

---

## Caractérisation fonctionnelle et étude de la nuisibilité des adventices de la canne à sucre à La Réunion

**Auteur :** Ponsart, Margaux

**Promoteur(s) :** Lassois, Ludivine

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master en bioingénieur : sciences agronomiques, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2021-2022

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/15195>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# **CARACTÉRISATION FONCTIONNELLE ET ÉTUDE DE LA NUISIBILITÉ DES ADVENTICES DE LA CANNE À SUCRE À LA RÉUNION**

**MARGAUX PONSART**

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER BIOINGÉNIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022**

**CO-PROMOTRICES : LUDIVINE LASSOIS – AUDE RIPOCHE – GAËLLE DAMOUR**

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

# **CARACTÉRISATION FONCTIONNELLE ET ÉTUDE DE LA NUISIBILITÉ DES ADVENTICES DE LA CANNE À SUCRE À LA RÉUNION**

**MARGAUX PONSART**

**TRAVAIL DE FIN D'ÉTUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE  
MASTER BIOINGÉNIEUR EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

**ANNÉE ACADÉMIQUE 2021-2022**

**CO-PROMOTRICES: LUDIVINE LASSOIS – AUDE RIPOCHE – GAËLLE DAMOUR**

## **Encadrement du travail de fin d'études**

Ce travail de fin d'études a été réalisé à l'île de La Réunion (France), au sein de l'unité AIDA (Agroécologie et Intensification Durable des cultures Annuelles) du Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), dont les bureaux et laboratoires sont situés à Saint-Denis (La Bretagne). La station expérimentale du site de Saint-Denis est située à La Mare (Sainte-Marie).

## **Remerciements**

Tout d'abord, je tiens à remercier ma promotrice, Ludivine Lassois, pour soutien et ses encouragements dans l'accomplissement de ce travail de fin d'études, et ce malgré les quelques milliers de kilomètres de distance. Je souhaite également remercier Aude Ripoché pour son accompagnement au fil des mois, ses nombreux conseils et son idée farfelue d'aller démêler des lianes dans un champ de canne à sucre... Merci pour cette créativité débordante et ces heures passées sur le terrain, la tête dans les adventices ! Un immense merci également à Gaëlle Damour pour son encadrement précieux et les nombreuses discussions d'écologie fonctionnelle qui ont fait naître en moi un réel intérêt pour ce domaine. Ce travail ne serait pas ce qu'il est sans vous !

Je remercie également Mathias Christina pour ses conseils en statistiques, son accompagnement et son appui sur le terrain. Merci aussi aux techniciens, Willy, TiClaude, Maurice, Manu et Gino, pour leur bonne humeur et leur précieuse aide sur le terrain.

Je souhaite remercier l'ensemble de la team des stagiaires du CIRAD. Merci pour tous ces bons moments partagés ensemble, au CIRAD ou sur les sentiers de randonnées !

Un merci tout particulier à mes ami.e.s de Gembloux, Bruxelles et Montpellier. Merci à la team « Glouloutanons » pour ces années d'étude partagées, ces heures de fous rires, et le soutien inconditionnel tout au long des études. Merci à Pierre pour cette amitié incommensurable et ses lots de bonnes ondes envoyées depuis la Belgique. Je tiens aussi à remercier la dreamteam des PVD dont j'ai eu la chance de croiser la route en ce début d'année, que des découvertes et des bons moments passés sous le soleil de Montpellier. Et bien sûr, je remercie Soso, ma coloc et partner in crime à La Réunion. Merci pour ces innombrables découvertes partagées de « l'île intense », ces heures de randonnées de folie, la bonne humeur et les rires du quotidien, sans oublier le soutien tout au long de la réalisation de ce travail de fin d'études.

Et enfin, je tiens à remercier ma famille qui m'a toujours soutenue. Merci de m'avoir donné l'opportunité de suivre ces belles études et d'avoir toujours cru en moi. Un merci tout particulier à ma Mam pour son soutien sans faille et ses conseils toujours si justes.

## Résumé

L'inquiétude grandissante de la société face aux conséquences néfastes de l'utilisation des pesticides sur l'environnement et la santé à l'échelle mondiale pousse de plus en plus de pouvoirs publics à envisager des restrictions d'utilisation des pesticides, et plus spécifiquement des herbicides. A l'île de La Réunion (France), l'infestation des cultures de canne à sucre par les lianes constitue l'une des principaux défis des planteurs, qui ont en vaste majorité recours aux herbicides pour protéger leur culture. Le développement de méthodes durables de gestion des adventices adaptées au contexte considéré nécessite une connaissance accrue des mécanismes de compétition exercés par les adventices vis-à-vis de la culture de canne à sucre. Cette étude a pour objectif de caractériser la nuisibilité potentielle de certains types d'adventices de la culture de canne à sucre à La Réunion. Pour ce faire, l'approche fonctionnel a été mobilisée pour décrire les espèces via la mesure de traits fonctionnels aériens et racinaires. Au total, quatorze traits fonctionnels ont été mesurés sur treize espèces d'adventices, réparties au sein de trois types (lianes, vivaces, petites dicotylédones). En parallèle, la croissance et la production de canne à sucre a été évaluée au cours de son cycle. Des pertes contrastées de rendement de canne ont permis de mettre en évidence un gradient de nuisibilité des différents types d'adventices. Les lianes constituent le type d'adventice engendrant la perte de rendement la plus élevée (en moyenne -22 %), suivie par les vivaces et les petites dicotylédones. Les valeurs des traits des espèces suggèrent l'existence de deux types de stratégie d'acquisition des ressources contrastés entre les espèces étudiées : une stratégie de maximisation de la biomasse aérienne et racinaire, *versus* l'existence d'un compromis entre la conservation et l'acquisition des ressources selon notamment les valeurs de surface foliaire spécifique et de contenu en azote foliaire. Néanmoins, il n'a pas été possible de mettre en évidence des stratégies d'acquisition des ressources spécifiques à un type d'adventices. La classification initiale est en conséquence à remettre en cause et de futures analyses de description des espèces, et notamment des lianes, semblent intéressantes à mettre en œuvre pour poursuivre la caractérisation de la nuisibilité des adventices.

**Mots-clés :** Canne à sucre – compétition des adventices – traits fonctionnels

## **Abstract**

The ever-growing societal concern about the adverse environmental and health impacts of pesticide use worldwide is leading more and more governments to consider restrictions on the use of pesticides and more specifically herbicides. In Reunion Island (France), the infestation of sugarcane crops by lianas is one of the main challenges for growers, who rely mostly on herbicides to protect their crop. The development of sustainable weed management methods suited to specific soil and climate conditions requires an increased knowledge of competition mechanisms exerted by weeds. The aim of this study is to characterize the potential harmfulness of certain types of weeds in sugarcane crops in La Reunion. To this end, the functional approach was mobilized to describe weed species through the measurement of aboveground and belowground functional traits. In total, fourteen functional traits were measured on thirteen weed species, divided into three types (lianas, perennials, small dicotyledons). In parallel, the growth and production of sugarcane was assessed during its cycle. A gradient of harmfulness of the different types of weeds was highlighted. Lianas were identified as the weed type causing the highest yield loss (on average -22%), followed by perennials and small dicotyledons. Species trait values suggest the existence of two contrasted types of resource acquisition strategies between species: maximizing aboveground and belowground biomass, and the evidence of a trade-off between resource conservation and acquisition, depending on the values of specific leaf area and leaf nitrogen content. Nevertheless, it was not possible to highlight resource acquisition strategies specific to a weed type. The initial classification should therefore be questioned and future analyses of species description is recommended to pursue the characterization of weeds' harmfulness.

Keywords: Sugarcane – weed competition – functional traits

## Liste des abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales

AIDA : Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles

BIC : Critère d'Information Bayésien

BMa : Biomasse aérienne

BMr : Biomasse racinaire

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CV : Coefficient de Variation

CWM : Community Weighted Mean

DAAF : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

DT : Désherbé Total

EC : Enherbement Choisi

ET : Enherbement Total

H : Hauteur

IFT : Indice de Fréquence de Traitement

IFTH : Indice de Fréquence de Traitement Herbicide

LCC : Leaf Carbon Content

LMF : Leaf Mass Fraction

LNC : Leaf Nitrogen Content

RD : Root Diameter

RSR : Root Shoot Ratio

SAU : Surface Agricole Utile

SCC : Stem Carbon Content

SLA : Specific Leaf Area

SNC : Stem Nitrogen Content

SRL : Specific Root Length

TLA : Total Leaf Area

UPR : Unité Propre de Recherche



# Table des matières

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Contexte et état de l'art .....</b>	<b>3</b>
1.1. Contexte et enjeu de la canne à sucre à La Réunion .....	3
1.1.1. La canne à sucre au centre de l'agriculture réunionnaise.....	3
1.1.2. La culture de canne à sucre .....	3
1.2. État des lieux des modes de gestion des adventices.....	5
1.2.1. Le recours aux herbicides .....	5
1.2.2. Leviers agroécologiques alternatifs aux herbicides.....	5
1.3. La compétition entre les adventices et la canne à sucre .....	7
1.3.1. Les effets de compétition .....	7
1.3.2. La croissance des adventices dans le contexte cannier réunionnais .....	9
1.3.3. Le besoin de connaissances fondamentales sur les adventices.....	10
1.4. L'approche fonctionnelle.....	11
1.4.1. Définition et concepts.....	11
1.4.2. Les stratégies d'acquisition des ressources et les traits reliés à ces stratégies.....	11
1.5. Contexte du stage.....	13
<b>2. Problématique, questions de recherche et démarche.....</b>	<b>14</b>
2.1. Problématique.....	14
2.2. Questions de recherche.....	14
2.3. Démarche globale.....	15
<b>3. Matériel et méthode .....</b>	<b>16</b>
3.1. Site et design expérimental .....	16
3.2. Itinéraire technique de la canne à sucre et gestion des adventices .....	19
3.3. Mesures.....	20
3.3.1. Canne à sucre .....	20
3.3.1.1. Croissance de la canne à sucre .....	20
3.3.1.2. Production de la canne à sucre .....	20
3.3.2. Communautés d'aventices.....	20
3.3.2.1. Relevés floristiques.....	20
3.3.2.2. Biomasses des adventices.....	21
3.3.3. Traits fonctionnels .....	21
3.3.3.1. Sélection des traits fonctionnels en lien avec la compétition pour les ressources .....	21
3.3.3.2. Mesure des traits.....	22
3.3.4. Traitement statistique .....	25
<b>4. Résultats .....</b>	<b>26</b>
4.1. Traits fonctionnels liés aux stratégies d'acquisition des ressources .....	26
4.1.1. Valeurs des traits .....	26
4.1.2. Corrélations entre traits moyens des espèces .....	30
4.1.3. Traits explicatifs de la variabilité entre les individus .....	31
4.1.4. Classification basée sur les valeurs des traits .....	33

4.1.4.1	Classification non supervisée.....	33
4.1.5.	Étude de la croissance et de la production de canne à sucre .....	35
4.1.6.	Biomasses d’adventices à la récolte et relation avec les pertes de rendement.....	38
<b>5.</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>41</b>
5.1.	Les traits fonctionnels.....	41
5.1.1.	Valeurs des traits et mise en évidence de leurs corrélations .....	41
5.1.2.	Regard critique sur la classification des types d’adventices .....	42
5.2.	Impact des types d’adventices sur la croissance et la production de canne à sucre .....	42
5.3.	Limites de l’étude .....	43
5.3.1.	Dispositif expérimental .....	43
5.3.2.	Mise en œuvre des protocoles.....	44
5.4.	L’approche fonctionnelle : intérêts et limite.....	45
<b>6.</b>	<b>Conclusion et perspectives.....</b>	<b>46</b>
<b>7.</b>	<b>Contribution personnelle de l’étudiante .....</b>	<b>48</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>		<b>49</b>
<b>ANNEXES.....</b>		<b>54</b>

# Table des figures

Figure 1 : Cycle phénologique de la canne à sucre, issu de Cheavegatti-Gianotto (2011) .....	4
Figure 2 : Décomposition de la nuisibilité réelle (d'après Caussanel, 1989) .....	8
Figure 3 : vue aérienne de la parcelle expérimentale Arène (ici encadrée en rouge), La Mare (Sainte-Marie, La Réunion, France) .....	16
Figure 4 : Design expérimental.....	18
Figure 5 : Diagramme d'infestation (recouvrement moyen en fonction de la fréquence relative) de l'ensemble des espèces recensées sur la parcelle expérimentale jusqu'au 29 mars. Par souci de lisibilité, seules les espèces de fréquence relative supérieure à 0,2 et d'abondance supérieure à 10% ont été affichées (par leur code EPPO). .....	23
Figure 6 (A et B) : Valeurs de 13 traits (A) et du SLA (B) mesurés en fonction du type d'adventices, voir Tableau X pour les noms des traits. Les lettres indiquent les différences significatives entre traitements (p-value <0.05), l'absence de lettre traduit une absence de différence significative .....	30
Figure 7 : Matrice de corrélation entre les traits. Le gradient de couleurs ainsi que le diamètre du cercle rendent compte du niveau et du sens de la corrélation. Seules les valeurs significatives sont présentées (voir Tableau X pour les noms des traits, exception : sla_1 = SLA, sla_2 = SLA plante entière, bm = BMa).....	31
Figure 8 : Analyse en composantes principales effectuées sur 14 traits (voir Tableau 3 pour les noms des traits, exception : sla_1 = SLA, sla_2 = SLA plante entière). [a] : Variables colorées en fonction de la qualité de leur représentation dans le plan à deux dimensions, les hautes valeurs de $\cos^2$ indiquent une haute qualité de représentation et inversement. [b] : Individus de forme et de couleur déterminés par leur appartenance aux types d'adventices (lianes, vivaces, petites dicotylédones (=dicot)). [c] : Individus de forme et de couleur déterminés par l'espèce (voir Tableau 4 pour les noms latins).....	32
Figure 9 : Analyse en composantes principales effectuées sur les 14 traits en fonction des clusters de la classification non supervisée.....	34
Figure 10 (a., b., c.) : Biomasse d'une tige, nombre de tiges (par m <sup>2</sup> ) et biomasse totale de canne à sucre (en t.ha <sup>-1</sup> ) par modalité et sous-modalité, classé chronologiquement. Les lettres indiquent des différences significatives (<0,05) (ET= Enherbement Total, EC = Enherbement Choisi et DT = Désherbage Total, dicot = petites dicotylédones) [par souci d'interprétation, la biomasse d'une tige a été représentée à la place du logarithme décimal] .....	37
Figure 11 : Pertes de rendement (%) par rapport au témoin désherbé (DT) à la récolte par modalité (ET = Enherbement Total, EC = Enherbement Choisi) et type d'adventices. Les lettres indiquent les différences significatives entre traitements (p-value <0,05). .....	39
Figure 12 : Régression linéaire du rendement (en t/ha) en fonction de la biomasse d'adventices (kg.m <sup>-2</sup> ), les points sont colorés selon le type d'enherbement .....	40

