUD.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	Signif. Code
(Intercept)	1.98621	0.05530	35.914	< 2e-16	***
champsCFPPA	0.53141	0.16092	3.302	0.001138	**
champsSUD	-0.78223	0.20028	-3.906	0.000129	***
annee	-0.14492	0.01765	-8.210	2.80e-14	***
champsCFPPA :annee	-0.01895	0.03879	-0.489	0.6256	
champsSUD :annee	0.23945	0.04350	5.504	1.14e-07	***

TABLE 2 – Coefficients du modèle : modèle linéaire généralisé de la richesse spécifique expliquée par le temps et le site

Ce modèle confirme, l'effet préssenti avec l'analyse des diagrammes d'infestation.

4.1.4 Les pratiques culturales et dans certains cas la fertilisation, ont un effet sur la structure des communautés adventices au cours du temps

Une fois ce premier résultat acquis, une étude de la composition des communautés a été réalisée.

Sur la figure 4, on peut voir les résultats de la NMDS, avec les ellipses représentant la covariance des données au sein des groupes formés par année (A-B-C) et par type de fertilisation (D-E-F) pour chaque site.

Concernant l'influence de la variable année, pour le site de La Mare, aucun effet n'a pu être mis en évidence. En revanche, au CFPPA et au SUD, un effet année significatif est visible ($p\text{-}value < 0.05$). On voit une différenciation des ellipses indiquant une modification de la flore. Au SUD, la différenciation se repère entre les années 1 et 5/6.

Concernant la variable fertilisation, aucun effet notable n'est repéré pour les sites de La Mare (D) et CFPPA (E), mais un effet fertilisation est repéré au SUD (F, $p\text{-}value < 0.05$). Sur le graphique F, l'effet n'est pas très clair : on peut voir que les ellipses sont tout de même superposées. Pour les traitements Ecum et FPG, les ellipses sont plus petites, traduisant une moins grande variabilité dans les espèces retrouvées sur les parcelles de ces traitements par rapport aux autres parcelles. Cependant, les centroïdes restent proches, traduisant une composition des communautés très similaire, notamment aux communautés du groupe de fertilisation minérale.

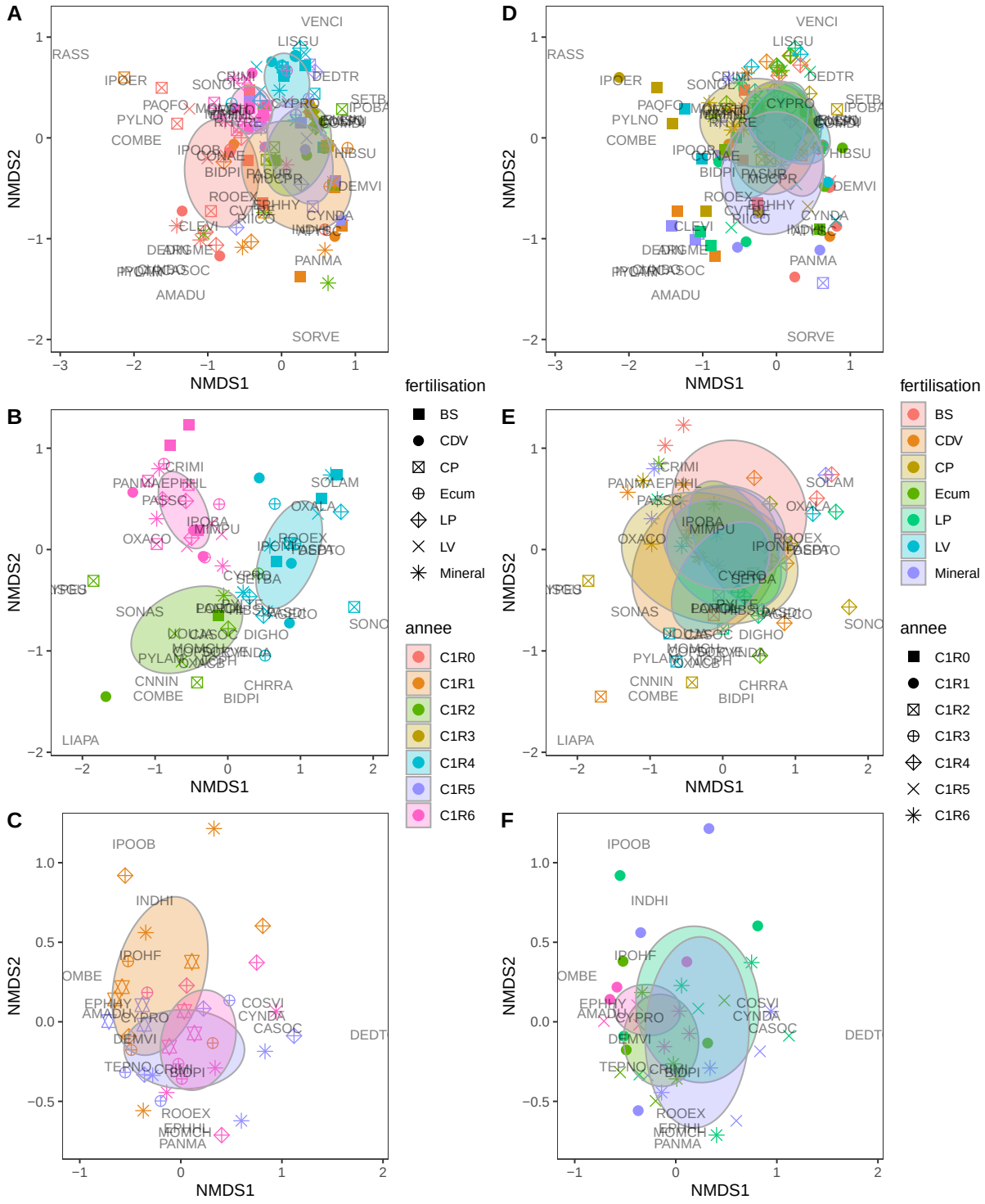


FIGURE 4 – Représentation graphique NMDS pour les sites de (A - D) La Mare (stress = 0.145), (B - E) CFPPA (stress = 0.154) et (C - F) SUD (stress = 0.203). Les ellipses représentent la covariance pour les groupes formés à partir des années (A - B - C) et par les modalités de fertilisation (D - E - F). Chaque point représente une micro-parcelle à une année donnée. Analyse statistique par PERMANOVA (Annexe B.3).

4.2 Résultats relatifs aux effet du paillage

4.2.1 La composition des communautés est influencée par le paillage

Sur la figure 5, on peut voir les résultats de la NMDS, avec les ellipses représentant la covariance des données au sein des groupes formés par année (A-B-C) et par type de paillage (D-E-F) pour chaque site.

Concernant l'influence de la variable année, pour le site de La Mare, aucun effet n'a pu être mis en évidence. En revanche, au CFPPA et au SUD, un effet année significatif est visible comme dans la partie précédente. On voit une différenciation des ellipses indiquant une modification de la flore, bien qu'une superposition soit visible au SUD.

Concernant la variable paillage, aucun effet notable n'est repéré pour les sites de La Mare (D) où on voit clairement une proportion importante des ellipses supperposées. En revanche, un effet paillage est visible au CFPPA (E, $p\text{-}value < 0.05$) et au SUD (F, $p\text{-}value < 0.05$). Au CFPPA, un effet d'interaction année/paillage est également repéré ($p\text{-}value < 0.05$).

Dans les deux cas, l'ellipse du groupe "sans paillage" est inclu dans l'ellipse du groupe "avec paillage" ce qui montre que ces communautés se ressemblent et sont influencées par un plus petit groupe d'espèces. Globalement, les ellipses étant superposées, les communautés adventices sont très similaires dans les deux cas. Quelques espèces se développent plus en présence de paillage, comme *Mimosa pudica*, *Kyllinga erecta* ou *Desmodium tortuosum* au CFPPA ou encore *Senna occidentalis* (CASOC) ou *Megathyrsus maximus* au SUD.

L'hypothèse la plus probable repose sur le fait que la paille bloque en partie la pénétration de l'herbicide. Son effet sur les adventices est alors réduit et les forces de sélection en action sont alors différentes et favoriserait une plus grande diversité en sélectionnant des espèces différentes. Parallèlement, la paille bloque également la lumière et exerce également une pression.