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques de la parcelle expérimentale .....	16
Tableau 2 : Itinéraire technique de la canne et interventions de gestion des adventices .....	19
Tableau 3 : Liste des traits fonctionnels mesurés .....	22
Tableau 4 : Liste des espèces échantillonnées (noms latins selon The World Flora Online - <a href="https://wfoplantlist.org/">https://wfoplantlist.org/</a> , code EPPO selon la EPPO Global Database [ <a href="https://gd.eppo.int/">https://gd.eppo.int/</a> ]) .....	23
Tableau 5 : Valeurs des moyennes, minima, maxima et coefficients de variation calculées sur l'ensemble des individus échantillonnés pour chaque trait.....	27
Tableau 6 : Valeurs des moyennes (Moy), écart-types (ET) et coefficients de variation (CV) de chaque trait, par espèce et par type d'adventices.....	28
Tableau 7 : Tableau des effectifs de chaque cluster en fonction de leur appartenance à une espèce (représentée par son code EPPO, voir Tableau 4 pour la correspondance avec les noms latins) et à un type d'adventices. ....	34
Tableau 8 : Résultats de l'analyse de la variance du logarithme décimal de la biomasse d'une tige (les p-value en gras sont significatives) .....	35
Tableau 9 : Résultats de l'analyse de la variance des trois modèles construits, résumés par variable à expliquer .....	36
Tableau 10 : Valeurs mesurées et prédites des biomasses (kg) et rendements (t.ha-1) par modalité et sous-modalité.....	38
Tableau 11 : Valeurs des biomasses (kg) fraîche et sèche d'adventices en fonction de la modalité et du type d'adventices .....	38
Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance de la biomasse sèche d'adventices (kg.m-2), résumés par variable à expliquer .....	39

# Table des annexes

<b>Annexe 1</b> : Méthode de notation des relevés floristiques (note de 1 à 9, et de 1 à 100 %) – Pascal Marnotte (2001).....	54
<b>Annexe 2</b> : Biomasse prédite (g) selon le modèle statistique en fonction de la biomasse mesurée pour la modalité désherbée, et le coefficient de détermination associé. ....	56
<b>Annexe 3</b> : Biomasse prédite (g) selon le modèle statistique en fonction de la biomasse mesurée pour les modalités enherbées (ET et EC confondus), et le coefficient de détermination associé .....	56
<b>Annexe 4</b> : Nombre d'individus échantillonnés par espèce.....	57
<b>Annexe 5</b> : Variabilités intraspécifiques (évaluées via le coefficient de variation CV) calculées par trait et par espèce (les valeurs en gras mettent en évidence les $CV_{intra} > CV_{inter}$ ) .....	58
<b>Annexe 6</b> : Contributions des traits à la première dimension de l'analyse en composantes principales (ACP) .....	59
<b>Annexe 7</b> : Contributions des traits à la deuxième dimension de l'analyse en composantes principales (ACP) .....	59
<b>Annexe 8</b> : Évaluation du nombre de clusters optimal à travers la méthode « silhouette ».....	60
<b>Annexe 9</b> : Valeurs des 12 traits (A) et des SLA et SLA plante entière (B) en fonction des clusters (voir Tableau X pour les noms des traits).....	61

# Introduction

Les nombreux scandales qui ont éclaté ces dernières années autour de l'utilisation des pesticides dans l'agriculture n'ont eu de cesse de raviver le débat de l'impact de ces produits phytosanitaires sur l'environnement et la santé humaine (Multigner et al., 2010; Van Bruggen et al., 2018; Holland et al., 2021). Largement dépendante des intrants de synthèse, l'agriculture moderne a permis une augmentation de production alimentaire à l'échelle mondiale mais s'est accompagnée d'un coût environnemental non négligeable (émissions de gaz à effet de serre, perte de biodiversité, érosion des sols, ...) (Montgomery, 2007; Gomiero et al., 2011; Dudley et al., 2017) et est aujourd'hui reconnue comme la principale cause de la pollution des eaux (Mateo-Sagasta et al., 2018). En conséquence, la pression sociétale pour limiter l'usage des pesticides, et notamment de produits phares comme le Roundup ©, s'accroît.

A La Réunion, l'agriculture est dominée par la culture de la canne à sucre qui occupe à elle seule 55% de la surface agricole utile (SAU) (Agreste, 2021). Le principal défi rencontré par les agriculteurs est l'infestation par les adventices, et notamment les lianes qui constituent un groupe d'espèces particulièrement dommageables et difficiles à maîtriser (Martin et al., 2010). Les pertes de rendement associées peuvent ainsi atteindre jusqu'à 15 t/ha/an (Marion et al., 1991; Antoir et al., 2016). A l'heure actuelle, le recours aux herbicides représente le principal moyen de lutte mais la place des herbicides est vouée à s'amenuiser à l'avenir (DAAF La Réunion, 2016). Le plan Ecophyto II+<sup>1</sup> vise en effet à réduire de 50% l'usage des pesticides d'ici à 2025, avec un objectif complémentaire spécifique de suppression du glyphosate à l'horizon 2022 (Martin et al., 2019a; agriculture.gouv.fr, 2022).

Face à cette nécessité de développer de nouvelles méthodes de lutte contre les adventices, de nouvelles techniques s'affranchissant des herbicides sont testées afin d'évaluer leur efficacité pour éventuelle diffusion aux planteurs : désherbage mécanique, paillage, semis de plantes de service sur l'inter-rang, ... (Antoir et al., 2016a). Cependant, pour développer des méthodes de lutte les plus adaptées possible au contexte considéré, il est important en amont d'acquérir une fine connaissance de la biologie et écologie des adventices d'intérêt (Dekker, 1999; Chauhan, 2020).

Décrire les stratégies d'acquisition des ressources des adventices est un moyen de comprendre les effets compétitifs qu'elles exercent sur la canne à sucre. Ces stratégies peuvent être décrites par un ensemble de traits fonctionnels associés à l'acquisition des ressources (principalement lumière et

---

<sup>1</sup> Le plan Ecophyto II+ est une initiative du gouvernement français, en réponse à une directive européenne de développement durable, qui a pour objectif de réduire l'utilisation de produits phytopharmaceutiques (agriculture.gouv.fr, 2022)

azote). Cette approche est dite « approche fonctionnelle » de la diversité (Garnier et al., 2013), dans laquelle un trait est défini comme « toute caractéristique héritable morphologique, physiologique ou phénologique mesurable à l'échelle de l'individu, de la cellule à l'organisme entier, sans référence à l'environnement ou à tout autre niveau d'organisation » (Violle et al., 2007). Dans le contexte cannier réunionnais, décrire ces stratégies pour des espèces d'adventices communes de la canne à sucre serait une manière d'approcher leur nuisibilité et leur impact sur la production de canne à sucre.

Le travail présenté ici a donc vocation à (i) étudier l'impact de la composition spécifique de la communauté d'adventices sur la croissance et la production de canne à sucre, (ii) décrire les traits associés à l'acquisition des ressources (principalement lumière et azote) d'une gamme d'adventices communes de La Réunion appartenant à différents types (lianes, vivaces, petites dicotylédones), et enfin (iii) étudier l'impact des traits moyens des communautés d'adventices sur la croissance et la production de canne à sucre. Ce mémoire constitue une première étape de caractérisation fonctionnelle des adventices, dans une perspective à moyen terme de développement de modes de gestion agroécologiques des adventices dans le contexte agricole cannier réunionnais.

# 1. Contexte et état de l'art

## 1.1. Contexte et enjeu de la canne à sucre à La Réunion

### 1.1.1. La canne à sucre au centre de l'agriculture réunionnaise

La filière canne à sucre est un pilier de l'économie réunionnaise, elle représente à elle seule 50% des exportations (Agreste, 2019) et constitue la principale source d'emplois de l'île (DAAF La Réunion, 2016). La transformation de la canne à sucre au sein des deux sucreries de l'île est gérée par le groupe français TEREOS Océan Indien (Agreste, 2019). Outre son importance économique, la canne est la culture majoritaire de l'île, avec 21 349 ha, soit une production annuelle moyenne évaluée à 1,7 million de tonnes ces 10 dernières années (Agreste, 2021). La part totale de la SAU occupée par la canne a été relativement constante ces dernières années (Agreste, 2019) mais une tendance à la concentration des exploitations s'observe depuis une vingtaine d'années. Estimé à environ 14 500 exploitations en 1989, le nombre d'exploitations est aujourd'hui évalué à 6252 exploitations (Agreste, 2021). Le maintien de la part de la SAU est expliqué par l'augmentation, en parallèle de la diminution du nombre d'exploitations, de la SAU moyenne par exploitation.

En plus du sucre, la canne sert à produire du rhum au sein des quatre distilleries de l'île mais aussi de l'énergie à partir de bagasse (fibre de la canne à sucre), ou encore de l'alimentation animale à partir de mélasse<sup>2</sup> ([agriculture.gouv.fr](http://agriculture.gouv.fr)). Ainsi, 100% des coproduits sont valorisés. La production annuelle de sucre évaluée en moyenne à 20.000 tonnes, dont 90% sont exportés, fait de La Réunion la première région productrice de sucre de canne en Europe (Syndicat du Sucre de La Réunion, nd).

### 1.1.2. La culture de canne à sucre

La canne à sucre (*Saccharum officinarum*) est une espèce de plantes monocotylédones de la famille des Poaceae. A La Réunion, cette culture pluriannuelle se récolte chaque année et reste en place en moyenne 10 ans avant d'être détruite (Chabalier et al., 2007). L'installation de la culture se fait en creusant des sillons de 30 cm de profondeur dans lesquels sont plantées des boutures d'où se développeront les nouvelles tiges (Cheavegatti-Gianotto et al., 2011). La culture est conduite en conditions pluviales à l'Est de l'île et en conditions irriguées à l'Ouest en raison de la dissymétrie de pluviométrie entre ces deux régions. Dans l'est de l'île, qualifié de région "au vent", les précipitations peuvent atteindre jusqu'à 11 000 mm/an, alors qu'à l'ouest, qualifié de région "sous le vent", les précipitations sont bien inférieures (Darras et al., 2021). La récolte s'étale de juin à décembre. Le rendement commercial moyen est de 75 t/ha, mais peut atteindre 100 à 120 t/ha (soit 50 t MS/ha) dans l'Ouest en conditions irriguées (Chabalier et al., 2007).

---

<sup>2</sup> Résidu sirupeux obtenu après cristallisation du sucre lors de la fabrication du sucre (Syndicat du Sucre de La Réunion, nd)



Le système racinaire est ainsi composé de deux types de racines : les racines adventives - c'est-à-dire celles qui se développent directement depuis la tige - et les racines permanentes, qui se développent a posteriori et permettent l'absorption des nutriments et l'ancrage de la plante après la germination (Martin et al., 2012; Antoir et al., 2016a) (Fig. 1). Si les conditions d'alimentation en eau sont suffisantes, l'azote conditionne le niveau de rendement de la canne (Chabalier et al., 2007). La phase intense d'absorption en azote se situe entre 3 et 6 mois après la plantation de la canne à sucre et est ensuite ralentie en hiver (en juillet et en août) (Chabalier et al., 2007).

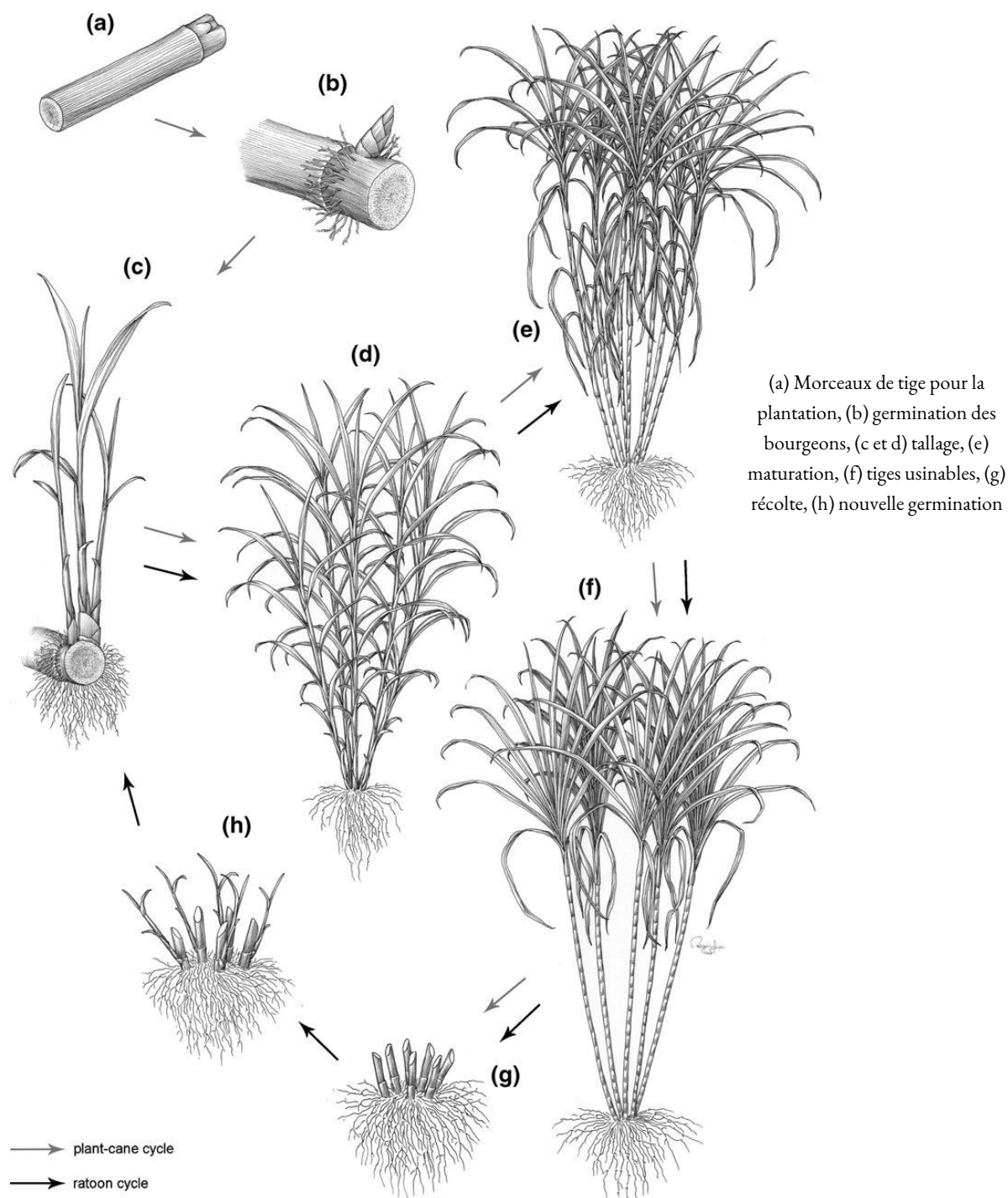


Figure 1 : Cycle phénologique de la canne à sucre, issu de Cheavegatti-Gianotto (2011)

## 1.2. État des lieux des modes de gestion des adventices

### 1.2.1. Le recours aux herbicides

A l'échelle mondiale, les adventices sont considérées comme le type de bioagresseurs causant la perte potentielle de rendement la plus élevée (Oerke, 2006). A la Réunion, leur gestion représente le principal défi pour les planteurs de canne à sucre. La perte de rendement pour une parcelle totalement enherbée peut atteindre jusqu'à 15 t/ha pour un mois de retard de désherbage (Marion et al., 1991; Antoir et al., 2016a). Ainsi, à La Réunion, les herbicides sont les principaux produits phytosanitaires utilisés en culture de canne à sucre car des moyens de lutte ont été trouvés pour les rares maladies ou bioagresseurs présents (DAAF La Réunion, 2016). Avec un IFTH de 3,1 en 2017 (DAAF La Réunion, 2016), en légère diminution par rapport à 2014 (3,43), l'utilisation d'herbicides est le moyen de lutte privilégié contre les adventices par les planteurs à l'heure actuelle. Au total, il existe 12 produits de référence<sup>3</sup> autorisés en canne à sucre (ANSES, July-16-2022). Parmi eux, l'herbicide de post-levée anticytotylédone « 2,4-D » représente 38% de l'IFTH en canne à sucre (DAAF La Réunion, 2020). Aussi, sur les 150 tonnes d'herbicides vendues chaque année à La Réunion, le 2,4-D et le glyphosate représentent 50% des ventes (DAAF La Réunion, 2016). Le plan Ecophyto, né à la suite du Grenelle de l'environnement en 2008 (Chambres d'agriculture), vise entre autres à réduire de 50% l'utilisation des produits phytosanitaires en France, tous usages confondus (Martin et al., 2016). Revu à plusieurs reprises, le plan Ecophyto II+ est aujourd'hui en application et fixe cet objectif de réduction d'ici à 2025 (Chambre d'agriculture). Une telle diminution requiert de profondes mutations des systèmes agricoles jusqu'ici fortement dépendants des produits phytosanitaires. A cet égard, le développement de nouvelles techniques agronomiques innovantes vise à réduire les effets de compétition entre les adventices et la canne à sucre.