4.2.2 La richesse spécifique n'est pas influencée par le paillage

	Df	Dev	Resid. Df	Resid. Dev	F	Pr(>F)	Signif. Code
NULL	NA	NA	95	172.09	NA	NA	
champs	2	11.2016	93	160.89	4.0067	0.021776	*
annee	1	10.7380	92	150.15	7.6818	0.006868	**
paillage	1	4.5761	91	145.57	3.2736	0.073979	.
chps :annee	2	17.4617	89	128.11	6.2459	0.002959	**
chps :paillage	2	3.0990	87	125.01	1.1085	0.334836	
annee :paillage	1	0.0003	86	125.01	0.0002	0.987659	
chps :ann :paill	2	3.8554	84	121.16	1.3790	0.257462	

TABLE 3 – Analyse de variance : modèle linéaire généralisé pour expliquer la richesse spécifique par la temps, le site et le paillage

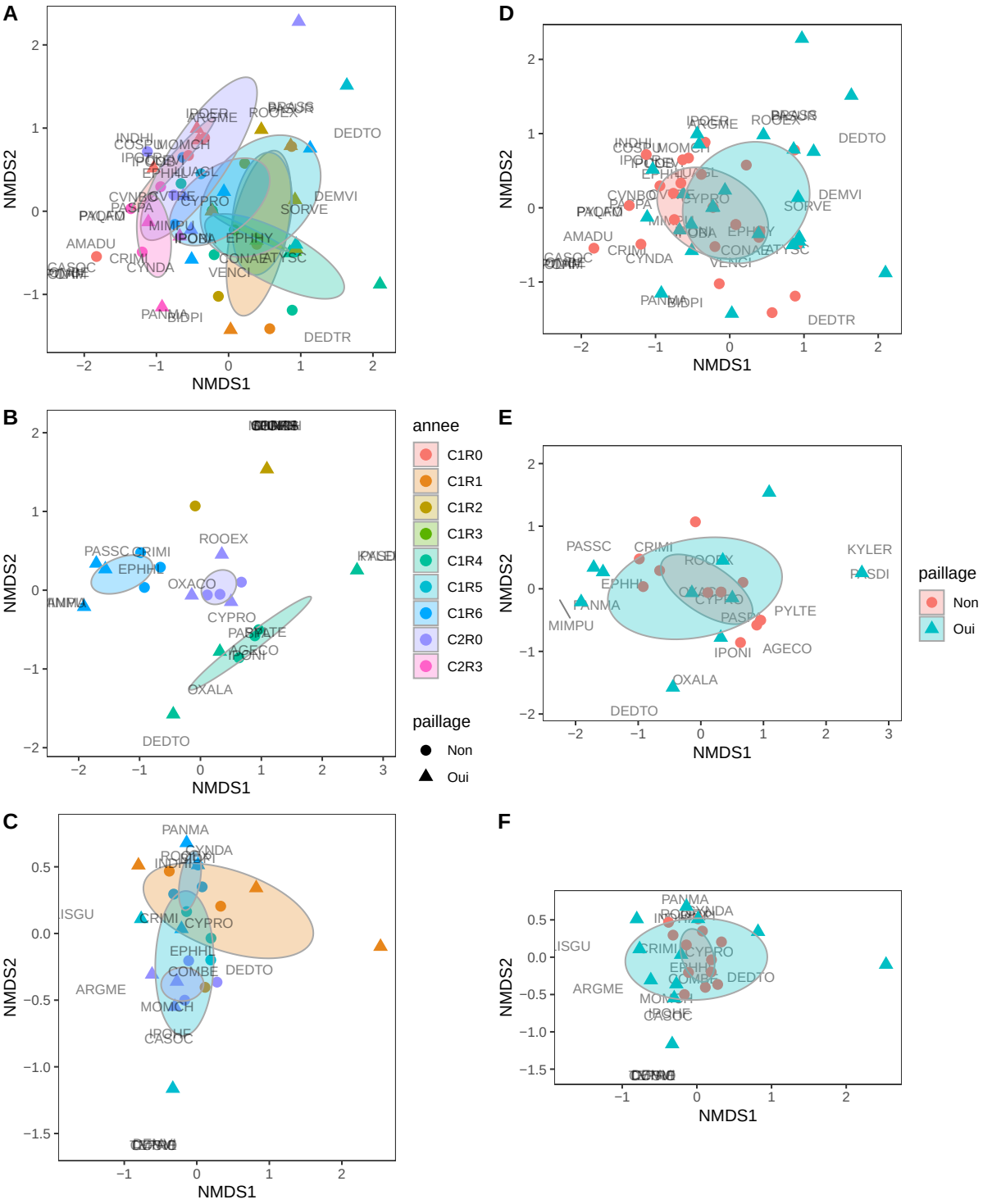


FIGURE 5 – Représentation graphique NMDS pour les sites de (A - D) La Mare (stress = 0.168), (B - E) CFPPA (stress = 0.111) et (C - F) SUD (stress = 0.172). Les ellipses représentent la covariance pour les groupes formés à partir des années (A - B - C) et par les modalités de paillage (D - E - F). Chaque point représente une micro-parcelle à une année donnée. Analyse statistique par PERMANOVA (Annexe B.3).

Un modèle linéaire généralisé similaire à celui construit pour tester l'effet de la fertilisation est réalisé. Les effets du site et du temps sont de nouveau repéré sur ces données mais aucun effet du paillage n'est visible sur la richesse (Annexe 3). On parler d'une tendance avec un effet presque significatif.

4.2.3 Le recouvrement n'est pas influencé par le paillage

On peut voir sur la Figure 6 que la moyenne et la médiane des groupes avec paillage ont tendance à être plus faibles que celles du groupe sans paillage. Aucun effet significatif n'a pu être mis en évidence malgré ces observations.

En observant la distribution des données selon les années et les sites (Annexe 15), on peut se rendre compte d'une très grande variabilité au cours des années au sein d'un même site. Cette variabilité peut s'expliquer par la variabilité inter-annuelle liée au climat, par une modification des pratiques culturales ou par une variabilité dans les relevés. De plus, on peut voir que certaines années ont été moins bien échantillonnées que d'autres avec une acquisition de seulement une ou deux valeurs de recouvrement, ce qui a pu participer à l'absence d'effet clair de la paille sur le recouvrement.

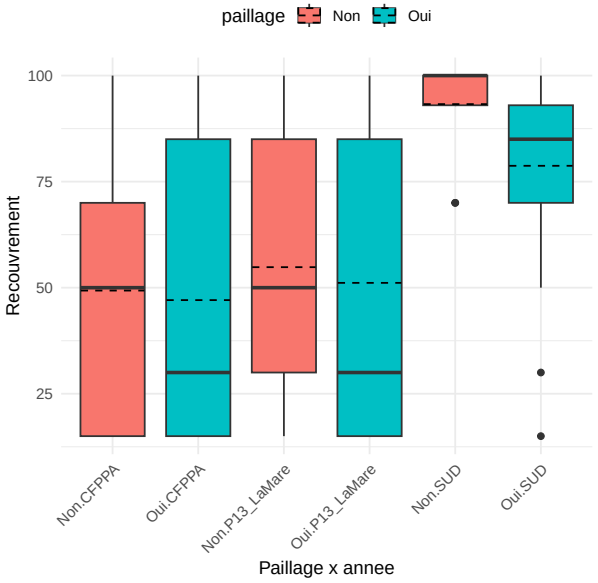


FIGURE 6 – Recouvrement global des adventices par site et modalité de paillage. La médiane est représentée en traits pleins et la moyenne en pointillés.

5 Discussion

5.1 L'effet de la fertilisation n'a pas un rôle structurant pour les communautés adventices des systèmes canniers très perturbés

Cette étude a permis de montrer que la modalité de fertilisation n'a pas d'impact majeur sur les communautés adventices en canne sur les parcelles du projet TERO. Malgré

une quantité plutôt importante de MAFOR apportée, aucune modification marquante dans la structure des communautés d'adventices n'a pu être mise en évidence. Bien que de petites différences dans la composition aient pu être repérées, elles ne sont pas majeures. Si toutefois elles sont significatives, la composition reste similaire. On peut parler d'une orientation de la communauté, qu'il est difficile de qualifier plus précisément avec les données actuelles. En revanche, des différences entre les sites ont été repérées, sûrement dues au pedoclimat , qui est un groupe de variables très structurant (Alarcón Víllora et al., 2019; Ramburan & Nxumalo, 2017).

En revanche, la richesse spécifique a été impactée négativement par le temps. En effet, les pratiques culturales semblent avoir sélectionnées une flore très spécifique. La fertilisation n'a pas d'effet sur la richesse, il semble donc que ce soit les autres pratiques, notament le désherbage qui aurait contribué à cette diminution.

Afin de qualifier la différence liée à la fertilisation entre les communautés, il pourrait être judicieux d'utiliser une approche fonctionnelle et s'intéresser aux traits des adventices. Par exemple, Alarcón Víllora et al., 2019; Christina et al., 2021 ont calculé des traits moyens pour rendre compte de l'impact des pratiques sur la modification des communautés adventices et des communautés de plantes de services. Il aurait été intéressant de mettre en place un témoin enherbé non fertilisé sur toute la durée de l'expérience pour quantifier la différence entre un milieu fertilisé et non fertilisé.

Ce résultat était plutôt attendu, car la fertilisation a un effet filtre peu marqué, à l'inverse des pratiques de désherbage, et fait écho aux résultats de Chikoye et al., 2008. Une pratique de désherbage favorise certaines stratégies CSR par rapport à d'autres selon si elle est plutôt très destructrice ou non (Fried et al., 2019).

De plus, le désherbage chimique exerce une pression sur les adventices qui est très particulière et sélectionne de manière précise les espèces (Fried et al., 2012) et pourrait masquer l'effet de la fertilisation. On s'attend donc à un résultat encore moins visible de la fertilisation sur les communautés déjà très perturbées des systèmes canniers. Cependant, il est important de garder en tête que certaines imprécisions dans la réalisation du protocole limitent l'interprétation des résultats. En effet, le projet TERO se focalise sur l'étude des Coefficient Apparent d'Utilisation et non l'étude des adventices, ces données étant secondaires, l'effort d'échantillonnage a parfois été limité. De plus, cette étude a été réalisée au champs ce qui peu expliquer l'absence de résultats clairs du fait de la variabilité des conditions d'expérimentions, à l'inverse des travaux de Pyšek et Lepš, 1991.

5.2 La paille a un effet sur la structure des communautés adventices

Pour les résultats sur l'effet de la paille, un effet sur la composition des communautés a pu être mis en évidence au CFPPA et au SUD. Les communautés adventices restent similaires en l'absence de paillage mais semblent moins diversifiées. Cependant, aucun effet sur la richesse et le recouvrement n'ont pas pu être mis en évidence, seule une tendance est visible ce qui est assez étonnant compte tenu des résultats obtenus par une partie de

la communauté scientifique. Malgré tout, Ramburan et Nxumalo, 2017 ont démontré qu'aucun effet bénéfique du paillage sur le rendement en canne n'avait été détecté en système irrigué et qu'un effet négatif avait même été observé en climat tempéré.

Concernant les conclusions relatives au recouvrement, il est également difficile de se prononcer de manière systémique en raison de l'absence d'un témoin négatif enherbé. Ce témoin est primordial pour conclure sur la part de variabilité apporté par le reste de l'ITK (hors fertilisation).

De plus, peu d'études se concentrent sur l'effet du paillage sur les communautés d'adventices. Les études se concentrent soit sur l'effet sur le rendement (Carvalho et al., 2017) soit sur l'effet sur les caractéristiques du sol, que se soit physique (Satiro et al., 2017) ou chimique (Leite et al., 2018; Zheng & Marschner, 2017). Malgré tout, l'utilisation de paillis en canne limite l'émergence de certaines espèces d'adventices (Correia & Durigan, 2004).

Une plus grande diversité spécifique semble avoir été observée dans les parcelles paillées, ce qui pourrait-être éxpliquée par le fait que l'efficacité d'un herbicide est inversement corrélée à la quantité de paille épandue au champs (Monquero et al., 2007; Negrisoli et al., 2007). En effet, il bloque la pénétration du produit dont l'effet est réduit. Ceci n'a pas forcément d'impact sur l'enherbement, puisque la paille bloque la croissance et la germination des adventices. En revanche, l'effet de l'herbicide étant réduit, la sélection de la flore est différente car les filtres environnementaux appliqués varient par rapport à un système sans paille.

5.3 Perspectives

Concernant la régularité des relevés au cours de l'itinéraire technique, il est extrêmement important de réaliser tous les relevés à la même étape de l'ITK pour limiter la variabilité des données liée à ce dernier. C'est pourquoi, il faut définir avec précision et cohérence la période à laquelle les relevés doivent être réalisés.

On peut souligner un manque de régularité dans la date à laquelle les relevés ont été réalisés. Certains sites n'ont pas été échantillonnés de manière suffisamment régulière comme les sites du SUD et de l'EST. De plus, il manque les relevés de l'année 1 pour tous les sites, sauf celui de La Mare, relevé qui permet d'avoir l'état initial de la flore avant le début de l'essai et donc mettre en évidence une potentielle évolution en terme de composition ou de trajectoire prise par les communautés étudiées. Cette donnée étant manquante pour trois des quatre sites, il est complexe de conclure de manière précise sur l'évolution des communautés.

Bien que les données d'enherbement soient secondaires ici, il est important de standardiser le protocole de relevé. Une échelle de notation a ainsi été définie et fournie à l'ensemble des personnes qui sont intervenues afin de limiter l'effet observateur. Cependant, il serait judicieux de préciser ce protocole notamment en réalisant des relevés spécifiques par unité de surface en utilisant des quadrats ou des transects dans les inter-rangs de cannes (Fried et al., 2019). Cette échelle pourrait être critiquée quant à sa précision sur

les petites valeurs de recouvrement.

Afin de mettre en évidence l'effet fertilisation, il serait judicieux de travailler avec un témoin enherbé afin de mettre en évidence l'effet de la fertilisation seule et ainsi quantifier le poids du désherbage dans la structure des communautés.

Finalement, concernant le design de l'essai, celui-ci n'était pas vraiment adapté pour l'étude des adventices. En effet, un grand nombre de variables ont été étudiées simultanément ce qui rend l'analyse de données complexe et réduit également, le nombre de répétition par modalité. Bien que complexe à mettre en place en condition de terrain, maximiser le nombre de répétitions permet de réaliser des analyses plus robustes. Il pourrait-être judicieux de recentrer l'étude sur un plus petit nombre de Mafor dont la dose ne varie pas d'année en année.

Concernant l'étude de l'effet de la paille, les mêmes remarques peuvent être appliquée, et un témoin sans herbicide pourrait-être mis en place pour observer l'effet synergique de la paille et des herbicides.

6 Conclusion

À La Mare, *Cyperus rotundus* et *Euphorbia heterophylla* se distinguent comme des espèces majeures générales, tandis que d'autres espèces comme *Litsea glutinosa* et *Ricinus communis* jouent également un rôle important et tant qu'espèces majeures locales. Au CFPPA, bien que *Cyperus rotundus* et *Euphorbia heterophylla* soient également présents, l'absence d'espèces majeures générales et la diversité des espèces majeures locales soulignent une différence notable. Au SUD, La flore se distingue par l'absence de *Cynodon dactylon* et la présence d'*Ipomoea obscura*. Enfin, l'EST se distingue par une flore très peu couvrante (moins de 10%) mais une fréquence importante des espèces de *Paspalum*.

L'analyse temporelle montre une tendance à une diminution générale de la richesse spécifique sur tous les sites, avec une réduction marquée du nombre d'espèces mineures locales. Cette tendance suggère que les pratiques agricoles, dont le désherbage représente sûrement l'effet majoritaire, sélectionnent une flore plus spécifique et moins diversifiée au fil du temps. Par exemple, à La Mare, *Euphorbia heterophylla* et *Cyperus rotundus* ont évolué vers des catégories différentes, indiquant une adaptation à la pression exercée par les pratiques culturales. Un effet temporel similaire a été observé pour les données relatives au paillage, confirmant un effet prononcé des pratiques culturales sur la composition des communautés et l'importance de filtres environnementaux ayant un impact très fort sur la structure des communautés.

L'effet de la fertilisation sur la richesse spécifique s'est avéré négligeable. Cependant, l'analyse NMDS révèle des interactions subtiles entre l'année et la fertilisation, notamment au SUD, où une différenciation des communautés adventices est observée entre les années.

L'effet du paillage semble plus discret et favorise d'autres espèces qu'en absence de paille. Une plus grande richesse est donc visible même si en terme de composition, les communautés restent très similaires.

Ces résultats soulignent l'importance de considérer les spécificités de chaque site pour comprendre l'impact des pratiques agricoles sur la flore adventice. Les différences observées entre les sites mettent en lumière la nécessité d'adapter les stratégies de gestion des adventices en fonction des contextes locaux.

Cependant, cette étude montre avant tout que l'effet des fertilisants organiques sur les communautés reste négligeable. Ainsi, une bonne gestion de l'enherbement doit permettre l'utilisation de Mafor sans modification des pratiques.

Annexes

Références

Alarcón Víllora, R., Hernández Plaza, E., Navarrete, L., Sánchez, M. J., & Sánchez, A. M. (2019). Climate and tillage system drive weed communities' functional diversity in a Mediterranean cereal-legume rotation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *283*, 106574. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106574

Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (2014). What kind of seed dormancy might palms have? *Seed Science Research*, *24*(1), 17-22. https://doi.org/10.1017/S0960258513000342

Bopp, M.-C. (2023). *Dynamique spatio-temporelle des communautés adventices en réponse aux pratiques de gestion des sols et conséquences pour les processus de recyclage de la matière organique dans les vignobles une approche fonctionnelle* [thèse de doct., Université de Montpllier, Institut Agro Montpllier].

Bourgeois, B., Munoz, F., Fried, G., Mahaut, L., Armengot, L., Denelle, P., Storkey, J., Gaba, S., & Violle, C. (2019). What makes a weed a weed? A large-scale evaluation of arable weeds through a functional lens [_eprint: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ajb2.1213]. *American Journal of Botany*, *106*(1), 90-100. https://doi.org/10.1002/ajb2.1213

Buhler, D. D. (2002). 50th Anniversary—Invited Article: Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science*, *50*(3), 273-280. https://doi.org/10.1614/0043-1745(2002)050[0273:AIAAOF]2.0.CO;2

Carvalho, J. L. N., Nogueirol, R. C., Menandro, L. M. S., Bordonal, R. d. O., Borges, C. D., Cantarella, H., & Franco, H. C. J. (2017). Agronomic and environmental implications of sugarcane straw removal: a major review [_eprint: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/gcbb.12410]. *GCB Bioenergy*, *9*(7), 1181-1195. https://doi.org/10.1111/gcbb.12410

Chikoye, D., Ekeleme, F., Lum, A. F., & Schulz, S. (2008). Legume–maize rotation and nitrogen effects on weed performance in the humid and subhumid tropics of West Africa. *Crop Protection*, *27*(3), 638-647. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.09.007

Chojnacka, K., Kowalski, Z., Kulczycka, J., Dmytryk, A., Górecki, H., Ligas, B., & Gramza, M. (2019). Carbon footprint of fertilizer technologies. *Journal of Environmental Management*, *231*, 962-967. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.108