### 1.2.2. Leviers agroécologiques alternatifs aux herbicides

La signification du terme "agroécologie" n'a cessé d'évoluer au fil du temps pour se référer aujourd'hui à un vaste domaine transdisciplinaire alliant des concepts d'écologie, d'agronomie, d'économie et de sociologie. L'une de ses définitions communément admise se réfère particulièrement au domaine de l'agronomie, l'agroécologie y est définie comme "l'application des concepts et principes écologiques à la conception et à la gestion d'agroécosystèmes durables, ou la science de l'agriculture durable" (Altieri, 1995; Gliessman, 2018). Dans cette perspective, les pratiques agroécologiques sont définies selon Wezel et ses collègues (2014) comme "des pratiques agricoles visant à produire des quantités significatives d'aliments, qui valorisent au mieux les processus écologiques et les services écosystémiques en les intégrant comme éléments fondamentaux dans le développement des pratiques, et qui ne se contentent pas de recourir à des techniques ordinaires, telles que l'application d'engrais chimiques et de pesticides de synthèse, [...]". Appliquées

---

<sup>3</sup> « Les produits de référence servent de tête de liste à toute une série de produits identiques (seconds noms commerciaux) ou équivalents (permis de commerce parallèle) » (Martin et al., 2019b).

à la gestion des adventices, les pratiques agroécologiques ont donc pour vocation de s'affranchir des herbicides tout en assurant une production suffisante.

Quatre pratiques agroécologiques en particulier peuvent s'appliquer dans le contexte cannier à la recherche de modes de gestion durable des adventices : l'implantation de plantes de couverture, le mulching<sup>4</sup>, la rotation culturale et enfin l'interculture (Wezel, 2017). Les deux premières pratiques ont pour objectif d'améliorer la fertilité tout en offrant une couverture permanente du sol, elle-même exerçant un effet de compétition pour la lumière sur les populations d'adventices et une barrière mécanique à leur levée (Altieri, 2000; Teasdale et al., 2000). Les deux dernières présentent l'avantage de rompre les cycles des adventices et ainsi diminuer leur occurrence (Altieri, 2000). De nombreuses pratiques alternatives à l'utilisation des herbicides ont été testées en canne, inspirées de ces diverses pratiques.

Les pratiques de **gestion de la paille** en sont un premier exemple. Ainsi, l'épillage est une pratique de mulching consistant à enlever la paille de la canne régulièrement lors de sa croissance afin de créer une couverture végétale morte au sol, bloquant le développement des adventices. Une autre pratique de gestion de la paille consiste à la création d'un paillis naturel, aussi appelé mulch, composé des pailles de la canne du cycle précédent la repousse de la canne actuelle. Il est à noter cependant que la quantité de paille disponible pour le paillis dépend du type de coupe (mécanique tronçonnée, mécanique entière, manuelle) utilisé par le planteur et conditionne l'efficacité du paillis (Chabaliér et al., 2007; Mansuy et al., 2019). Les expérimentations conduites à La Réunion dans le cadre du projet CanécoH<sup>5</sup> ont démontré une réduction de 29 et 49% de l'IFTH à la suite de la mise en place respectivement d'un et deux épillage(s), et une réduction de 48% de l'IFTH dans le cas du paillis (Mansuy et al., 2019).

Il est également possible d'implanter des **plantes de couverture intercalaires**. Au-delà des avantages décrits précédemment pour les plantes de couverture, ces couverts semés entrent en compétition avec les adventices non seulement pour la lumière mais également pour les ressources (Cordeau et al., 2017). Une légumineuse en particulier est testée depuis plusieurs années à la Réunion, il s'agit du pois sabre (*Canavalia ensiformis* L.). Les résultats des différentes expérimentations ne tombent cependant pas sur un consensus quant à l'effet potentiellement bénéfique de cette pratique, notamment sur le rendement de canne (Mansuy et al., 2019; Chetty et al., 2020). L'origine de ce phénomène s'explique notamment à travers la double compétition exercée par la plante de couverture sur les adventices et la canne à sucre.

---

<sup>4</sup> Le mulching, au sens organique du terme, est défini comme une technologie par laquelle au moins 30 % de la surface du sol est recouverte de matière organique (Erenstein 2003).

<sup>5</sup> Le projet CanécoH à La Réunion avait pour but "d'identifier, tester, comparer et évaluer différentes pratiques de désherbage alternatif au tout chimique dans différentes situations de production" (Mansuy et al., 2019).

Un dernier levier de gestion de l'enherbement étudié est la mise en place d'une **culture entre deux cycles de canne**. En effet, le cycle de la canne s'étalant sur 5 à 10 ans, les planteurs laissent généralement entre 2 et 4 mois le champ en jachère avant la plantation d'une nouvelle canne. Outre le risque d'érosion à la suite d'intempéries climatiques, cette période est propice au développement des adventices. Planter un couvert végétal présente l'avantage de réduire considérablement le développement des adventices, l'effet étant conditionné par la réussite du semis. Diverses espèces de légumineuses, en mélange ou pure, peuvent être semées et permettent, entre autres, de réduire l'IFTH (Mansuy et al., 2019; Chetty et al., 2020).

En dehors du cadre des pratiques agroécologiques, il existe également le recours à la mécanisation, largement testé à La Réunion. Il est ainsi possible de réaliser un **désherbage mécanique** sur l'inter-rang par le passage d'outils à dents (bineuse, herse étrille) ou à disque (herse à disques) (DAAF La Réunion, 2016). Une réduction de 30 à 54% de l'IFTH est observée, selon le contexte pédoclimatique et les outils utilisés (DAAF La Réunion, 2016; Mansuy et al., 2019; Chetty et al., 2020). Par ailleurs, il existe également la pratique du faux-semis qui consiste à réaliser une préparation du sol précédent le semis (en l'occurrence en canne à sucre, la plantation des boutures) afin de faire germer les adventices avant de les détruire mécaniquement avant de réaliser la plantation (Chetty et al., 2020).

Néanmoins, il n'y a actuellement aucun itinéraire technique faisant consensus pour limiter voire supprimer l'usage des herbicides. Par ailleurs, les expérimentations permettant de tester ces modes de gestion manquent généralement d'intérêt envers la flore spontanée observée.

### 1.3. La compétition entre les adventices et la canne à sucre

#### 1.3.1. Les effets de compétition

Lorsque des plantes coexistent et partagent un pool de ressources (lumière, eau, minéraux) dont l'abondance est insuffisante pour subvenir aux besoins de l'ensemble des plantes, une compétition s'installe (Moreau et al., 2020a). La nuisibilité des adventices découle de ces phénomènes de concurrence et se traduit par des effets négatifs sur la croissance et le développement de la plante cultivée (Caussanel, 1989). Deux grands types de nuisibilité sont à distinguer (Fig. 2). La nuisibilité primaire reflète les effets indésirables de la flore spontanée sur la récolte. Elle se distingue de la nuisibilité secondaire qui correspond à l'altération de la capacité future de la parcelle à produire la culture d'intérêt à travers divers phénomènes comme l'accroissement du stock semencier de la parcelle, la contamination du matériel végétal, ... (Caussanel, 1989).

La nuisibilité primaire entraîne une perte de rendement. Elle se scinde en deux catégories : la nuisibilité primaire directe qui résulte des effets de compétition pour les ressources (lumière, eau et éléments nutritifs) entre la plante cultivée et la flore adventice et impacte la quantité de produit récolté, et la nuisibilité primaire indirecte qui se traduit par une dégradation de l'état sanitaire de la parcelle (adventices hôtes ou réservoirs de bio-agresseurs), une altération de la qualité de la récolte, une augmentation du coût des travaux culturaux, ... (Caussanel, 1989; Moreau et al., 2020a; Schwartz, 2021).

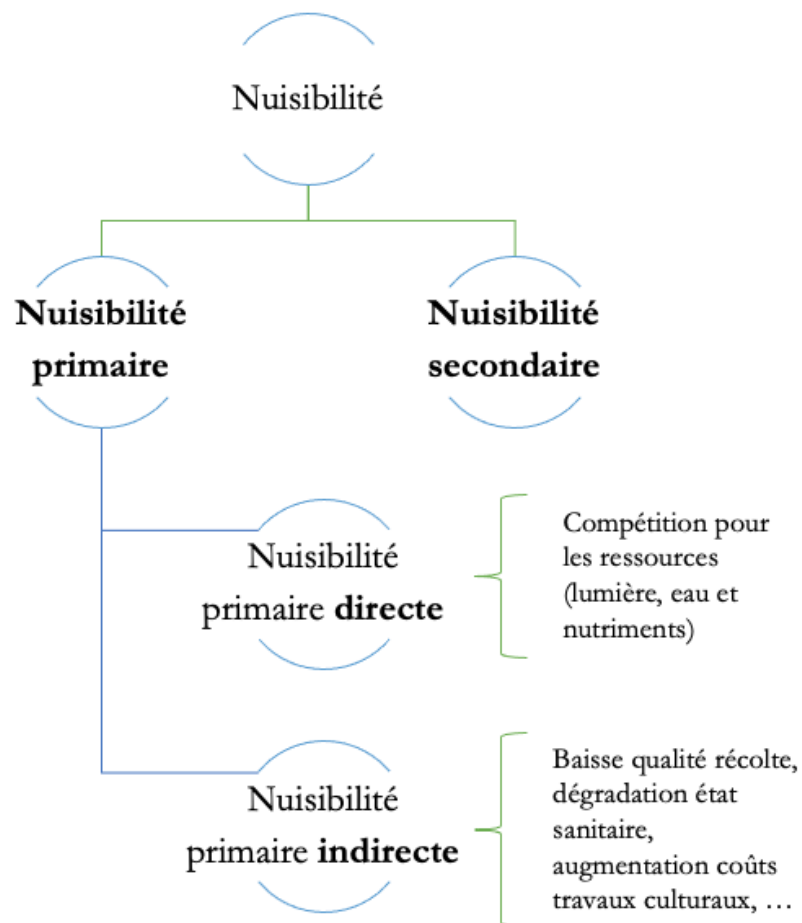


Figure 2 : Décomposition de la nuisibilité réelle (d'après Caussanel, 1989)

La compétition pour les ressources, qui se réfère à la nuisibilité primaire directe, peut s'exercer à différents niveaux. Les interactions culture-adventices peuvent survenir au niveau souterrain donnant lieu à la compétition pour les ressources du sol comme les éléments minéraux et l'eau, mais aussi au niveau aérien à travers la compétition pour la lumière. Les différents processus qui régissent l'acquisition des ressources permettent de caractériser la capacité compétitive d'une espèce végétale considérée.

La lumière est une ressource essentielle pour la croissance de la plante. Elle agit comme force motrice du processus de photosynthèse permettant à la plante de produire des hydrates de carbone

nécessaires à sa croissance. En raison de son caractère unidirectionnel, la lumière est une ressource fréquemment limitante pour les plantes des strates inférieures d'un couvert végétal (Moreau et al., 2020a). Quatre processus sont en lien avec l'acquisition et l'utilisation de la lumière : l'interception de la lumière par la surface foliaire, la conversion de la lumière en énergie nécessaire à la production d'hydrates de carbone, la demande et l'allocation des hydrates de carbone aux différents organes de la plante (Tardy et al., 2015). Dans le contexte d'une interaction culture-adventices, l'aptitude des adventices à exercer une compétition pour la lumière dépend de trois processus distincts : leur rapidité à coloniser l'espace, la surface qu'elles occupent, et leur plasticité morphologique face à l'ombrage (Colbach et al., 2020).

La compétition souterraine, aussi appelée compétition racinaire, concerne l'eau et les nutriments, et pour ces derniers, principalement l'azote. Quatre processus influencent l'acquisition des ressources souterraines : les besoins de la plante, l'exploration du sol dans l'espace et dans le temps, et enfin l'assimilation de l'eau et des nutriments via le transport des ressources au sein de la plante (Tardy et al., 2017). L'effet compétitif d'une adventice vis-à-vis de la culture dépend de la dynamique de mise en place et de croissance des racines au sein des horizons du sol, déterminant la temporalité des prélèvements d'eau et d'azote, ou encore de la forme d'azote préférentiellement prélevée (Cordeau et al., 2017; Moreau et al., 2020a).

### 1.3.2. La croissance des adventices dans le contexte cannier réunionnais

Dans la majeure partie des régions tropicales comme dans les zones cultivées en canne à La Réunion, les adventices bénéficient de conditions de températures et de précipitations favorables à leur développement toute l'année, elles sont ainsi présentes tout au long des cycles de culture. La canne à sucre est cependant principalement sensible à la présence d'adventices dans ses premiers mois de croissance (Liu et al., 2009; Cheavegatti-Gianotto et al., 2011a). Antoir et al. (2016) a ainsi mis en évidence que les pertes de rendement sont corrélées positivement à la précocité, l'intensité et la durée de la concurrence exercée par les adventices. Au-delà de quatre mois de cycle, la levée de nouvelles adventices n'a que peu d'impact sur la croissance et le développement de la canne, le feuillage de la canne étant suffisant pour empêcher le développement des adventices, à l'exception du cas particulier des lianes grimpantes (Martin et al., 2012; Antoir et al., 2016b). Suganthi et al. (2019) proposent une autre manière d'envisager la période de compétition en considérant qu'elle s'étend depuis le début de la coexistence des adventices avec la culture jusqu'à ce que la canne recouvre 80% du sol.

Depuis plusieurs décennies, certaines familles et groupes d'espèces d'adventices sont considérées comme particulièrement nuisibles pour la canne à sucre. C'est notamment le cas de diverses espèces de liserons (*Ipomoea* spp.), de certaines graminées et des Cyperaceae (Cheavegatti-Gianotto et al., 2011). Bien que la flore adventice soit particulièrement dépendante des conditions pédoclimatiques

et de facteurs biotiques, certaines espèces végétales sont typiques de la canne à sucre : *Amaranthus viridis*, *Bidens pilosa*, *Cyperus rotundus*, *Commelina benghalensis*, *Cynodon dactylon*, *Digitaria sanguinalis*, *Euphorbia heterophylla*, *Euphorbia hirta*, *Trianthema portulacastrum*, *Gynandropsis pentaphylla*, *Cleome viscosa*, et *Tridax procumbens* (Suganthi et al., 2019; Le Bourgeois et al., 2021).

Ces dernières années, ce sont particulièrement les espèces de lianes grimpantes qui inquiètent les planteurs (Martin et al., 2010). Grâce à leur capacité à s'enrouler autour de la canne, les espèces de lianes grimpantes, regroupant une trentaine d'espèces à La Réunion, s'érigent au-delà du couvert de canne et peuvent ainsi capter la lumière nécessaire à leur développement. Cet accès privilégié à la ressource lumineuse leur confère un avantage compétitif par rapport à la canne, leur permettant ensuite de se développer, de recouvrir la culture et d'*in fine* l'étouffer (Martin et al., 2010). Les lianes entravent l'élongation des tiges de canne à sucre provoquant parfois leur verse. A cette compétition aérienne s'ajoute également une compétition souterraine pour l'eau et les nutriments (Martin et al., 2012). Le passage de machines ou planteurs lors de la réalisation de travaux de désherbage ou encore lors de la récolte peut également être compliqué (Martin et al., 2010, 2012; Beluci et al., 2018). La nuisibilité des lianes se manifeste donc non seulement par une perte de production par effets de compétition (nuisibilité primaire directe) mais également par un ralentissement de la récolte (nuisibilité primaire indirecte).

L'augmentation de l'occurrence des lianes dans les parcelles de canne s'explique à travers l'augmentation de la présence des oiseaux qui utilisent le réseau d'asperseurs comme reposoirs et participent ainsi à la dispersion des graines de lianes à fruits charnus (Martin et al., 2012). Pour les autres espèces de lianes à grosses graines comme les ipomées et autres Convolvulaceae, la mécanisation favorise leur dispersion en transportant les graines coincées dans les engins d'une parcelle à l'autre (Martin et al., 2012; Correia, 2016). A elles seules, les espèces d'ipomées peuvent réduire de 27 à 36 % la production de tiges de canne (Correia, 2016). Ces espèces, ainsi que *Merremia aegyptia*, sont difficiles à maîtriser en raison notamment de leur phénologie. Elles sont en effet capables de germer sur un large spectre de températures et présentent des levées étalées dans le temps (Bhullar et al., 2012; Martin et al., 2012).

### 1.3.3. Le besoin de connaissances fondamentales sur les adventices

Tout mode de gestion des adventices requiert en amont une connaissance fine des adventices visées, et plus précisément une compréhension de leur biologie et écologie (Chauhan, 2020). Ces informations permettent de caractériser la compétition qui pourrait s'exercer en leur présence et de mieux décrire la nuisibilité qui pourrait en découler. Étudier cette compétition requiert d'étudier les processus physiologiques des adventices qui peuvent être approchés par la compréhension de leurs stratégies d'acquisition des ressources. L'approche fonctionnelle permet d'évaluer ces processus au

travers des traits fonctionnels qui agissent comme des indicateurs des processus pilotés par les plantes (Tardy et al., 2015).

## 1.4. L'approche fonctionnelle

### 1.4.1. Définition et concepts

L'approche fonctionnelle de la biodiversité, issue du domaine de l'écologie comparative, consiste en une approche non taxonomique de caractérisation de la diversité des plantes (Garnier et al., 2013; Chaudot, 2019). Elle consiste à utiliser des caractéristiques des plantes, appelés « traits », pour décrire leur fonctionnement. Un trait est défini comme « toute caractéristique héritable morphologique, physiologique ou phénologique mesurable à l'échelle de l'individu, de la cellule à l'organisme entier, sans référence à l'environnement ou à tout autre niveau d'organisation » (Violle et al., 2007; Garnier et al., 2013). Ces traits modulent la valeur adaptative des individus considérés, à savoir leur « capacité à produire des descendants matures (viabiles et reproducteurs), relativement aux autres individus de la même population et au même moment » (Violle et al., 2007).

L'un des intérêts d'une telle approche réside dans sa capacité à appréhender les interactions entre les organismes et les composantes de leur environnement. Ainsi, l'approche fonctionnelle permet de mieux appréhender le comportement des adventices à travers la caractérisation de leur effet sur l'environnement et de leur réponse aux facteurs environnementaux (Lavorel et al., 2002; Navas, 2012). Ces éléments permettent d'introduire les notions de « trait d'effet », défini comme un « trait qui influe les propriétés des écosystèmes », et « trait de réponse », défini comme un « trait dont les valeurs répondent aux variations de conditions de milieu, qu'elles soient de nature biotique ou abiotique » (Lavorel et al., 2002). Un second intérêt de cette approche est qu'elle peut être appliquée à différents niveaux d'organisation (écosystème, communauté, individu), notamment à travers le calcul de Community Weighted Mean (CWM), à savoir des traits moyens de communautés. Il sera cependant davantage question du niveau individuel dans cette étude.

Dans le contexte agricole, l'approche fonctionnelle appliquée à la description des adventices est une opportunité d'acquérir des connaissances sur leurs réponses à une ou des pratiques culturales données et, a posteriori, d'adapter les méthodes de gestion de la flore adventice (Gaba et al., 2014).

### 1.4.2. Les stratégies d'acquisition des ressources et les traits liés à ces stratégies

L'acquisition des ressources d'un individu conditionne sa survie dans un site donné. Cette gestion relève de la manière dont l'individu acquiert, conserve et perd les ressources (Garnier et al., 2013). Les performances des espèces dépendent de stratégies écologiques représentées par des ensembles de traits. Ces stratégies confèrent certains avantages relatifs (Fortunel et al., 2012). A l'échelle de la plante, il est commun de décrire les stratégies d'acquisition et de conservation des ressources au



niveau aérien puis au niveau racinaire. Au niveau aérien, ces stratégies sont étudiées au travers de traits se rapportant principalement aux feuilles en raison de leur rôle dans la photosynthèse et donc l'acquisition de carbone. Au niveau racinaire, elles sont étudiées via des traits mesurés sur les racines de la plante.

Il existe un compromis fondamental entre acquisition rapide et conservation efficace des ressources qui fait l'objet de nombreuses publications en écologie. L'étude réalisée par Wright et al. (2004) a quantifié pour la première fois ce compromis via l'étude d'un large jeu de données de traits foliaires. Cette analyse a ainsi permis de classer les espèces selon leurs stratégies sur un continuum allant de l'acquisition rapide des ressources à leur conservation, par la mise en évidence de corrélations positives ou négatives entre les traits foliaires. Il en découle un « spectre économique foliaire » (en anglais, “leaf economics spectrum” ; Wright et al., 2004) illustrant un spectre d'espèces aux stratégies dites « acquises » et aux stratégies dites plutôt « conservatives » (Garnier et al., 2013). Une forte vitesse de photosynthèse et d'efficacité d'utilisation des nutriments sont alors des caractéristiques de la première stratégie alors que l'inverse se rapporte davantage aux stratégies conservatives.

A l'instar du spectre économique foliaire, un spectre économique racinaire (en anglais “root economics spectrum”) a pu être mis en évidence suite à l'analyse de douze traits racinaires (Roumet et al., 2006). Roumet et al. (2016) a ainsi démontré l'existence de relations particulières entre traits, en lien avec les stratégies d'acquisition des ressources. Ainsi, des plantes à croissance rapide présentent généralement des racines à haute teneur en azote, une respiration importante et une haute valeur de longueur spécifique (SRL) (Garnier et al., 2013).

En lien avec les effets de compétition présentés (voir 1.3.1.), les traits mesurés doivent être reliés aux processus à l'origine de l'acquisition de la lumière et des ressources souterraines. En outre, les traits doivent présenter au moins 4 caractéristiques, énoncées par Garnier et Navas (2013) : ils doivent « (1) être reliés à une fonction de la plante; (2) être relativement faciles à observer et rapides à quantifier; (3) être mesurables selon des protocoles standardisés utilisables sur une large gamme d'espèces et de conditions de croissance; (4) permettre d'établir des hiérarchies entre espèces qui soient conservées entre milieux contrastés, sans pour autant que les valeurs absolues de ces traits soient nécessairement constantes ».

D'une part, les quatre processus reliés à l'acquisition de la lumière (interception, conversion de la lumière, besoins en hydrates de carbone, allocation des hydrates de carbone) peuvent être approchés par des traits en lien avec la partie aérienne des plantes. A cet égard, la hauteur (H) est une estimation fiable de l'interception lumineuse en considérant notamment le fait qu'une plante haute induit un ombrage pour les strates inférieures, lui conférant *in fine* un avantage compétitif (Violle et al., 2009). La surface foliaire spécifique (SLA) est un second trait largement mesuré, il est lié au processus

d'efficacité de conversion lumineuse et représente la capacité photosynthétique des espèces (Garnier et al., 2013; Garcia et al., 2020). Ce trait est par ailleurs un indicateur du taux de croissance relatif (RGR), plus aisé à mesurer au champ que ce dernier (Garcia et al., 2020). La demande en hydrates de carbone est approchée par la biomasse aérienne (B<sub>Ma</sub>). Le quatrième et dernier processus, à savoir l'allocation des hydrates de carbone, peut être évalué via la fraction massique foliaire (LMF) (Tardy et al., 2015).

D'autre part, les quatre processus influençant l'acquisition des ressources du sol par les racines (les besoins de la plante, l'exploration du sol dans l'espace et dans le temps, et l'assimilation de l'eau et des nutriments) sont généralement associés à des traits racinaires, mais également foliaires. La surface foliaire totale (TLA) illustre le premier processus, les besoins de la plante. La capacité d'une plante à acquérir des ressources du sol et à les transporter, ainsi que l'exploration spatiale du sol, sont appréciées à travers la longueur racinaire spécifique (SRL) et le diamètre racinaire (RD) (Freschet et al., 2017, 2021; McCormack et al., 2017). La longueur spécifique racinaire, considérée comme l'analogue de surface foliaire spécifique pour les parties racinaires, est généralement utilisée avec le RD pour classer les racines selon leurs fonctions. Ainsi, des racines fines (de 0 à 2 mm) joueront un rôle important dans l'acquisition de l'eau et des nutriments, alors que les racines de diamètre supérieur garantissent l'ancrage et assurent les fonctions de stockage de la plante (McCormack et al., 2015).

Des espèces présentant des valeurs élevées de SRL, de LNC et LCC, et de SLA, combinées à des faibles RD, sont caractéristiques de plantes aux stratégies d'acquisition rapide des nutriments, ce qui leur permet de maximiser leur taux de croissance. Les tendances inverses illustrent des stratégies conservatives de rétention des nutriments, avec un retour plus faible sur investissement.

## 1.5. Contexte du stage

L'Unité Propre de Recherche Aïda du CIRAD (organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes) est active dans le domaine de l'agroécologie et dédie ses travaux à l'intensification durable des cultures annuelles en milieu tropical. À La Réunion, l'UPR Aïda focalise ses recherches autour de la culture de la canne à sucre. Le site expérimental de La Mare, situé dans le Nord de l'île, accueille divers essais dont l'objectif global est de tester des modes de gestion des adventices permettant de réduire l'utilisation des herbicides. Dans un contexte de culture de canne à sucre, ce stage s'inscrit dans la continuité des travaux de recherche de l'unité Aïda à La Réunion et constitue une première étape afin de mieux comprendre les interactions entre les adventices et la canne à sucre, dans une optique à long terme de proposer des modes de gestion alternatifs des adventices.

## 2. Problématique, questions de recherche et démarche

### 2.1. Problématique

Le développement de modes durables de gestion des adventices met en lumière le manque de connaissances fondamentales sur les adventices de la canne à sucre. En tentant de décrire leurs stratégies d'acquisition des ressources, l'objectif est de mieux appréhender leurs effets compétitifs sur la canne à sucre. Ce travail de mémoire vise à répondre à la problématique générale suivante : *Comment décrire la compétition de différents types d'adventices de la canne à sucre et leur impact sur la croissance et la production de canne à sucre ?*

L'hypothèse principale est que l'approche fonctionnelle permet de caractériser les adventices et leur impact sur la canne à sucre, et ainsi répondre à la problématique globale.

### 2.2. Questions de recherche

Trois questions de recherche découlent de cette problématique :

Q1-1 : *Quelles sont les valeurs de traits liés à l'acquisition des ressources exprimés par les différentes espèces d'adventices et leurs gammes de variation associées ?*

Q1-2 : *Par extension, quelles sont les valeurs de traits des différents types d'adventices ?*

H1 : Le groupe des lianes présentent des valeurs de traits se rapportant à des stratégies acquiesitives de la ressource lumineuse, à travers notamment des valeurs élevées de H et de BM.

Q2 : *Quel est l'impact de communautés composées de différents types d'adventices sur la croissance et la production de canne à sucre ?*

H2 : Des couverts d'adventices composés d'espèces de différents types induisent des nuisibilités différentes sur la croissance et production de canne à sucre.

H2' : On suppose l'existence d'un gradient de nuisibilité où le type d'adventices « lianes » présente une nuisibilité supérieure aux types « vivaces » et « petites dicotylédones ».

La validité de la démarche de comparaison des espèces entre elles reposent sur l'hypothèse de travail que la variabilité intraspécifique est inférieure à la variabilité interspécifique pour chaque trait considéré (McGill et al., 2006).

Q3 : *Quel est l'impact des traits moyens de communautés d'adventices de compositions spécifiques différentes sur la croissance et la production de canne à sucre ?*

H3 : Certains traits ou combinaisons de traits en lien avec les stratégies d'acquisition des ressources permettent d'expliquer des différences de nuisibilité de communautés d'adventices vis-à-vis de la culture de canne.

A noter que cette troisième question ne sera pas développée au sein de cet écrit. Des pistes de réponse seront présentées ultérieurement lors de la présentation orale.

### 2.3. Démarche globale

Dans le but de répondre à ces différentes questions de recherche, un dispositif expérimental a été mis en place sur la station expérimentale du CIRAD. Une première étape a consisté à réaliser un inventaire des espèces présentes sur la parcelle de canne à sucre. De là, trois types d'adventices (lianes, vivaces et petites dicotylédones) rassemblant des espèces fréquentes et abondantes, à l'effet compétitif supposément semblable au sein même du type mais contrasté par rapport aux autres types, ont été identifiés et inclus dans dispositif. Un choix de traits fonctionnels aériens et racinaires a été effectué sur la base de leur pertinence pour décrire les stratégies d'acquisition des ressources et pour leur facilité de mise en œuvre au champ et au laboratoire. Ces traits ont été mesurés à un moment agronomiquement intéressant par rapport à la culture en place, à savoir entre 3 et 6 mois après la plantation de la canne à sucre (voir 3.3.3.2.). Des mesures de croissance de canne à sucre et des relevés floristiques des adventices ont été réalisés au cours du cycle de canne. A la fin de l'expérimentation, la production de canne a été mesurée ainsi que la biomasse d'adventices.