Christina, M., Negrier, A., Marnotte, P., Viaud, P., Mansuy, A., Auzoux, S., Techer, P., Hoarau, E., & Chabanne, A. (2021). A trait-based analysis to assess the ability of cover crops to control weeds in a tropical island. *European Journal of Agronomy*, *128*, 126316. https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126316

Correia, N. M., & Durigan, J. C. (2004). Emergência de plantas daninhas em solo coberto com palha de cana-de-açúcar [Publisher: Sociedade Brasileira da Ciência

das Plantas Daninhas]. *Planta Daninha*, *22*, 11-17. https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0100-83582004000100002

DAAF de la Réunion. (2025, mars 17). *Enequête partques culturales canne 2021* (Last Modified: 2025-03-17). Récupérée avril 25, 2025, à partir de https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/pratiques-culturales-le-desherbage-de-la-canne-en-2021-a3863.html

De Cauwer, B., D'hose, T., Cougnon, M., Leroy, B., Bulcke, R., & Reheul, D. (2011). Impact of the quality of organic amendments on size and composition of the weed seed bank [_eprint: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1365-3180.2010.00840.x]. *Weed Research*, *51*(3), 250-260. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00840.x

Fried, G., Kazakou, E., & Gaba, S. (2012). Trajectories of weed communities explained by traits associated with species' response to management practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *158*, 147-155. https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.06.005

Fried, G., Cordeau, S., Metay, A., & Kazakou, E. (2019). Relative importance of environmental factors and farming practices in shaping weed communities structure and composition in French vineyards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *275*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.01.006

Garside, A. L., & Bell, M. J. (2011). Growth and yield responses to amendments to the sugarcane monoculture: effects of crop, pasture and bare fallow breaks and soil fumigation on plant and ratoon crops [Publisher: CSIRO PUBLISHING]. *Crop and Pasture Science*, *62*(5), 396-412. https://doi.org/10.1071/CP11013

Ghosh, D., Brahmachari, K., Skalický, M., Roy, D., Das, A., Sarkar, S., Moulick, D., Brestič, M., Hejnak, V., Vachova, P., Hassan, M. M., & Hossain, A. (2022). The combination of organic and inorganic fertilizers influence the weed growth, productivity and soil fertility of monsoon rice (M. L. Dotaniya, Éd.). *PLOS ONE*, *17*(1), e0262586. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262586

Godinho, I. (1984). Les définitions d' 'adventicee' et de 'mauvaise herbee' [_eprint: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1365-3180.1984.tb00579.x]. *Weed Research*, *24*(2), 121-125. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1984.tb00579.x

Grime. (1977). Evidence for the Existence of Three Primary Strate. *The American Naturalist*, *111*(982).

Grime, J. P., & Hunt, R. (1975). Relative Growth-Rate: Its Range and Adaptive Significance in a Local Flora [Publisher: [Wiley, British Ecological Society]]. *Journal of Ecology*, *63*(2), 393-422. https://doi.org/10.2307/2258728

Harper, J. L., Williams, J. T., & Sagar, G. R. (1965). The Behaviour of Seeds in Soil: I. The Heterogeneity of Soil surfaces and its Role in Determining the Establishment of Plants from Seed [Publisher: [Wiley, British Ecological Society]]. *Journal of Ecology*, *53*(2), 273-286. https://doi.org/10.2307/2257975

Ibrahim, A. (1984). Weed competition and control in sugarcane [_eprint: https://onlinelibrary.wiley.co 3180.1984.tb01558.x]. *Weed Research*, *24*(4), 227-231. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1984.tb01558.x

Judice, W. E., Griffin, J. L., Jr, L. M. E., & Jones, C. A. (2007). Effects of Crop Residue Management and Tillage on Weed Control and Sugarcane Production. *Weed Technology*, *21*(3), 606-611. https://doi.org/10.1614/WT-06-172.1

Leite, L. F., Sagrilo, E., Araújo, A., & Souza, H. (2018). Short-Term Effect of Sugarcane Straw on Soil Organic Carbon Pools [Number: 8]. *Journal of Agricultural Science*, *10*(8), p405. https://doi.org/10.5539/jas.v10n8p405

Major, J., Steiner, C., Ditommaso, A., Falcão, N. P., & Lehmann, J. (2005). Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon: Compost, fertilizer, manure and charcoal applications. *Weed Biology and Management*, *5*(2), 69-76. https://doi.org/10.1111/j.1445-6664.2005.00159.x

Marnotte, P., & Marion, D. (1991). *Nuisibilité de l'enherbement sur une culture de canne à sucre*. Cirad.

Monquero, P. A., Amaral, L. R., Silva, A. C., Silva, P. V., & Binha, D. P. (2007). Eficácia de herbicidas em diferentes quantidades de palha de cana-de-açúcar no controle de Euphorbia heterophylla [Publisher: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas]. *Planta Daninha*, *25*, 613-619. https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000300022

Negrisoli, E., Velini, E. D., Rossi, C. V. S., Correia, T. M., & Costa, A. G. F. (2007). Associação do herbicida tebuthiuron com a cobertura de palha no controle de plantas daninhas no sistema de cana-crua [Publisher: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas]. *Planta Daninha*, *25*, 621-628. https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S0100-83582007000300023

Pyšek, P., & Lepš, J. (1991). Response of a weed community to nitrogen fertilization: a multivariate analysis [_eprint: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2307/3235956]. *Journal of Vegetation Science*, *2*(2), 237-244. https://doi.org/10.2307/3235956

Ramburan, S., & Nxumalo, N. (2017). Regional, seasonal, cultivar and crop-year effects on sugarcane responses to residue mulching. *Field Crops Research*, *210*, 136-146. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.001

Sánchez-Sabando, C. F., Sánchez-Urdaneta, A. B., Sánchez-Mora, F. D., Loor-Escobar, G. E., & Olivares, B. O. (2024). Fertilization for Growth or Feeding the Weeds? A Deep Dive into Nitrogen's Role in Rice Dynamics in Ecuador. *Life*, *14*(12), 1601. https://doi.org/10.3390/life14121601

Sardi, K., & Beres, I. (1996). Effects of fertilizer salts on the germination of corn, winter wheat, and their common weed species [Publisher: Taylor & Francis _eprint: https://doi.org/10.1080/00103629609369628]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *27*(5), 1227-1235. https://doi.org/10.1080/00103629609369628

Satiro, L. S., Cherubin, M. R., Safanelli, J. L., Lisboa, I. P., Rocha Junior, P. R. d., Cerri, C. E. P., & Cerri, C. C. (2017). Sugarcane straw removal effects on Ultisols and Oxisols in south-central Brazil. *Geoderma Regional*, *11*, 86-95. https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.10.005

Schlegel, A. J., Dhuyvetter, K. C., & Havlin, J. L. (1996). Economic and Environmental Impacts of Long-Term Nitrogen and Phosphorus Fertilization [_eprint:

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/jpa1996.0114]. *Journal of Production Agriculture*, *9*(1), 114-118. https://doi.org/10.2134/jpa1996.0114

Schvartz, C., Decroux, J., & Muller, J.-C. (2005). *Guide de la fertilisation raisonnée: grandes cultures et prairies* [Google-Books-ID: lKhoSCre4_QC]. France Agricole Editions.

Tang, L., Wan, K., Cheng, C., Li, R., Wang, D., Pan, J., Tao, Y., Xie, J., & Chen, F. (2014). Effect of fertilization patterns on the assemblage of weed communities in an upland winter wheat field. *Journal of Plant Ecology*, *7*(1), 39-50. https://doi.org/10.1093/jpe/rtt018

Zheng, B., & Marschner, P. (2017). Previous residue addition rate and C/N ratio influence nutrient availability and respiration rate after the second residue addition. *Geoderma*, *285*, 217-224. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.007