### 3. Matériel et méthode

#### 3.1. Site et design expérimental

La parcelle expérimentale est située sein de la station expérimentale du CIRAD située à La Mare, dans la ville de Sainte-Marie, au Nord de l'île de La Réunion (France) (Fig. 3). Les conditions pédoclimatiques du site expérimental sont synthétisées dans le Tableau 1.

*Tableau 1 : Caractéristiques de la parcelle expérimentale*

Commune	Sainte-Marie
Coordonnées GPS	-20.903, 55.531
Altitude	65m
Température moyenne	24,2 °C
Pluviométrie	1 414 mm/an
Type de sol	Nitisol (FAO)
Irrigation	Aspersion



*Figure 3 : vue aérienne de la parcelle expérimentale Arène (ici encadrée en rouge), La Mare (Sainte-Marie, La Réunion, France)*

En novembre 2021, la parcelle a été plantée avec la variété R579 de canne à sucre. L'objectif principal de cet essai est de tester différents modes de gestion des adventices. La parcelle est composée de 10 rangs de canne à sucre, avec un inter-rang de 1,5 m. Douze parcelles élémentaires de 15 x 7 m ont été définies suivant la pente de la parcelle (pente  $\approx$  10 %, Fig. 4). La parcelle a été divisée en 3 bandes de 4 rangs de canne, correspondant chacune à un type d'enherbement différent (les rangs extérieurs de la modalité centrale étant commun avec les modalités extérieures, Fig. 4) : un témoin dés herbé (DT), un témoin totalement en herbé (ET), et la bande située entre les deux est l'enherbement choisi (EC). Il se subdivise en trois sous-modalités correspondant à trois types d'adventices testés : les lianes, les vivaces et les petites dicotylédones. Chacun de ces types est représenté quatre fois au sein de la bande d'enherbement différencié et possède ainsi 4 répétitions par type d'adventices. Les bandes témoins possèdent chacune 12 répétitions. Au sein de chaque parcelle élémentaire, 3 placettes de 3 x 3 m ont été délimitées. Au total, la parcelle expérimentale compte 36 placettes (Fig. 4).

Ces différentes modalités de gestion de l'enherbement concernent à la fois le rang et l'inter-rang. Il s'agit d'un dispositif non randomisé. En effet, il est nécessaire de conserver le même type d'enherbement sur des rangs de canne en entier en raison des contraintes techniques propres aux interventions de désherbage. De plus, la bande centrale regroupant les trois modalités d'enherbement différencié n'est également pas randomisée. Les différentes modalités ont été placées en fonction des espèces d'adventices initialement présentes au sein de la placette au moment de la mise en place des placettes (début mars).

Les trois types d'adventices composant la bande d'enherbement différencié ont été créés sur la base des espèces présentes au sein de la parcelle et en mobilisant la classification des espèces d'adventices communes à La Réunion issue du « Guide des bonnes pratiques de désherbage de la canne à sucre - Île de La Réunion 2016 » (Antoir et al., 2016). Ces types d'adventices ont été établis selon les critères suivants : l'appartenance botanique, la taille et/ou le type biologique des adventices. Ils ont pour objectif de faciliter la gestion des parcelles en regroupant les adventices « au comportement similaire » (Antoir et al., 2016). Étant donné que l'ensemble des espèces composant ces types n'a pas été observé sur la parcelle expérimentale, trois types d'espèces ont été définis sur la base de trois critères : la classification issue du Guide (Antoir et al., 2016), les dires d'expert, et enfin les observations de la diversité de la flore spontanée réalisées au début de la mise en place du dispositif (voir 3.3.2.1.). Il en résulte une nouvelle classification faisant la distinction entre trois types d'adventices : les lianes, les vivaces et les petites dicotylédones.

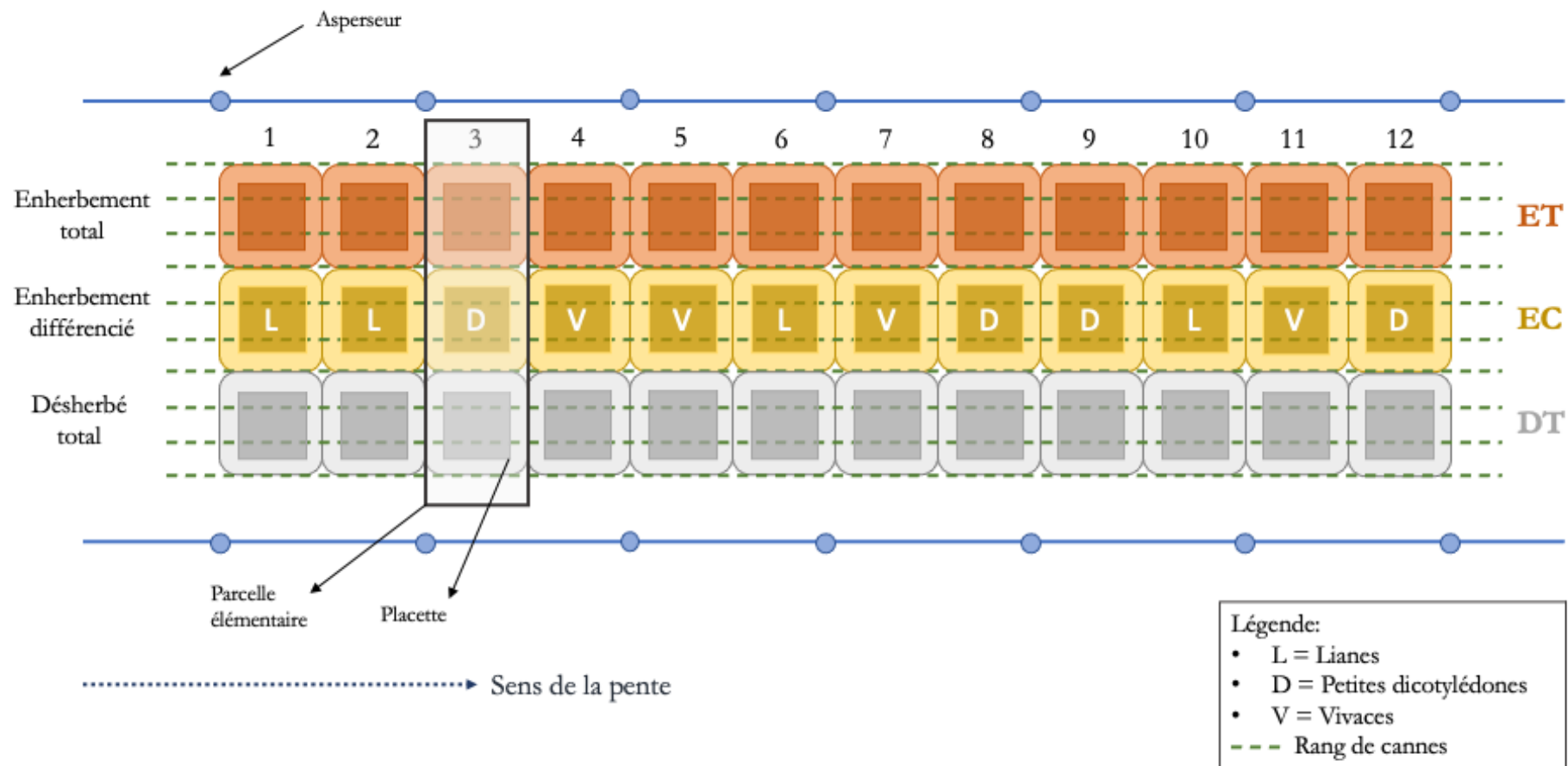


Figure 4 : Design expérimental

### 3.2. Itinéraire technique de la canne à sucre et gestion des adventices

La fréquence d'irrigation était de 3x/semaine, à raison de 2 heures par cycle d'aspersion. La fertilisation était manuelle et effectuée sur le rang. Elle a été fractionnée en deux apports, un premier a eu lieu au moment de la plantation et le second le 13 avril 2022.

Le désherbage effectué sur la bande témoin a permis de maintenir un niveau d'enherbement de 0 à 1 selon l'échelle de relevé de flore de P. Marnotte (2001) (Annexe 1), soit un niveau d'enherbement équivalent ou inférieur à 1% de taux de couverture du sol. Sur la bande d'enherbement choisi, un désherbage sélectif manuel a été effectué environ 1x/mois afin d'éliminer les espèces non comprises dans le groupe d'espèces concerné (lianes, vivaces, petites dicotylédones). Ce désherbage a été effectué au sein de chaque placette et autour de ces placettes. Les différentes interventions effectuées ainsi que leur description sont reprises dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Itinéraire technique de la canne et interventions de gestion des adventices

Date	Intervention	Détails	Modalités concernées		
			Témoin = DT	EC	ET
Novembre 2021	Plantation	Variété R579, inter-rang de 1,5m	x	x	x
Novembre 2021	Fertilisation manuelle	Sur le rang, engrais de fond Locastart® (16 - 26 - 0), à raison de 1,2 t/ha	x	x	x
7 décembre 2021	Désherbage chimique	Produit utilisé : mélange de 2,4- D, Camix, Sencora.	x	x	x
Fin janvier	Désherbage mécanique	Passage de pattes d'oies (gratteuse)	x	x	x
9 mars 2022	Désherbage chimique	Produit utilisé : mélange de 2,4- D, Camix, Sencoral, Merlin	x		
25 mars 2022	Mesure de production	Echantillonnage de 30 cannes (sur toute la parcelle) et inventaire des hauteurs de canne	x	x	x
13 avril 2022	Fertilisation	Sur le rang. Apex NP (21-13-0) , à raison de 3,2 t/ha	x	x	x
12 mai 2022	Mesure de production	Echantillonnage de 30 cannes (sur toute la parcelle) et inventaire des hauteurs de canne	x	x	x
A intervalle régulier	Désherbage manuel	Effectué au sein et autour des placettes, retrait des espèces d'adventices ne faisant pas partie de la modalité concernée (lianes, vivaces, petites dicotylédones)		x	
21 et 22 juillet 2022	Récolte	Récolte et mesure de la biomasse des adventices présentes au sein des placettes. Récolte et mesure de la biomasse de canne à sucre au sein des placettes.	x	x	x



### 3.3. Mesures

#### 3.3.1. Canne à sucre

##### 3.3.1.1 Croissance de la canne à sucre

Afin d'évaluer la croissance de la canne au cours du temps, des inventaires de hauteur ont été réalisés à deux reprises au cours du cycle, le 25 mars et le 12 mai 2022. Au sein de chaque placette, le nombre de tiges ainsi que la hauteur ont été mesurés sur une longueur de 2 m. En parallèle, 15 tiges de canne ont été prélevées de manière indifférenciée au sein des deux bandes enherbées (ET et EC) et 15 autres tiges ont été prélevées au sein de la bande dés herbée (DT). Les hauteurs des tiges prélevées ont été mesurées. Les tiges, les feuilles vertes et les feuilles sénescents ont ensuite été séparées et séchées à l'étuve pendant minimum 72 h à 60 °C avant d'être pesées. Grâce à ces données, deux modèles statistiques ont été créés afin de relier la biomasse sèche à la hauteur. Ce modèle est ensuite utilisé pour prédire les valeurs de biomasses sèches de l'ensemble de la parcelle grâce à l'inventaire des hauteurs effectué dans chaque placette. Les représentations graphiques des biomasses prédites par les modèles en fonction des biomasses mesurées sont présentées en Annexe 2 et 3.

##### 3.3.1.2 Production de la canne à sucre

Lors de la récolte de canne à sucre, l'ensemble des tiges présentes dans chaque placette a été coupé et pesé au champ. Le nombre de tiges a également été déterminé. Sur le même principe que lors de l'évaluation de la croissance de la canne à sucre, un échantillon de trois tiges de canne a été collecté au sein de chaque placette afin d'en déterminer la biomasse sèche. Les feuilles ont été séparées des tiges et l'ensemble de ces échantillons a été pesé au champ. Ces derniers ont ensuite été placés à l'étuve à 60°C pendant minimum 72 h avant d'être à nouveau pesés. Les valeurs de biomasses fraîches et sèches des échantillons ont permis de calculer un taux d'humidité moyen de la canne appliqué ensuite aux valeurs totales de biomasses fraîches de chaque placette pour déterminer ainsi la valeur de la production de canne.

#### 3.3.2. Communautés d'adventices

##### 3.3.2.1 Relevés floristiques

A partir du mois de mars, c'est-à-dire lorsque les premières espèces d'adventices sont développées, des relevés floristiques ont été effectués, à une fréquence de 2x/mois puis de 1x/mois à partir du 5<sup>ème</sup> mois de croissance de la canne, c'est-à-dire lorsque le couvert se referme au-dessus des adventices. Les relevés de flore ont été effectués au sein des placettes élémentaires des bandes d'enherbement total (ET) et choisi (EC). L'ensemble des espèces végétales présentes a été recensé et leur recouvrement a été estimé au travers d'une note de recouvrement sur une échelle de 1 à 9 selon la méthode de Marnotte (2001) (Annexe 1). Cette méthode de notation permet ensuite de convertir les notes de 1 à 9 en pourcentages de recouvrement. Également, une note globale de recouvrement a été attribuée

à chaque placette selon la même méthode. Elle a pour but de caractériser le niveau de couverture du sol à l'échelle de la placette, toutes espèces confondues, et permet de réaliser un suivi du développement des adventices au cours du temps. Des diagrammes d'infestation représentant le recouvrement moyen de chaque espèce en fonction de sa fréquence relative ont été réalisés sur base de ces relevés floristiques.

### 3.3.2.2 Biomasses des adventices

La biomasse des adventices a été mesurée au sein de chaque placette lors de la récolte de la canne. La totalité des adventices de chaque placette, sur le rang et l'inter-rang, a été récoltée et pesée au champ afin d'en déterminer le poids frais. A l'instar de l'échantillon de canne prélevé au sein de chaque placette à la récolte, un échantillon d'adventices d'environ 1 kg a été isolé par placette et mis à sécher à 60°C pendant minimum 72 h afin d'en déterminer la biomasse sèche. Les échantillons ont été sélectionnés afin de représenter au mieux la communauté végétale de la placette, c'est-à-dire en s'assurant que chaque espèce de la communauté soit présente dans l'échantillon et en respectant à vue d'œil les proportions observées entre les espèces. Sur la base des valeurs de biomasses fraîches et sèches des échantillons, quatre taux d'humidité ont été calculés au total, un premier pour la modalité ET et trois pour les trois types d'adventices (lianes, vivaces, petites dicotylédones) afin de considérer les différences éventuelles de taux de matières sèches entre les différentes communautés d'adventices présentes dans les différentes parcelles d'ET et EC. Les biomasses sèches totales des communautés d'adventices de chaque placette ont ainsi été calculées grâce à la relation liant la biomasse fraîche à la biomasse sèche via le taux d'humidité.

### 3.3.3. Traits fonctionnels

#### 3.3.3.1 Sélection des traits fonctionnels en lien avec la compétition pour les ressources

Quatorze traits (Tableau 3) ont été sélectionnés sur la base de la littérature pour leur aptitude à caractériser les stratégies d'acquisition des ressources des espèces ainsi que pour leur facilité de mise en œuvre en conditions expérimentales au champ. En raison des moyens humains et matériels limités, il est nécessaire de faire un compromis vis-à-vis des traits choisis, entre leur lien étroit avec les fonctions à décrire et la possibilité d'échantillonner sur un large nombre d'espèces (Damour, 2018).

Tableau 3 : Liste des traits fonctionnels mesurés

Type de traits	Abréviations	Noms anglais	Traits	Unités	Fonctions associées
Traits aériens	BMa	aboveground dry biomass	Biomasse aérienne	g	Demande en hydrates de carbone
	H	plant height	Hauteur de la plante	m	Acquisition lumière
	SLA	specific leaf area	Surface foliaire spécifique	m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup>	Efficience de conversion lumineuse
	SLA plante entière	specific leaf area	Surface foliaire spécifique mesurée sur l'ensemble des feuilles	m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup>	
	TLA	total leaf area	Surface foliaire totale	cm <sup>2</sup>	Acquisition lumière, besoins de la plante
	LMF	leaf mass fraction	Fraction massique foliaire (matière sèche foliaire / biomasse totale)	g.g <sup>-1</sup>	Allocation des hydrates de carbone
	LNC	leaf nitrogen content	Contenu en azote foliaire	g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C	Acquisition des nutriments
	LCC	leaf carbon content	Contenu en carbone foliaire	g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C	
	SNC	stem nitrogen content	Contenu en azote de la tige	g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C	
	SCC	stem carbon content	Contenu en carbone de la tige	g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C	
Traits souterrains	SRL	specific root length	Longueur racinaire spécifique	m.g <sup>-1</sup>	Exploration du sol, acquisition et stockage des nutriments et de l'eau
	RD	mean root diameter	Diamètre racinaire moyen	m.m-1	Capacité de compétition aérienne et souterraine
	BMr	root biomass	Biomasse racinaire	g	
	RSR	root shoot ratio	Rapport partie souterraine/partie aérienne (matière sèche racinaire/matière sèche aérienne)	g.g <sup>-1</sup>	

### 3.3.3.2 Mesure des traits

Les traits ont été mesurés lorsque la compétition avec les adventices pouvait impacter la croissance et la production de la canne à sucre. Si les conditions d'alimentation en eau sont suffisantes, l'azote conditionne le niveau de rendement de la canne. Or, la phase intense d'absorption en azote se situe entre 3 et 6 mois après la plantation de la canne à sucre et est ensuite ralentie en hiver (en juillet et en août) (Chabalier et al., 2007). Conformément à ces informations, les traits ont été mesurés lors du cinquième mois de croissance de la canne.

Les espèces végétales mesurées ont été sélectionnées sur la base de l'inventaire de flore réalisé en début d'expérimentation (le 29 mars, Fig. 5) afin de répondre aux critères suivants : représenter 80% de la communauté en abondance de biomasse (Pakeman et al., 2007), être présentes sur l'ensemble de la parcelle expérimentale et faire partie d'un des trois types d'adventices de l'enherbement choisi (lianes, vivaces, petites dicotylédones). Néanmoins, la valeur de 80% d'abondance a été adaptée pour se référer au taux de recouvrement. Ainsi, sur la base du dernier relevé floristique précédant la mesure des traits, les espèces composant 80% du taux de recouvrement total toutes parcelles confondues ont été évaluées au nombre de treize. Les traits ont ainsi été mesurés sur 13 espèces d'adventices (Tableau 4).

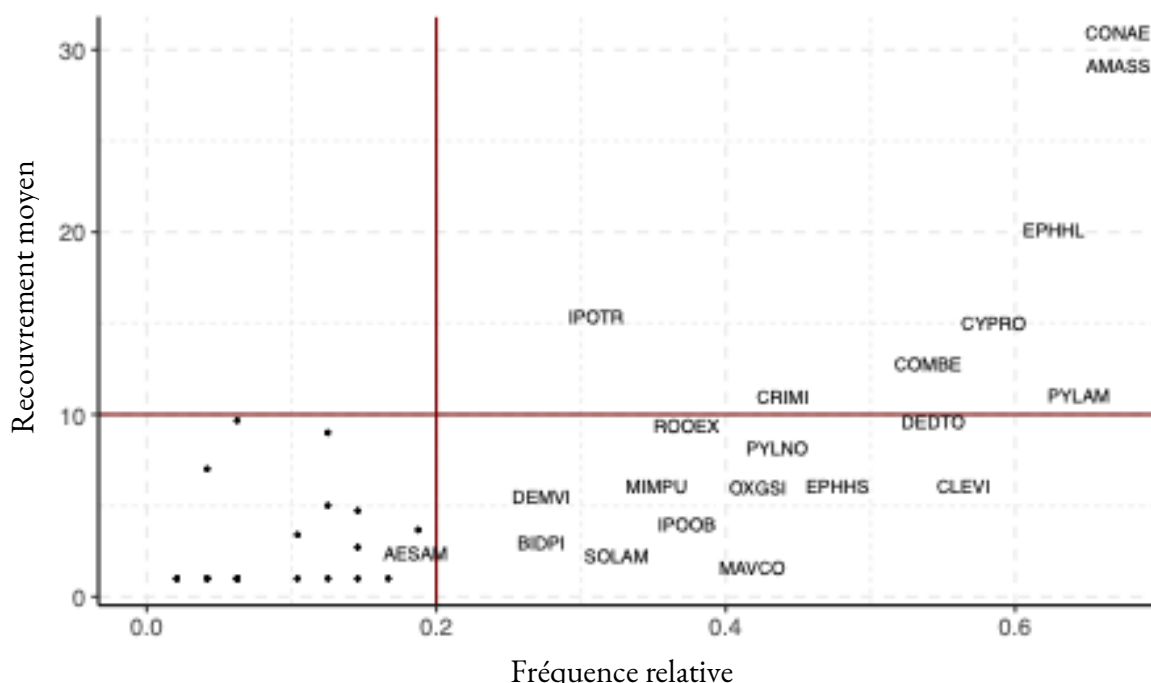


Figure 5 : Diagramme d'infestation (recouvrement moyen en fonction de la fréquence relative) de l'ensemble des espèces recensées sur la parcelle expérimentale jusqu'au 29 mars. Par souci de lisibilité, seules les espèces de fréquence relative supérieure à 0,2 et d'abondance supérieure à 10% ont été affichées (par leur code EPPO)

Tableau 4 : Liste des espèces échantillonnées (noms latins selon The World Flora Online - <https://wfoplantlist.org/>, code EPPO selon la EPPO Global Database [<https://gd.eppo.int/>])

Nom latin	Code EPPO	Groupe	Classe	Stade phénologique lors de la mesure des traits
<b>Euphorbiaceae</b>				
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	EPHHL	petites dicotylédones	Dicotylédones	Floraison
<i>Euphorbia hyssopifolia</i> L.	EPHHS	petites dicotylédones	Dicotylédones	Floraison
<b>Fabaceae</b>				
<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw.) DC.	DEDTO	petites dicotylédones	Dicotylédones	Développement des graines
<i>Mimosa pudica</i> L.	MIMPU	petites dicotylédones	Dicotylédones	Phase végétative
<b>Phyllanthaceae</b>				
<i>Phyllanthus amarus</i> Schumach. & Thonn.	PYLAM	petites dicotylédones	Dicotylédones	Phase végétative
<i>Phyllanthus niruroides</i> Müll.Arg.	PYLNO	petites dicotylédones	Dicotylédones	Phase végétative
<b>Cleomaceae</b>				
<i>Cleome viscosa</i> L.	CLEVI	petites dicotylédones	Dicotylédones	Floraison
<b>Amaranthaceae</b>				
<i>Amaranthus</i> spp.	AMASS	petites dicotylédones	Dicotylédones	Floraison
<b>Convolvulaceae</b>				
<i>Merremia aegyptia</i> (L.) Urb.	CONAE	lianes	Dicotylédones	Phase végétative
<i>Ipomoea triloba</i> L.	IPOTR	lianes	Dicotylédones	Floraison
<b>Sapindaceae</b>				
<i>Cardiospermum microcarpum</i> Kunth	CRIMI	lianes	Dicotylédones	Développement des graines
<b>Commelinaceae</b>				
<i>Commelina benghalensis</i> L.	COMBE	vivaces	Monocotylédones	Floraison
<b>Cyperaceae</b>				
<i>Cyperus rotundus</i> L.	CYPRO	vivaces	Monocotylédones	Phase végétative

Pour chaque espèce, 12 individus ont été échantillonnés au sein de la modalité ET, de même au sein de la modalité EC. Pour la modalité EC, trois individus ont été prélevés au sein de chacune des quatre parcelles correspondant à la sous-modalité à laquelle appartient l'espèce considérée (lianes, vivaces, petites dicotylédones). A titre d'exemple, pour une espèce appartenant au type des « petites dicotylédones », trois individus ont été prélevés au sein de chacune des parcelles 3, 8, 9 et 12 de la modalité EC (Fig. 4). Au total, 24 individus ont été échantillonnés par espèce d'adventice étudiée. Néanmoins, il n'a pas toujours été possible d'obtenir ces répétitions en raison des conditions expérimentales propres à la parcelle (individu manquant dans la placette considérée ou difficulté de récolte de l'individu dans le cas des espèces de lianes), le nombre de répétitions final par espèce est donc présenté en Annexe 4.

Chaque individu a été sélectionné et prélevé autour de la placette de la parcelle échantillonnée, et non dedans pour ne pas altérer la communauté. De plus, pour chaque espèce, l'individu a été choisi à un stade de croissance représentatif de ceux observés sur les individus au sein de la placette afin d'approcher au mieux les valeurs de traits des individus de la communauté de la placette.

La mesure des traits a requis l'échantillonnage entier de la plante. La canne à sucre ayant plus de la moitié de son système racinaire dans les 20 premiers cm du sol (Smith et al., 2005), la profondeur de 25 cm choisie pour nos prélèvements constituait le meilleur compromis entre faisabilité et pertinence par rapport à la compétition avec la canne. Le système aérien a tout d'abord été prélevé en coupant la tige au niveau de la surface du sol. Le système racinaire contenu dans un cube de 15,6 dm<sup>3</sup> a ensuite été extrait à l'aide d'une bêche en délimitant un carré de 25 cm de côté autour de l'individu coupé. Un trou carré a ainsi été creusé par coups de bêche successifs sur chaque côté et à une profondeur de 25 cm en faisant attention de ne pas sectionner les racines fines. Les traits racinaires ont donc été mesurés à l'échelle de l'individu, et non en communauté comme c'est souvent le cas dans la littérature en écologie.

L'ensemble des traits aériens a été mesuré conformément aux protocoles élaborés par Perez-Harguindeguy et al. (2013), seul le protocole de mesure du SLA a été adapté. Deux méthodes de mesure de surface foliaire ont été testées, d'une part selon le protocole cité ci-dessus, à savoir sur une feuille adulte, et d'autre part en faisant la mesure sur l'ensemble des feuilles de la plante. Cette double méthode de mesure a pour objectif de tester l'impact de chacune des méthodes sur la gamme des valeurs de SLA. L'hypothèse est qu'en réalisant la mesure du SLA sur l'ensemble de la plante, les valeurs de SLA permettraient de prendre d'avantage en compte la variabilité de surface foliaire au sein même d'un individu.

La hauteur (H, en m) de chaque individu a été mesurée en amont de la coupe du système aérien, à l'aide d'un mètre et depuis la base de la plante jusqu'à son dernier organe végétatif. Une fois

l'individu collecté, une feuille adulte et sans symptôme de bioagresseur a été prélevée et emballée dans du sopalin mouillé. La base de la tige de chaque individu a été immergée afin d'assurer sa conservation. L'échantillon de feuille et le reste de la plante ont ensuite été placés dans le noir en chambre froide à 5°C avant leur traitement. En dehors de la chambre froide, la tige et le reste des feuilles ont été séparés. La surface foliaire totale (TLA, en cm<sup>2</sup>) a été déterminée en étalant toutes les feuilles sur une surface blanche afin de les prendre en photo. L'application « Easy Leaf Area » (Google Play) a été utilisée pour calculer la surface foliaire, par contraste de couleurs des feuilles par rapport au support blanc. Les échantillons de tige et de feuilles de chaque individu ont ensuite été séchés à l'étuve à 60°C pour un minimum de 72 h avant d'être pesés. Par addition des valeurs de biomasses sèches des feuilles et de la tige, la biomasse aérienne totale (BMa, en g) a été calculée. La fraction massique foliaire (LMF, sans unité) est le rapport entre la biomasse sèche foliaire et la biomasse aérienne totale. Les taux d'azote et de carbone foliaire (LNC et LCC respectivement, en g.kg<sup>-1</sup> MS 60°C), ainsi que ceux de la tige (SNC et SCC respectivement, en g.kg<sup>-1</sup> MS 60°C) ont été analysés au laboratoire avec un analyseur CHN (ThermoFischer Flash 2000, USA). Les échantillons ont été préalablement groupés par quatre, échantillons de feuilles et de tige séparés, et ensuite broyés. Le regroupement des échantillons était nécessaire pour assurer le minimum de matière sèche nécessaire pour l'analyse.

Une fois prélevées, les racines ont été conservées dans le noir en chambre froide à 5°C. Lors de leur traitement, les racines ont été lavées et triées afin de séparer les racines de l'individu de racines étrangères ou d'autres débris. Les systèmes racinaires des individus étant conservés en entier, il était possible de discerner les caractéristiques particulières propres aux racines de l'espèce considérée. Les racines lavées ont été immergées dans l'eau dans une boîte en plastique transparente et scannées à 600 dpi à l'aide du scanner Epson Perfection V850 Pro. Les images ont été analysées via le logiciel WinRHIZO™ Basic (Regent Instruments, Québec, Canada). Le logiciel a été utilisé afin de déterminer le diamètre moyen (RD, en mm) ainsi que la longueur totale des racines. Les racines ont ensuite été séchées à 60°C pendant minimum 72 h, avant d'être pesées. La longueur racinaire spécifique (SRL, en m.g<sup>-1</sup>) a été calculé en divisant la longueur racinaire totale par la matière sèche racinaire. Le ratio partie aérienne/partie souterraine (RSR, adimensionnel) a été calculé en divisant la matière sèche racinaire (g) par la biomasse aérienne totale (BMa, en g).

#### 3.3.4. Traitement statistique

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel R version 4.2.1 (R Foundation for Statistical Computing, 2021). Le niveau de significativité (alpha) utilisé est de 0,05. L'effet des différentes modalités et sous-modalités d'enherbement, de la date et de la pente sur la biomasse de canne à sucre (biomasse totale, biomasse par tige et nombre de tiges) a été testé avec des analyses de variance (ANOVA).

La présence ou l'absence d'effet aléatoire a été comparée via la méthode « REML » (Restricted Maximum Likelihood) à la suite de quoi la variable aléatoire « pente » a été introduite lorsqu'elle était significative. Le meilleur modèle statistique a été déterminé par minimisation du critère d'information bayésien (BIC), calculé pour comparer les modèles. Une fois la structure aléatoire fixée, la structure des effets fixes a été construite selon la méthode « ML » (Maximum Likelihood). Les tests post-hoc de comparaisons des moyennes deux à deux ont été réalisés à l'aide de la fonction EMMEANS. Lorsque les hypothèses de normalité et/ou variance n'étaient pas respectées, les variables ont été transformées, comme c'est le cas pour la biomasse d'une tige transformée en logarithme décimal.