A Figures

A.1 Plan

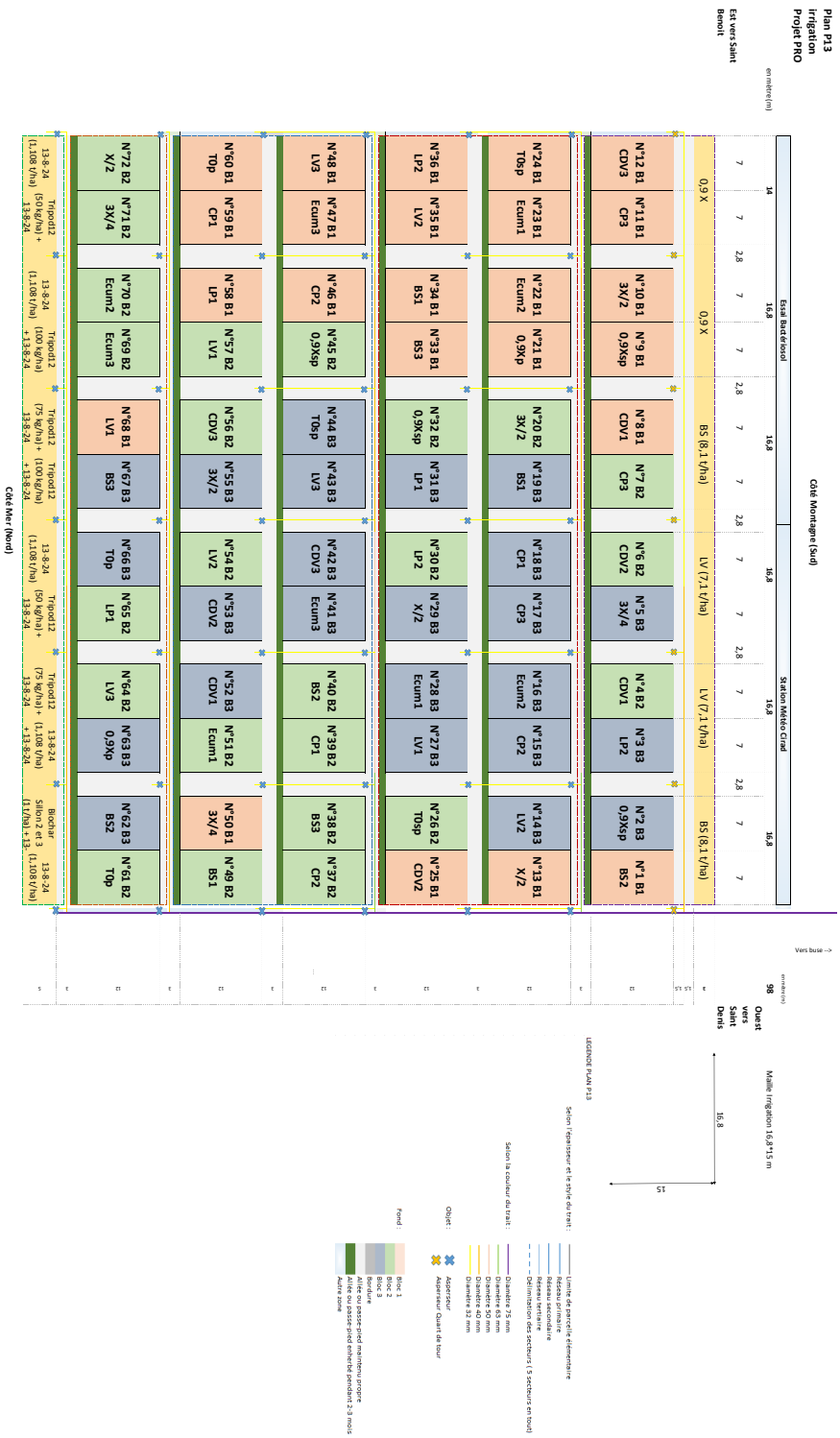


FIGURE 7 – Plan de l'essai TERO de La Mare

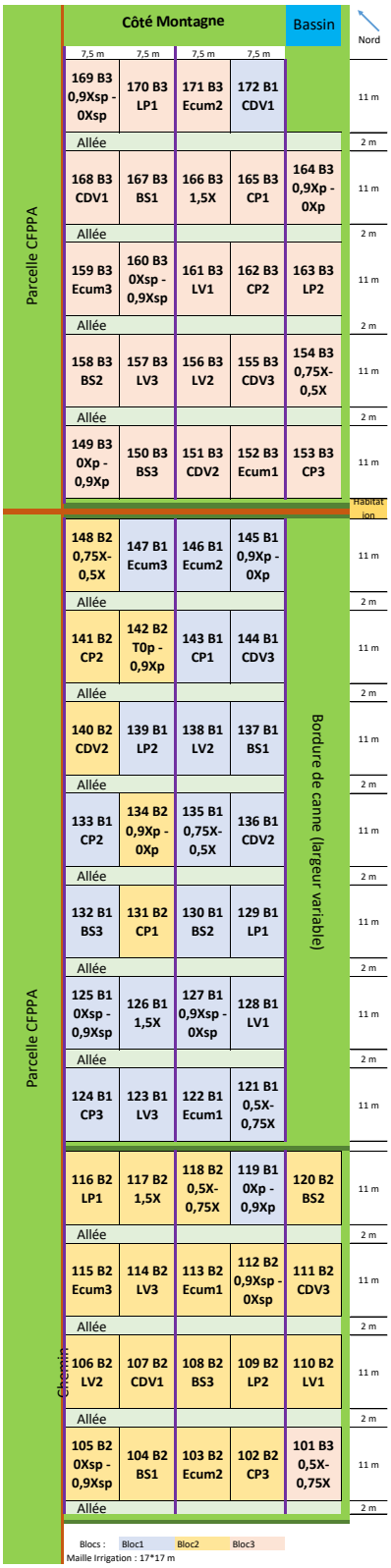


FIGURE 8 – Plan de l'essai TERO du CFPPA

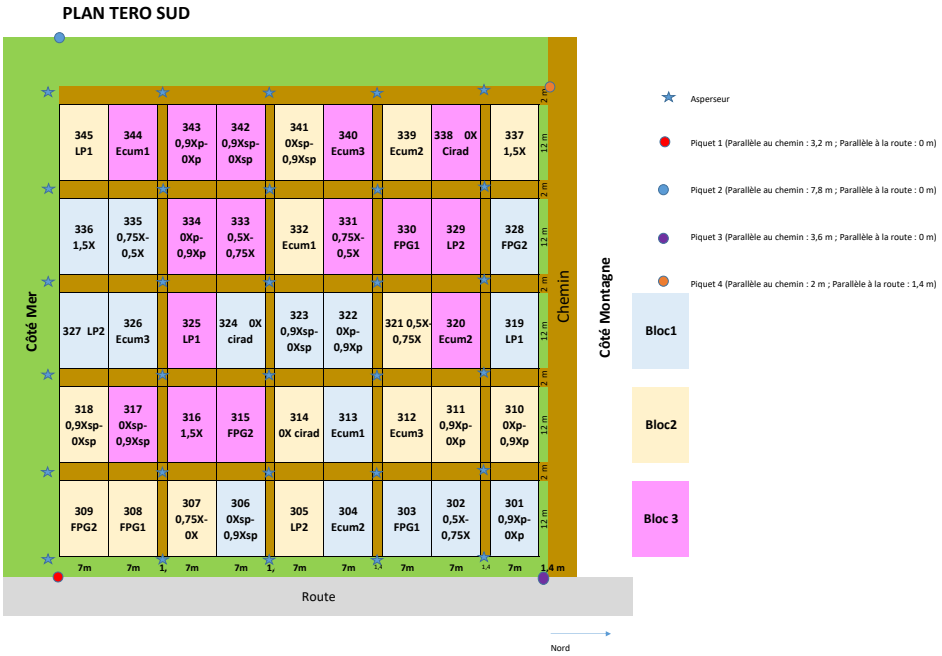


FIGURE 9 – Plan de l'essai TERO au SUD

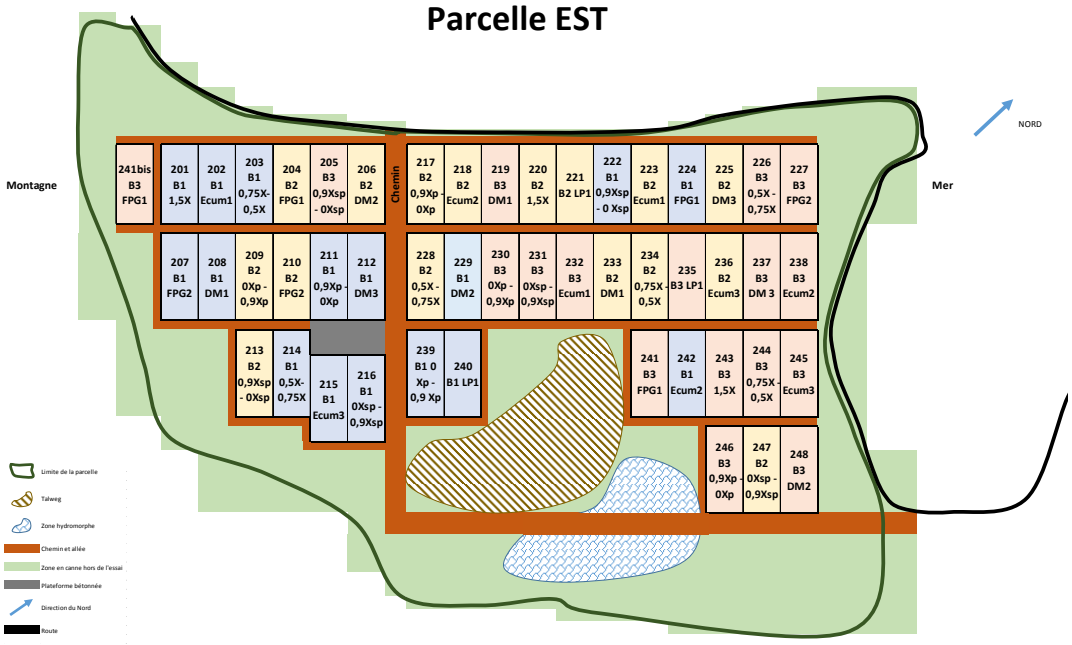


FIGURE 10 – Plan de l'essai TERO à l'EST

A.2 Stressplot

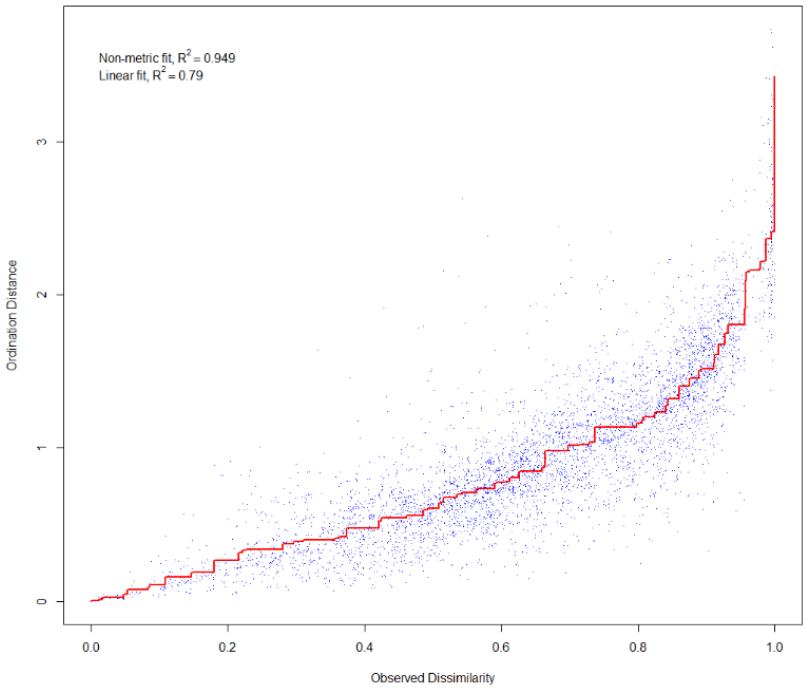


FIGURE 11 – Stressplot de la NMDS pour les données de La Mare

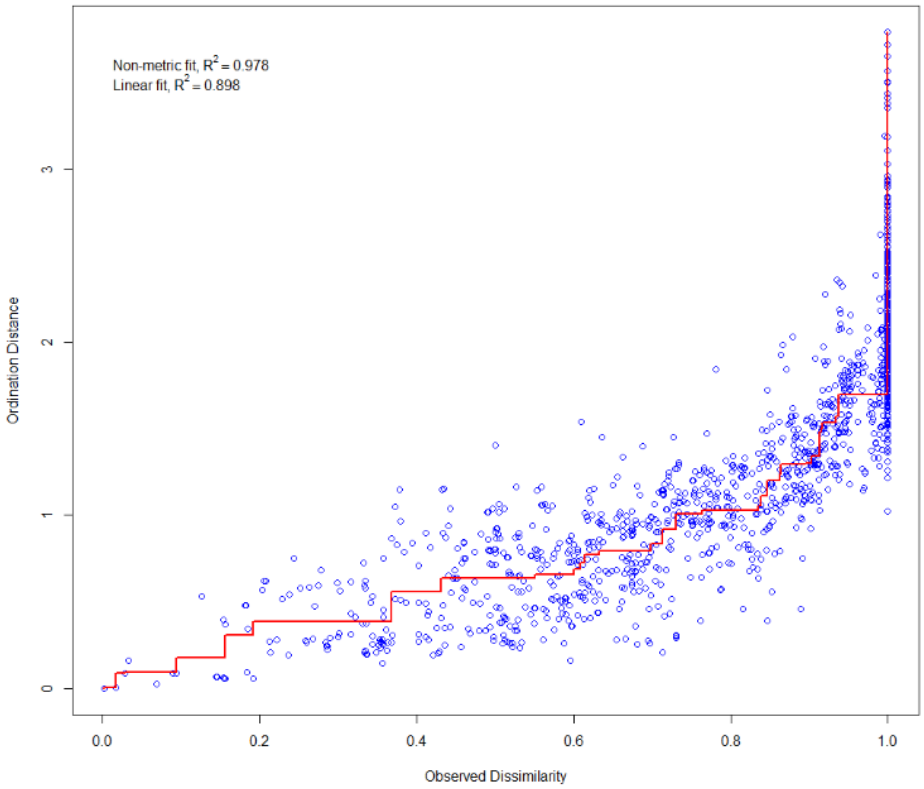


FIGURE 12 – Stressplot de la NMDS pour les données de CFPPA

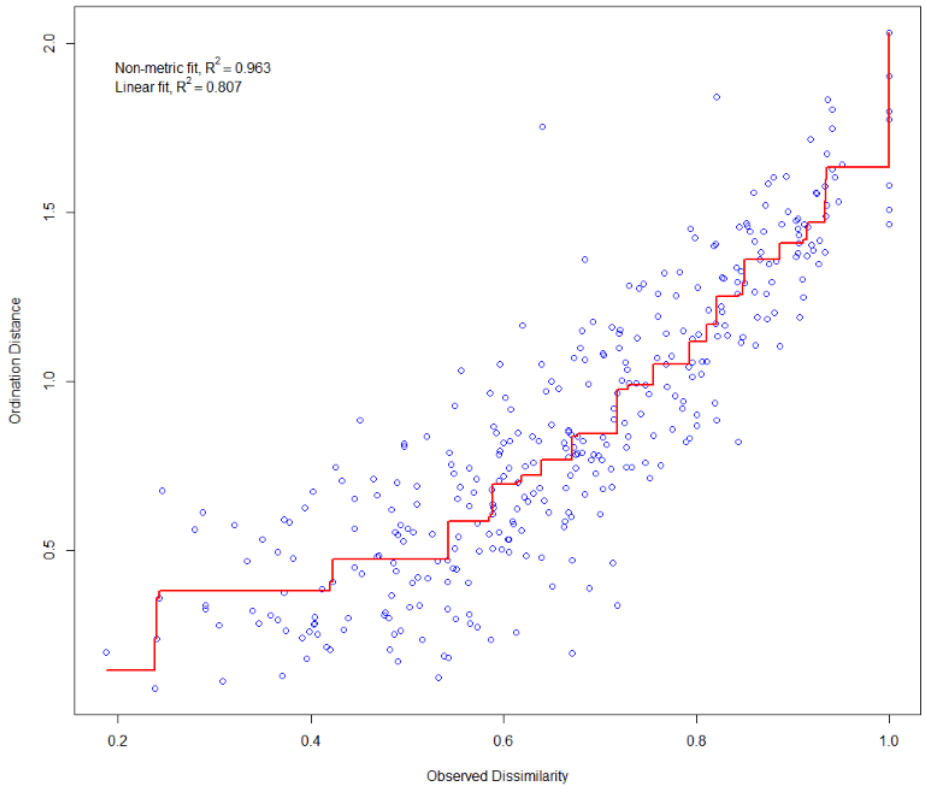


FIGURE 13 – Stressplot de la NMDS pour les données du SUD

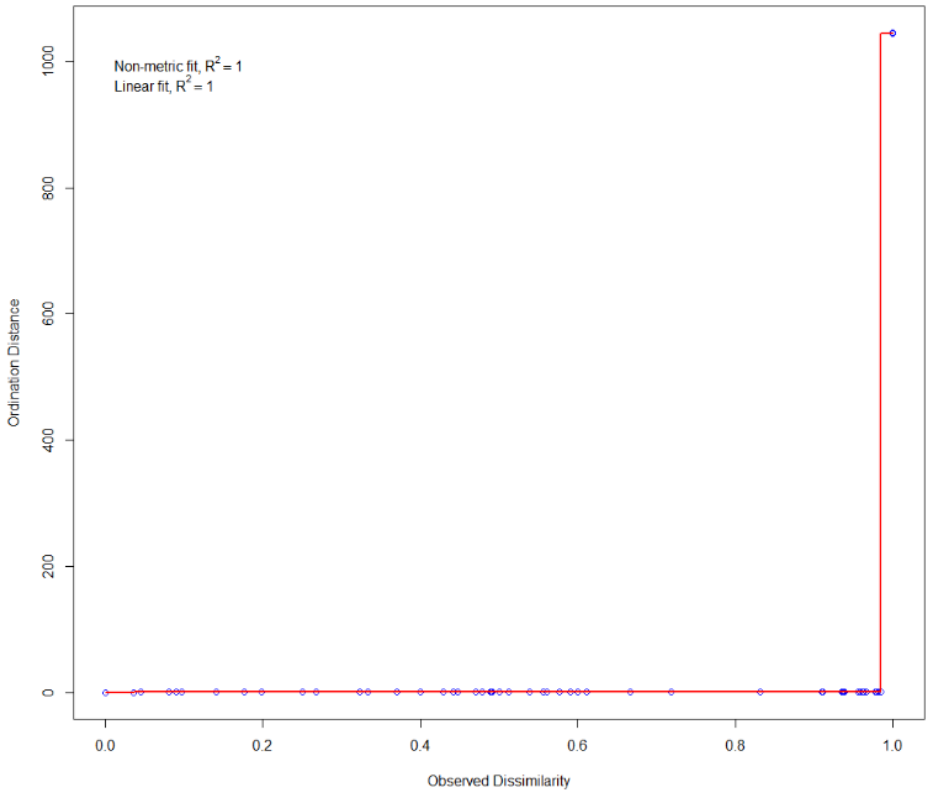


FIGURE 14 – Stressplot de la NMDS pour les données de l'EST

A.3 Boxplot du recouvrement global

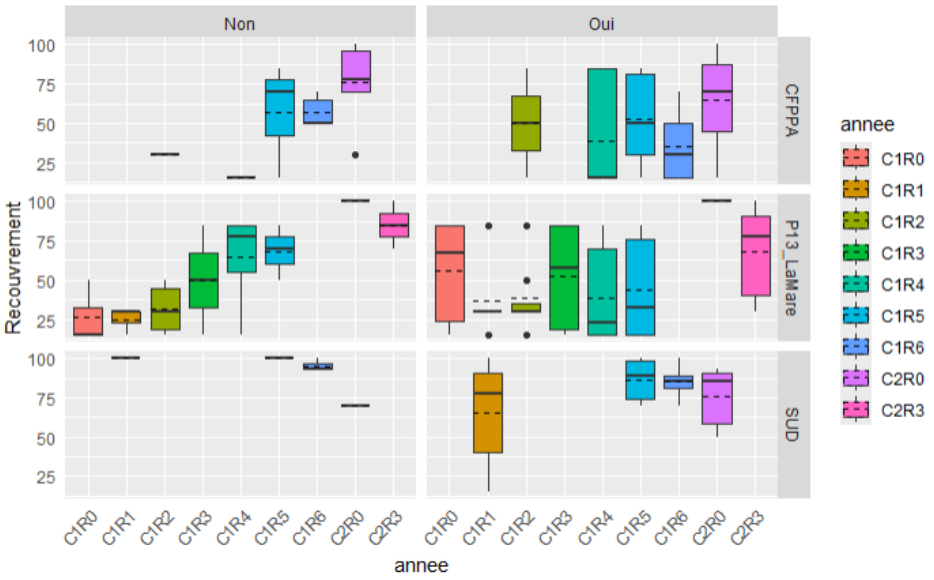


FIGURE 15 – Recouvrement global des adventices par site (CFPPA, La Mare, SUD) et modalités de paillage (Oui, Non)

B Tableaux

B.1 Matériel et méthode

Nom	Commune	Altitude (m)	Type de sol
La Mare	Sainte-Marie	65	Ferralitique
CFPPA	Piton Saint-Leu	560	Brun andique
EST	Saint-Benois	330	Andique
SUD	Bellevue, Saint-Louis	190	Brun
Nom	Régime hydrique	Surface (m^2)	Rendement potentiel ($t * h^{-1}$)
La Mare	Irrigation par aspersion	84	130
CFPPA	Irrigation par aspersion	82,5	80
EST	Pluvial	84	100
SUD	Irrigation par aspersion	84	-
Nom	Variété de canne	Exploitant	
La Mare	R582	eRcane	
CFPPA	R579	EPL Saint-Paul	
EST	R585	Jérôme Prébé	
SUD	R584	Désiré Maillot	

TABLE 4 – Caractéristiques des sites d'expérimentations

score	recouvrement (%)	commentaire
1	1	espèce présente mais rare
2	7	moins d'un individu/m$\hat{2}$
3	15	au moins d'un individu/m$\hat{2}$
4	30	30% de recouvrement
5	50	50% de recouvrement
6	70	70% de recouvrement
7	85	recouvrement fort
8	93	très peu de sol apparent
9	100	recouvrement total

TABLE 5 – Echelle de notation (équivalence pourcentage de recouvrement)

B.2 Analyse de variance pour le modèle linéaire généralisé de la richesse spécifique expliquée par la fertilisation et la champs

	Df	Dev	Resid. Df	Resid. Dev	F	Pr(>F)	Signif. Code
NULL	NA	NA	203	258.65	NA	NA	