Les relations entre traits fonctionnels ont été étudiées avec une analyse en composantes principales (ACP), à l'aide du package R « FactoMineR ». Les données manquantes ont été gérées à l'aide du package MissMDA (Josse et al., 2016). Six variables qualitatives supplémentaires ont été considérées dans l'analyse dont l'espèce (= code Eppo), la modalité (EC-ET-DT) et le type d'adventices (lianes, vivaces, dicotylédones). Les classifications non supervisées (sans groupe prédéfini) a été réalisée à l'aide des packages « Cluster » et « FactoExtra ».

## 4. Résultats

### 4.1. Traits fonctionnels liés aux stratégies d'acquisition des ressources

#### 4.1.1. Valeurs des traits

Des variations très importantes dans la gamme de valeurs de traits ont été observées sur la plupart des traits mesurés. Le Tableau 5 présente les valeurs moyennes, minima et maxima ainsi que les coefficients de variation (CV) calculés sur la totalité des individus échantillonnés (270) pour les 14 traits mesurés. Six traits présentent des coefficients de variation supérieurs à 100% (RSR, TLA, BMa, BMr, SRL, RD), dont l'un est supérieur à 400 % (RSR). Seuls les LCC et SNC présentent des coefficients de variations extrêmement faibles (< 10%) sur l'ensemble des individus mesurés.

Le trait manifestant la variabilité la plus élevée (CV = 420 %) est le ratio biomasse souterraine/biomasse aérienne (RSR) avec une valeur minimale de 0,01 (individu appartenant à l'espèce *Merremia aegyptia*) et maximale de 14,86 (individu appartenant à l'espèce *Cyperus rotundus*). Le taux de carbone foliaire (LCC) est le trait avec la variabilité la plus faible (7,42 %), avec des valeurs comprises entre 35,3 g.kg<sup>-1</sup> MS 60°C (individu appartenant à l'espèce *Amaranthus sp.*) et 47,9 g.kg<sup>-1</sup> MS 60°C (individu appartenant à l'espèce *Mimosa pudica*).

Tableau 5 : Valeurs des moyennes, minima, maxima et coefficients de variation calculées sur l'ensemble des individus échantillonnés pour chaque trait

Type de traits	Abréviations	Noms anglais	Unités	Moyenne	Min	Max	CV (%)
Traits aériens	BMa	aboveground dry biomass	g	21,59	0,01	616,34	376,52
	H	plant height	m	55,01	5,00	186,00	56,24
	SLA	specific leaf area	m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup>	53,78	7,19	280,00	69,60
	SLA plante entière	specific leaf area	m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup>	40,66	11,03	105,13	40,48
	TLA	total leaf area	cm <sup>2</sup>	1680,77	3,61	59566,53	401,91
	LMF	leaf mass fraction	g.g <sup>-1</sup>	0,29	0,01	0,62	41,73
	LNC	leaf nitrogen content	g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C	38,45	19,67	58,48	22,57
	LCC	leaf carbon content	g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C	42,90	35,30	47,88	7,42
	SNC	stem nitrogen content	g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C	14,32	5,60	30,02	37,98
	SCC	stem carbon content	g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C	41,04	30,75	45,38	9,40
Traits souterrains	SRL	specific root length	m.g <sup>-1</sup>	13,37	0,16	107,03	132,53
	RD	mean root diameter	mm	0,70	0,20	3,90	112,88
	BMr	root biomass	g	0,99	0,004	10,17	178,20
	RSR	root shoot ratio	g.g <sup>-1</sup>	0,35	0,01	14,86	419,80

Le Tableau 6 renseigne les valeurs moyennes de trait calculées pour chaque espèce, et classées par type d'adventices. L'écart-type, la moyenne et le coefficient de variation intra-type (entre les espèces composant chaque type d'adventices) et interspécifique sont également présentés. La variabilité interspécifique (Tableau 6) est en moyenne inférieure à la variabilité entre individus (Tableau 5). De plus, l'étude de la variabilité intraspécifique (Annexe 5) au travers des CV met en évidence l'existence de certains CV<sub>intraspécifique</sub> supérieurs aux CV<sub>interspécifique</sub> de certaines espèces pour les traits LMF et SRL. En dehors de ces deux traits, la variabilité intraspécifique est de manière générale inférieure à la variabilité interspécifique.

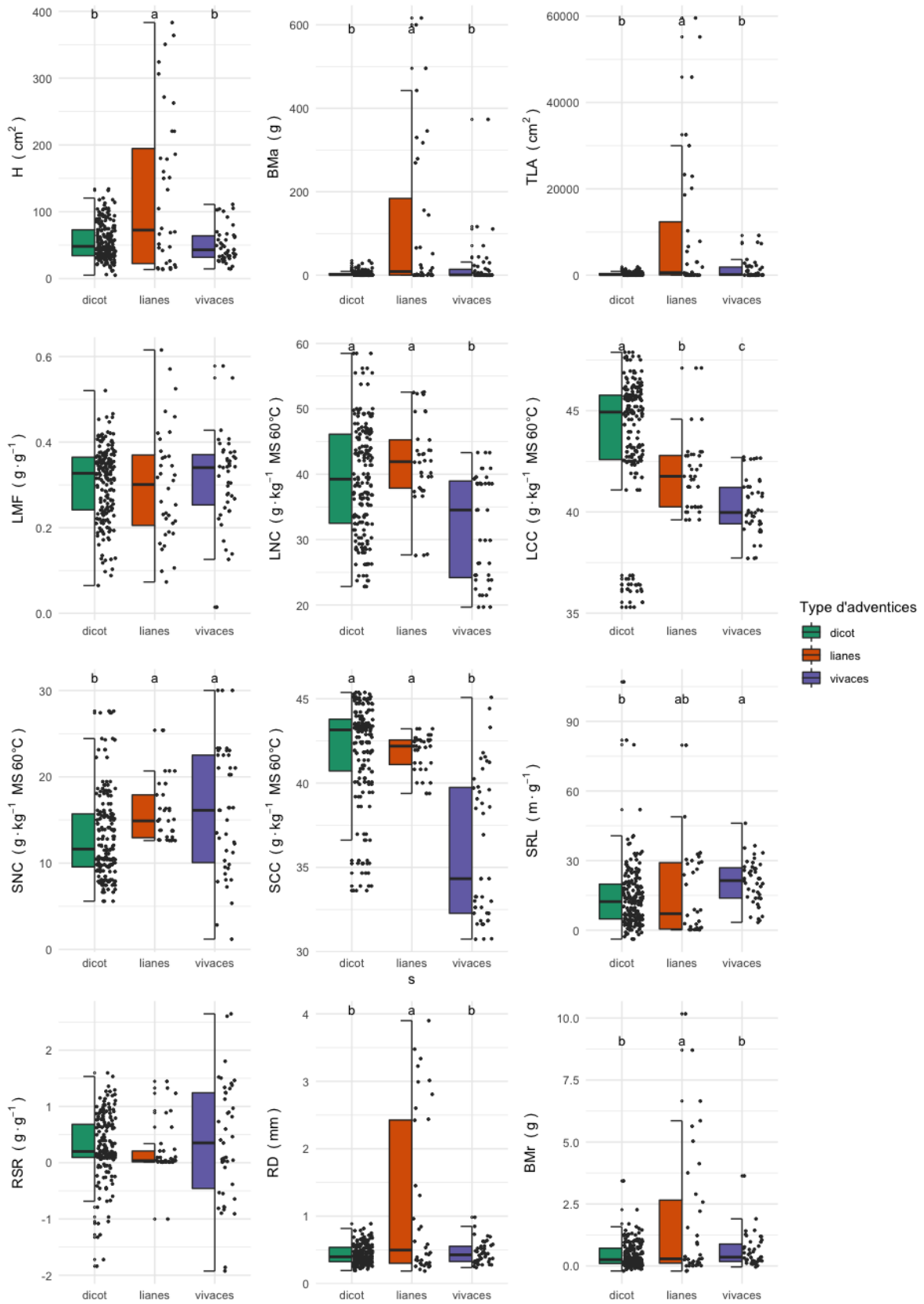
De manière générale, les lianes présentent une variabilité élevée de valeurs de trait, principalement pour les traits BMa (CV=143 %), TLA (CV = 135 %), SRL (CV = 134 %) et BMr (CV = 127 %) (Tableau 6, Fig. 6). Des variations marquées de valeurs de trait sont observées chez les vivaces pour les traits BMa (CV = 141 %), TLA (CV = 138 %), RSR (CV = 135 %), et BMr (CV = 100 %) (Tableau 6, Fig. 6). Pour les petites dicotylédones, l'ensemble des coefficients de variation sont inférieurs à 100%, à l'exception du BMa (CV = 103 %) et SRL (CV = 104 %), indiquant une moindre variabilité des valeurs de traits par rapport aux lianes et aux vivaces. Les valeurs moyennes de hauteur (H), de biomasse aérienne (BMa) et racinaire (BMr), de surface foliaire totale (TLA) et de diamètre racinaire (RD) sont significativement supérieures pour les lianes par rapport aux vivaces et aux petites dicotylédones (Tableau 6, Fig. 6).



Tableau 6 : Valeurs des moyennes (Moy), écart-types (ET) et coefficients de variation (CV) de chaque trait, par espèce et par type d'adventices

	Code EPPO	H (m)	BMa (g)	SLA (m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup> )	SLA plante entière (m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup> )	TLA (cm <sup>2</sup> )	LMF (g.g-1)	LNC (g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C)	LCC (g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C)	SNC (g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C)	SCC (g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C)	SRL (m.g <sup>-1</sup> )	RD (mm)	BMr (g)	RSR (g.g-1)
Lianes	CONAE	/	334,00	33,00	38,80	27045,98	0,21	45,50	40,00	17,20	40,40	1,09	2,68	4,82	0,02
	CRIMI	43,20	2,38	79,00	63,30	225,56	0,37	39,20	43,10	15,80	42,70	22,80	0,40	0,15	0,08
	IPOTR	175,00	42,40	38,80	41,20	4646,51	0,29	44,30	41,70	13,10	42,10	3,03	0,84	0,94	0,03
Intra-type	<i>Moy</i>	<i>109,10 (a)</i>	<i>126,26 (a)</i>	<i>50,27</i>	<i>47,77 (a)</i>	<i>10639,35 (a)</i>	<i>0,29</i>	<i>43,00 (a)</i>	<i>41,60 (b)</i>	<i>15,37 (b)</i>	<i>41,73 (a)</i>	<i>8,97 (ab)</i>	<i>1,31 (a)</i>	<i>1,97 (a)</i>	<i>0,04</i>
	<i>ET</i>	<i>/</i>	<i>181,0</i>	<i>25,1</i>	<i>13,5</i>	<i>14379,5</i>	<i>0,1</i>	<i>3,3</i>	<i>1,6</i>	<i>2,1</i>	<i>1,2</i>	<i>12,0</i>	<i>1,2</i>	<i>2,5</i>	<i>0,0</i>
	<i>CV</i>	<i>/</i>	<i>143,4</i>	<i>49,8</i>	<i>28,3</i>	<i>135,2</i>	<i>28,7</i>	<i>7,8</i>	<i>3,7</i>	<i>13,6</i>	<i>2,9</i>	<i>133,9</i>	<i>92,4</i>	<i>127,0</i>	<i>85,2</i>
Vivaces	COMBE	62,90	40,70	85,20	57,10	2253,40	0,19	39,10	39,60	21,80	32,40	23,00	0,52	1,12	0,08
	CYPRO	35,20	0,09	20,30	38,00	27,61	0,37	24,00	40,90	/	/	9,43	0,47	0,19	3,29
	<i>Moy</i>	<i>49,05 (b)</i>	<i>20,40 (b)</i>	<i>52,75</i>	<i>47,55 (a)</i>	<i>1140,50 (b)</i>	<i>0,28</i>	<i>31,55 (b)</i>	<i>40,25 (c)</i>	<i>21,8 (a)</i>	<i>32,40 (b)</i>	<i>16,22 (a)</i>	<i>0,49 (b)</i>	<i>0,66 (b)</i>	<i>1,69</i>
<i>ET</i>	<i>19,59</i>	<i>28,72</i>	<i>45,89</i>	<i>13,51</i>	<i>1573,87</i>	<i>0,12</i>	<i>10,68</i>	<i>0,92</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>9,60</i>	<i>0,03</i>	<i>0,66</i>	<i>2,27</i>	
<i>CV</i>	<i>39,9</i>	<i>140,8</i>	<i>87,0</i>	<i>28,4</i>	<i>138,0</i>	<i>44,3</i>	<i>33,8</i>	<i>2,3</i>	<i>/</i>	<i>/</i>	<i>59,2</i>	<i>6,6</i>	<i>100,4</i>	<i>134,7</i>	
Petites dicotylédones	AMASS	65,70	8,51	25,20	19,20	502,29	0,33	33,80	36,20	14,90	35,20	8,29	0,36	1,08	0,14
	CLEVI	86,10	5,80	103,00	45,60	442,10	0,17	45,40	44,70	7,49	45,00	2,77	0,57	1,25	0,21
	DEDTO	82,10	7,18	60,60	36,40	633,77	0,32	46,80	42,30	9,87	43,30	5,05	0,53	0,67	0,12
	EPHHL	47,30	1,36	27,20	25,80	83,58	0,23	26,00	42,80	10,80	39,80	7,55	0,53	0,94	0,21
	EPHHS	50,80	1,20	35,60	27,70	88,13	0,31	35,40	45,20	10,00	44,40	9,58	0,44	0,18	0,12
	MIMPU	31,30	0,85	48,20	48,20	174,77	0,43	46,90	47,00	17,80	43,10	18,10	0,32	0,10	0,11
	PYLAM	39,20	0,58	54,10	42,00	71,55	0,29	34,70	45,80	13,20	43,20	14,50	0,29	0,11	0,18
	PYLNO	39,70	0,44	68,50	50,50	73,78	0,32	45,90	46,10	21,30	41,60	49,60	0,25	0,07	0,11
Intra-type	<i>Moy</i>	<i>55,275 (b)</i>	<i>3,24 (b)</i>	<i>52,80</i>	<i>36,93 (b)</i>	<i>258,74 (b)</i>	<i>0,30</i>	<i>39,36 (a)</i>	<i>43,76 (a)</i>	<i>13,17 (b)</i>	<i>41,95 (a)</i>	<i>14,43 (b)</i>	<i>0,41 (b)</i>	<i>0,55 (b)</i>	<i>0,15</i>
	<i>ET</i>	<i>20,5</i>	<i>3,3</i>	<i>25,5</i>	<i>11,6</i>	<i>229,8</i>	<i>0,1</i>	<i>7,9</i>	<i>3,4</i>	<i>4,6</i>	<i>3,2</i>	<i>15,0</i>	<i>0,1</i>	<i>0,5</i>	<i>0,0</i>
	<i>CV</i>	<i>37,1</i>	<i>103,1</i>	<i>48,4</i>	<i>31,3</i>	<i>88,8</i>	<i>25,8</i>	<i>20,1</i>	<i>7,9</i>	<i>35,1</i>	<i>7,6</i>	<i>104,2</i>	<i>29,6</i>	<i>89,5</i>	<i>27,6</i>
Inter-espèces	<i>Moy</i>	<i>63,21</i>	<i>34,27</i>	<i>52,21</i>	<i>41,06</i>	<i>2789,92</i>	<i>0,30</i>	<i>39,00</i>	<i>42,72</i>	<i>14,44</i>	<i>41,10</i>	<i>13,45</i>	<i>0,63</i>	<i>0,89</i>	<i>0,36</i>
	<i>ET</i>	<i>39,5</i>	<i>91,2</i>	<i>25,7</i>	<i>12,4</i>	<i>7404,5</i>	<i>0,1</i>	<i>7,8</i>	<i>3,1</i>	<i>4,5</i>	<i>3,8</i>	<i>13,1</i>	<i>0,6</i>	<i>1,3</i>	<i>0,9</i>
	<i>CV</i>	<i>62,4</i>	<i>266,3</i>	<i>49,3</i>	<i>30,1</i>	<i>265,4</i>	<i>26,3</i>	<i>20,1</i>	<i>7,2</i>	<i>31,5</i>	<i>9,2</i>	<i>97,1</i>	<i>100,5</i>	<i>141,3</i>	<i>244,9</i>