champs	2	9.848	201	248.81	5.8332	0.003455	**
annee	1	52.398	200	196.41	62.0709	2.154e-13	***
champs :annee	2	30.402	198	166.01	18.0070	6.530e-8	***

TABLE 6 – Analyse de la variance : modèle linéaire généralisé de la richesse spécifique expliquée par la fertilisation et le champs

B.3 Résultats des tests de PERMANOVA

	Df	Sum Of Sqs	R2	F	Pr(>F)	Signif. Code
annee	6	1.3616	0.04418	1.0119	0.450	
fertilisation	6	1.7031	0.05526	1.2656	0.137	
annee :fertilisation	36	5.7758	0.18741	0.7154	0.998	
Residual	98	21.9792	0.71315			
Total	146	30.8197	1.0000			

TABLE 7 – Effet fertilisation : Résultats du test de permutation (PERMANOVA) pour les données de La Mare

	Df	Sum Of Sqs	R2	F	Pr(>F)	Signif. Code
annee	2	6.0039	0.36079	14.3213	0.001	***
fertilisation	6	1.3726	0.08248	1.0913	0.334	
annee :fertilisation	12	2.9759	0.17883	1.1831	0.173	
Residual	30	6.2884	0.37789			
Total	50	16.6408	1.0000			

TABLE 8 – Effet fertilisation : Résultats du test de permutation (PERMANOVA) pour les données du CFPPA

	Df	Sum Of Sqs	R2	F	Pr(>F)	Signif. Code
annee	2	1.1265	0.14864	2.9597	0.002	**
fertilisation	3	1.0652	0.14055	1.8657	0.029	*
annee :fertilisation	6	0.8198	0.10817	0.7179	0.877	
Residual	24	4.5675	0.60265			
Total	35	7.5790	1.0000			

TABLE 9 – Effet fertilisation : Résultats du test de permutation (PERMANOVA) pour les données du SUD

	Df	Sum Of Sqs	R2	F	Pr(>F)	Signif. Code
annee	8	1.9507	0.13322	0.8481	0.768	
paillage	1	0.1841	0.01257	0.6404	0.731	
annee :paillage	8	2.4458	0.16703	1.0634	0.358	
Residual	35	10.0624	0.68718			
Total	52	14.6430	1.0000			

TABLE 10 – Effet paillage : Résultats du test de permutation (PERMANOVA) pour les données de La Mare

	Df	Sum Of Sqs	R2	F	Pr(>F)	Signif. Code
annee	3	3.5738	0.51841	7.0616	0.001	***
paillage	1	0.4047	0.05871	2.3991	0.043	*
annee :paillage	3	0.8909	0.12923	1.7603	0.032	*
Residual	12	2.0244	0.29365			
Total	19	6.8938	1.0000			

TABLE 11 – Effet paillage : Résultats du test de permutation (PERMANOVA) pour les données du CFPPA

	Df	Sum Of Sqs	R2	F	Pr(>F)	Signif. Code
annee	3	1.3337	0.30457	3.2480	0.002	**
paillage	1	0.3846	0.08783	2.8100	0.0.011	*
annee :paillage	3	0.6075	0.13873	1.4794	0.082	.
Residual	15	2.0531	0.46886			
Total	22	4.3789	1.0000			

TABLE 12 – Effet paillage : Résultats du test de permutation (PERMANOVA) pour les données du SUD

B.4 Tableau des doses de mafor

Id_chp	Id_cycle	Id_mod	Id_PE	mafor_ha	mafor_pla	nb_poub	quanti_poub
P13_LaMare	C1R0	BS1	P49	7,2	60,1	10	6
P13_LaMare	C1R0	BS1	P34	7,2	60,1	10	6
P13_LaMare	C1R0	BS1	P19	7,2	60,1	10	6
P13_LaMare	C1R0	BS2	P01	3,6	30,1	10	3
P13_LaMare	C1R0	BS2	P62	3,6	30,1	10	3
P13_LaMare	C1R0	BS2	P40	3,6	30,1	10	3
P13_LaMare	C1R0	BS3	P67	7,2	60,1	10	6
P13_LaMare	C1R0	BS3	P38	7,2	60,1	10	6
P13_LaMare	C1R0	BS3	P33	7,2	60,1	10	6
P13_LaMare	C1R0	CDV1	P52	112,5	945	40	23,6
P13_LaMare	C1R0	CDV1	P04	112,5	945	40	23,6
P13_LaMare	C1R0	CDV1	P08	112,5	945	40	23,6
P13_LaMare	C1R0	CDV2	P25	56,2	472,5	20	23,6
P13_LaMare	C1R0	CDV2	P06	56,2	472,5	20	23,6
P13_LaMare	C1R0	CDV2	P53	56,2	472,5	20	23,6
P13_LaMare	C1R0	CDV3	P56	112,5	945	40	23,6
P13_LaMare	C1R0	CDV3	P12	112,5	945	40	23,6
P13_LaMare	C1R0	CDV3	P42	112,5	945	40	23,6
P13_LaMare	C1R0	CP1	P59	9,9	82,9	10	8,3
P13_LaMare	C1R0	CP1	P18	9,9	82,9	10	8,3
P13_LaMare	C1R0	CP1	P39	9,9	82,9	10	8,3
P13_LaMare	C1R0	CP2	P46	4,9	41,5	10	4,1
P13_LaMare	C1R0	CP2	P15	4,9	41,5	10	4,1
P13_LaMare	C1R0	CP2	P37	4,9	41,5	10	4,1
P13_LaMare	C1R0	CP3	P11	9,9	82,9	10	8,3
P13_LaMare	C1R0	CP3	P07	9,9	82,9	10	8,3
P13_LaMare	C1R0	CP3	P17	9,9	82,9	10	8,3
P13_LaMare	C1R0	Ecum1	P28	145,9	1225,9	50	24,5
P13_LaMare	C1R0	Ecum1	P23	145,9	1225,9	50	24,5
P13_LaMare	C1R0	Ecum1	P51	145,9	1225,9	50	24,5
P13_LaMare	C1R0	Ecum2	P70	73	613	30	20,4
P13_LaMare	C1R0	Ecum2	P16	73	613	30	20,4
P13_LaMare	C1R0	Ecum2	P22	73	613	30	20,4
P13_LaMare	C1R0	Ecum3	P47	105	881,8	40	22
P13_LaMare	C1R0	Ecum3	P69	105	881,8	40	22
P13_LaMare	C1R0	Ecum3	P41	105	881,8	40	22
P13_LaMare	C1R0	LP1	P31	77,1	648	NA	NA
P13_LaMare	C1R0	LP1	P58	77,1	648	NA	NA
P13_LaMare	C1R0	LP1	P65	77,1	648	NA	NA
P13_LaMare	C1R0	LP2	P30	38,6	324	NA	NA
P13_LaMare	C1R0	LP2	P03	38,6	324	NA	NA
P13_LaMare	C1R0	LP2	P36	38,6	324	NA	NA
P13_LaMare	C1R0	LV1	P68	8,2	68,6	10	6,9
P13_LaMare	C1R0	LV1	P57	8,2	68,6	10	6,9
P13_LaMare	C1R0	LV1	P27	8,2	68,6	10	6,9
P13_LaMare	C1R0	LV2	P35	4,1	34,3	10	3,4
P13_LaMare	C1R0	LV2	P54	4,1	34,3	10	3,4

P13_LaMare	C1R0	LV2	P14	4,1	34,3	10	3,4
P13_LaMare	C1R0	LV3	P48	8,2	68,6	10	6,9
P13_LaMare	C1R0	LV3	P64	8,2	68,6	10	6,9
P13_LaMare	C1R0	LV3	P43	8,2	68,6	10	6,9
CFPPA	C1R0	BS1	P104	3,6	30	10	3
CFPPA	C1R0	BS1	P167	3,6	30	10	3
CFPPA	C1R0	BS1	P137	3,6	30	10	3
CFPPA	C1R0	BS2	P120	1,8	15	10	1,5
CFPPA	C1R0	BS2	P158	1,8	15	10	1,5
CFPPA	C1R0	BS2	P130	1,8	15	10	1,5
CFPPA	C1R0	BS3	P132	3,6	30	10	3
CFPPA	C1R0	BS3	P150	3,6	30	10	3
CFPPA	C1R0	BS3	P108	3,6	30	10	3
CFPPA	C1R0	CDV1	P107	90,2	744,2	30	24,8
CFPPA	C1R0	CDV1	P168	90,2	744,2	30	24,8
CFPPA	C1R0	CDV1	P172	90,2	744,2	30	24,8
CFPPA	C1R0	CDV2	P151	45,1	372,1	20	18,6
CFPPA	C1R0	CDV2	P136	45,1	372,1	20	18,6
CFPPA	C1R0	CDV2	P140	45,1	372,1	20	18,6
CFPPA	C1R0	CDV3	P111	90,2	744,2	30	24,8
CFPPA	C1R0	CDV3	P144	90,2	744,2	30	24,8
CFPPA	C1R0	CDV3	P155	90,2	744,2	30	24,8
CFPPA	C1R0	CP1	P131	5,9	48,6	10	4,9
CFPPA	C1R0	CP1	P165	5,9	48,6	10	4,9
CFPPA	C1R0	CP1	P143	5,9	48,6	10	4,9
CFPPA	C1R0	CP2	P162	2,9	24,3	10	2,4
CFPPA	C1R0	CP2	P141	2,9	24,3	10	2,4
CFPPA	C1R0	CP2	P133	2,9	24,3	10	2,4
CFPPA	C1R0	CP3	P153	5,9	48,7	10	4,9
CFPPA	C1R0	CP3	P124	5,9	48,7	10	4,9
CFPPA	C1R0	CP3	P102	5,9	48,7	10	4,9
CFPPA	C1R0	Ecum1	P113	85,5	705,7	30	23,5
CFPPA	C1R0	Ecum1	P152	85,5	705,7	30	23,5
CFPPA	C1R0	Ecum1	P122	85,5	705,7	30	23,5
CFPPA	C1R0	Ecum2	P146	42,8	352,9	20	17,6
CFPPA	C1R0	Ecum2	P171	42,8	352,9	20	17,6
CFPPA	C1R0	Ecum2	P103	42,8	352,9	20	17,6
CFPPA	C1R0	Ecum3	P147	85,5	705,3	30	23,5
CFPPA	C1R0	Ecum3	P115	85,5	705,3	30	23,5
CFPPA	C1R0	Ecum3	P159	85,5	705,3	30	23,5
CFPPA	C1R0	LP1	P170	63,5	523,7	NA	NA
CFPPA	C1R0	LP1	P129	63,5	523,7	NA	NA
CFPPA	C1R0	LP1	P116	63,5	523,7	NA	NA
CFPPA	C1R0	LP2	P139	31,7	261,9	NA	NA
CFPPA	C1R0	LP2	P109	31,7	261,9	NA	NA
CFPPA	C1R0	LP2	P163	31,7	261,9	NA	NA
CFPPA	C1R0	LV1	P110	5	41,2	10	4,1
CFPPA	C1R0	LV1	P161	5	41,2	10	4,1

CFPPA	C1R0	LV1	P128	5	41,2	10	4,1
CFPPA	C1R0	LV2	P156	2,5	20,6	10	2,1
CFPPA	C1R0	LV2	P106	2,5	20,6	10	2,1
CFPPA	C1R0	LV2	P138	2,5	20,6	10	2,1
CFPPA	C1R0	LV3	P157	5	41,2	10	4,1
CFPPA	C1R0	LV3	P123	5	41,2	10	4,1
CFPPA	C1R0	LV3	P114	5	41,2	10	4,1
EST	C1R0	DM1	P208	11,4	95,4	NA	NA
EST	C1R0	DM1	P219	11,4	95,4	NA	NA
EST	C1R0	DM1	P233	11,4	95,4	NA	NA
EST	C1R0	DM2	P206	5,7	47,7	NA	NA
EST	C1R0	DM2	P248	5,7	47,7	NA	NA
EST	C1R0	DM2	P229	5,7	47,7	NA	NA
EST	C1R0	DM3	P237	11,4	95,8	NA	NA
EST	C1R0	DM3	P212	11,4	95,8	NA	NA
EST	C1R0	DM3	P225	11,4	95,8	NA	NA
EST	C1R0	Ecum1	P232	22,8	191,3	10	19,1
EST	C1R0	Ecum1	P223	22,8	191,3	10	19,1
EST	C1R0	Ecum1	P202	22,8	191,3	10	19,1
EST	C1R0	Ecum2	P218	11,4	95,7	10	9,6
EST	C1R0	Ecum2	P238	11,4	95,7	10	9,6
EST	C1R0	Ecum2	P242	11,4	95,7	10	9,6
EST	C1R0	Ecum3	P236	22,8	191,5	10	19,2
EST	C1R0	Ecum3	P245	22,8	191,5	10	19,2
EST	C1R0	Ecum3	P215	22,8	191,5	10	19,2
EST	C1R0	FPG_com	P249	0,9	7,4	NA	NA
EST	C1R0	FPG_com	P204	0,9	7,4	NA	NA
EST	C1R0	FPG_com	P241	0,9	7,4	NA	NA
EST	C1R0	FPG_com	P224	0,9	7,4	NA	NA
EST	C1R0	FPG_com	P207	0,4	3,7	NA	NA
EST	C1R0	FPG_com	P210	0,4	3,7	NA	NA
EST	C1R0	FPG_com	P227	0,4	3,7	NA	NA
EST	C1R0	LP1	P235	41,9	352,2	NA	NA
EST	C1R0	LP1	P221	41,9	352,2	NA	NA
EST	C1R0	LP1	P240	41,9	352,2	NA	NA
SUD	C1R0	Ecum1	P344	62,1	577,2	30	19,2
SUD	C1R0	Ecum1	P332	62,1	633	30	21,1
SUD	C1R0	Ecum1	P313	62,1	502,7	30	16,8
SUD	C1R0	Ecum2	P320	31	279,3	20	14
SUD	C1R0	Ecum2	P339	31	254,4	20	12,7
SUD	C1R0	Ecum2	P304	31	304,1	20	15,2
SUD	C1R0	Ecum3	P326	62,1	533,7	30	17,8
SUD	C1R0	Ecum3	P312	62,1	608,2	30	20,3
SUD	C1R0	Ecum3	P340	62,1	496,5	20	24,8
SUD	C1R0	FPG_com	P303	2,1	16,7	NA	NA
SUD	C1R0	FPG_com	P330	2,1	18	NA	NA
SUD	C1R0	FPG_com	P308	2,1	18,2	NA	NA
SUD	C1R0	FPG_com	P309	1	9	NA	NA

SUD	C1R0	FPG_com	P328	1	10,7	NA	NA
SUD	C1R0	FPG_com	P315	1	8,8	NA	NA
SUD	C1R0	LP1	P345	266	2527,2	NA	NA
SUD	C1R0	LP1	P325	266	2208	NA	NA
SUD	C1R0	LP1	P319	266	2500,6	NA	NA
SUD	C1R0	LP2	P329	133	1183,8	NA	NA
SUD	C1R0	LP2	P327	133	1037,5	NA	NA
SUD	C1R0	LP2	P305	133	1090,7	NA	NA