A



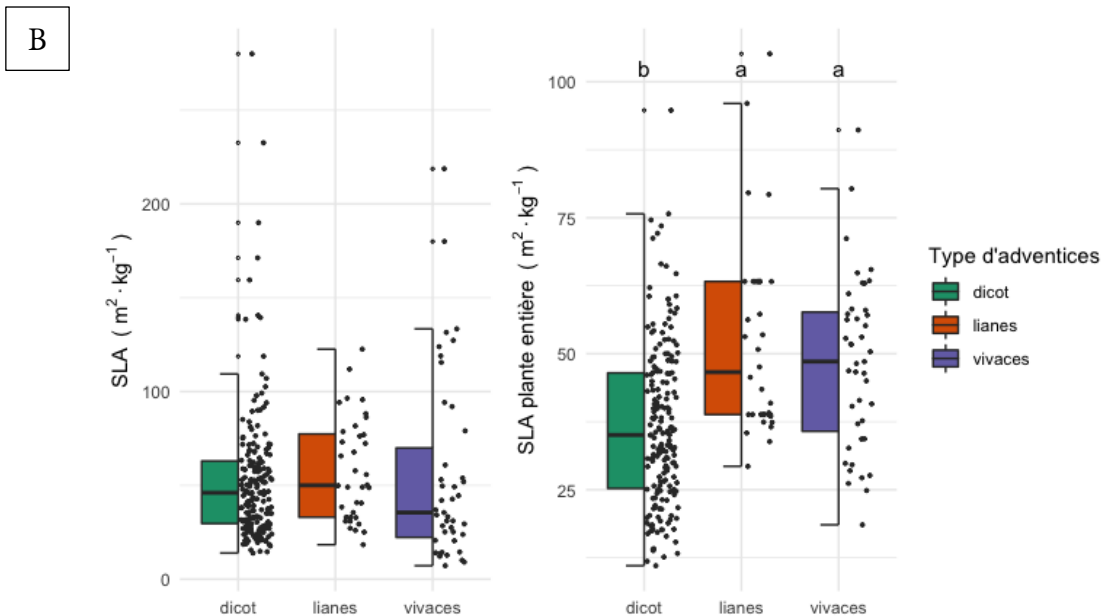


Figure 6 (A et B) : Valeurs de 13 traits (A) et du SLA (B) mesurés en fonction du type d'adventices, voir Tableau X pour les noms des traits. Les lettres indiquent les différences significatives entre traitements ( $p$ -value  $< 0.05$ ), l'absence de lettre traduit une absence de différence significative

#### 4.1.2. Corrélations entre traits moyens des espèces

La matrice de corrélation (Fig. 7) calculée sur la base des traits moyens de chaque espèce permet d'identifier une corrélation parfaite ( $= 1$ ) entre la surface foliaire totale (TLA) et la biomasse totale aérienne (BMa). Le TLA est également hautement corrélé à la hauteur (H) (0,89). Le diamètre racinaire moyen (RD) est très corrélé ( $> 0,85$ ) à trois traits : la biomasse aérienne totale (BMa) (0,99), la surface foliaire totale (TLA) (0,99) et la hauteur (H) (0,87). De plus, la biomasse racinaire (BMr) est très corrélée avec la biomasse aérienne (BMa) (0,96), le diamètre racinaire moyen (RD) (0,96) et la surface foliaire totale (TLA) (0,96). De fortes corrélations ( $\geq 0,7$ ) sont par ailleurs observées entre la biomasse aérienne et la hauteur (0,73), entre le taux en carbone de la tige et le taux en carbone foliaire (0,76) ainsi qu'entre le ratio partie souterraine/partie aérienne et le taux en azote de la tige (0,7).

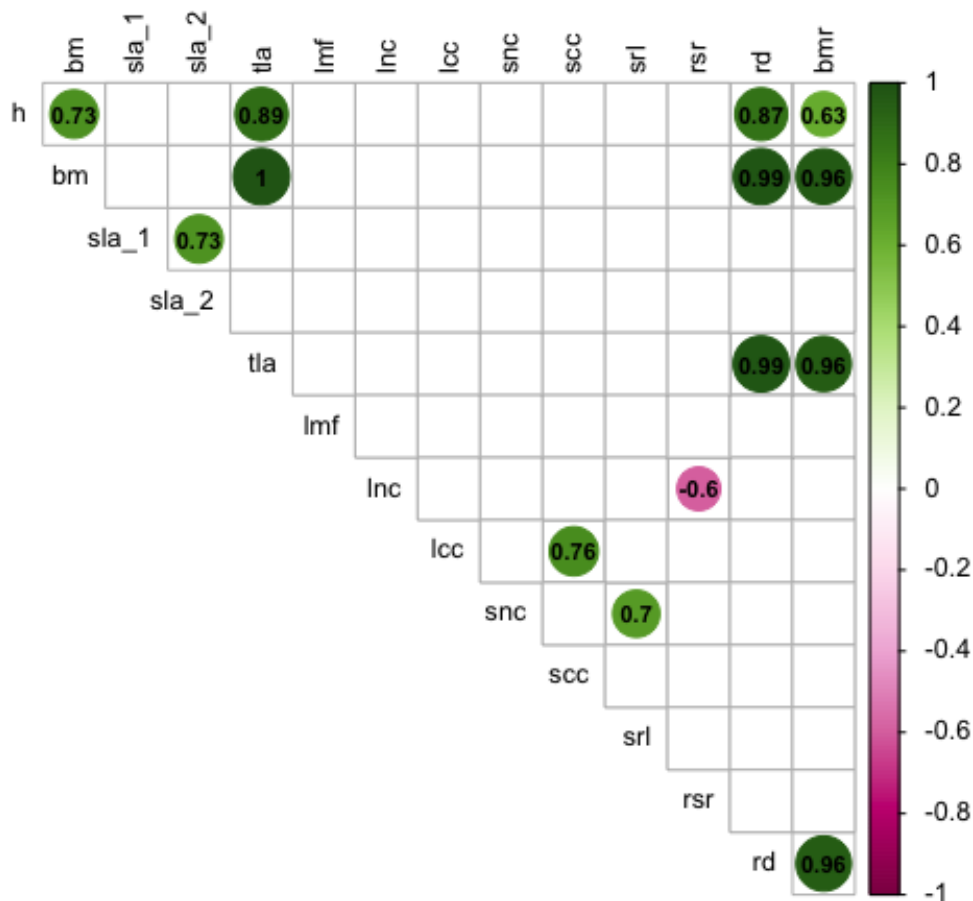


Figure 7 : Matrice de corrélation entre les traits. Le gradient de couleurs ainsi que le diamètre du cercle rendent compte du niveau et du sens de la corrélation. Seules les valeurs significatives sont présentées (voir Tableau 3 pour les noms des traits, exception : sla\_1 = SLA, sla\_2 = SLA plante entière, bm = BMa)

#### 4.1.3. Traits explicatifs de la variabilité entre les individus

L'analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée sur les individus échantillonnés et pour les 14 traits mesurés. Le plan à deux dimensions de l'ACP explique 56,5% de la variance, la première dimension (axe 1) en décrit 36,3% et la seconde 20,2% (Fig. 8 a). Les variables RD (17,55 %), BMr (17,33 %), H (17,21 %), BMa (16,17 %), TLA (15,28 %) sont les principaux contributeurs de l'axe 1 (Annexe 6). SNC (24,00 %), RSR (16,36 %), SLA plante entière (15,95 %), LNC (14,21 %) et SRL (13,62 %) contribuent majoritairement au second axe (Annexe 7).

La projection des individus colorés par le type d'adventices sur l'espace à deux dimensions de l'ACP (Fig. 8 b et c) a montré des nuages d'individus peu différenciés entre eux excepté le type « lianes » dont de nombreux points se répartissent sur l'axe 1 et appartiennent essentiellement à *Merremia aegyptia* (CONAE).

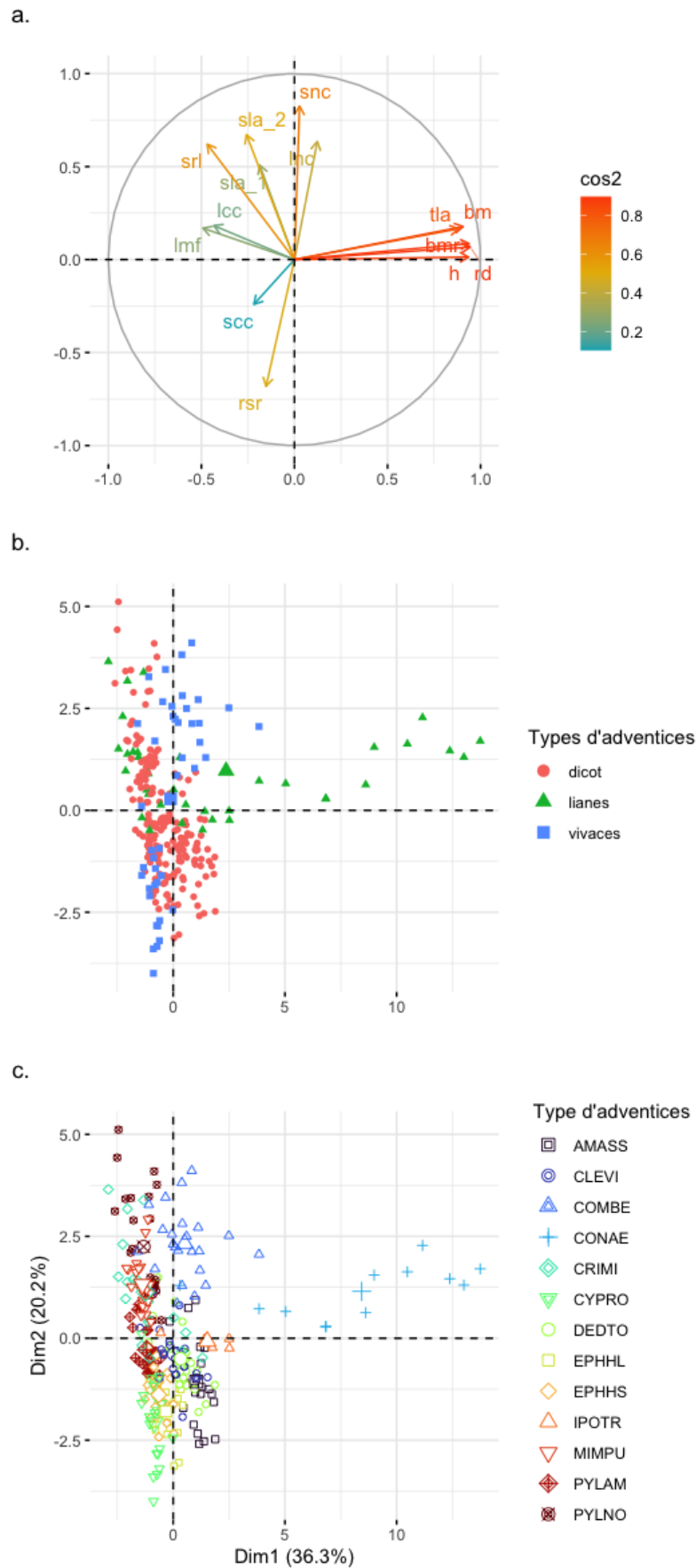


Figure 8 : Analyse en composantes principales effectuées sur 14 traits (voir Tableau 3 pour les noms des traits, exception : *sla\_1* = SLA, *sla\_2* = SLA plante entière). [a] : Variables colorées en fonction de la qualité de leur représentation dans le plan à deux dimensions, les hautes valeurs de  $\cos^2$  indiquent une haute qualité de représentation et inversement. [b] : Individus de forme et de couleur déterminés par leur appartenance aux types d'adventices (lianes, vivaces, petites dicotylédones (=dicot)). [c] : Individus de forme et de couleur déterminés par l'espèce (voir Tableau 4 pour les noms latins)

Un alignement d'une partie des individus de CONAE (lianes) est visible avec les traits BMa, TLA, BMr, RD, H (Fig. 8c). Le reste des individus semble s'aligner avec le continuum formé par les variables de la seconde dimension entre d'une part SLA, LNC, SNC, SRL et d'autre part RSR (Fig. 8c). Les individus du type « vivaces » semblent se démarquer en deux groupes distincts, de part et d'autre des variables explicatives de la seconde dimension.

#### 4.1.4. Classification basée sur les valeurs des traits

##### 4.1.4.1 Classification non supervisée

Les valeurs des traits ont permis de réaliser une classification non supervisée pour laquelle le nombre optimal de clusters a été évalué à 6 (Annexe 8 et 9). L'analyse du Tableau 7 indique une division des « lianes » au sein de trois clusters principaux (1, 3, 4). Les vivaces se répartissent au sein des clusters 5 et 6, alors que les petites dicotylédones sont représentées dans 4 clusters (2, 3, 4, 5). Au niveau spécifique, trois clusters ne sont composés que d'une espèce : le cluster 1 composé exclusivement de l'espèce *Merremia aegyptia* (liane), le cluster 2 composé exclusivement d'*Amaranthus spp.* (petite dicotylédone) et le cluster 6 composé exclusivement de *Commelina benghalensis* (vivace) (Tableau 7).

Tableau 7 : Tableau des effectifs de chaque cluster en fonction de leur appartenance à une espèce (représentée par son code EPPO, voir Tableau 4 pour la correspondance avec les noms latins) et à un type d'adventices.

Type d'adventices	Code EPPO	Clusters					
		1	2	3	4	5	6
Lianes	CONAE	9	0	2	1	0	0
	CRIMI	0	0	4	13	2	0
	IPOTR	0	0	4	1	0	0
	<b>total (lianes)</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
Vivaces	COMBE	0	0	0	0	0	23
	CYPRO	0	0	0	0	20	0
	<b>total (vivaces)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>	<b>23</b>
Petites dicotylédones	AMASS	0	24	0	0	0	0
	CLEVI	0	0	23	1	0	0
	DEDTO	0	0	20	4	0	0
	EPHHL	0	0	0	0	24	0
	EPHHS	0	0	1	0	23	0
	MIMPU	0	0	0	22	0	0
	PYLAM	0	0	0	7	17	0
	PYLNO	0	0	0	24	0	0
<b>total (petites dicotylédones)</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>44</b>	<b>58</b>	<b>64</b>	<b>0</b>	

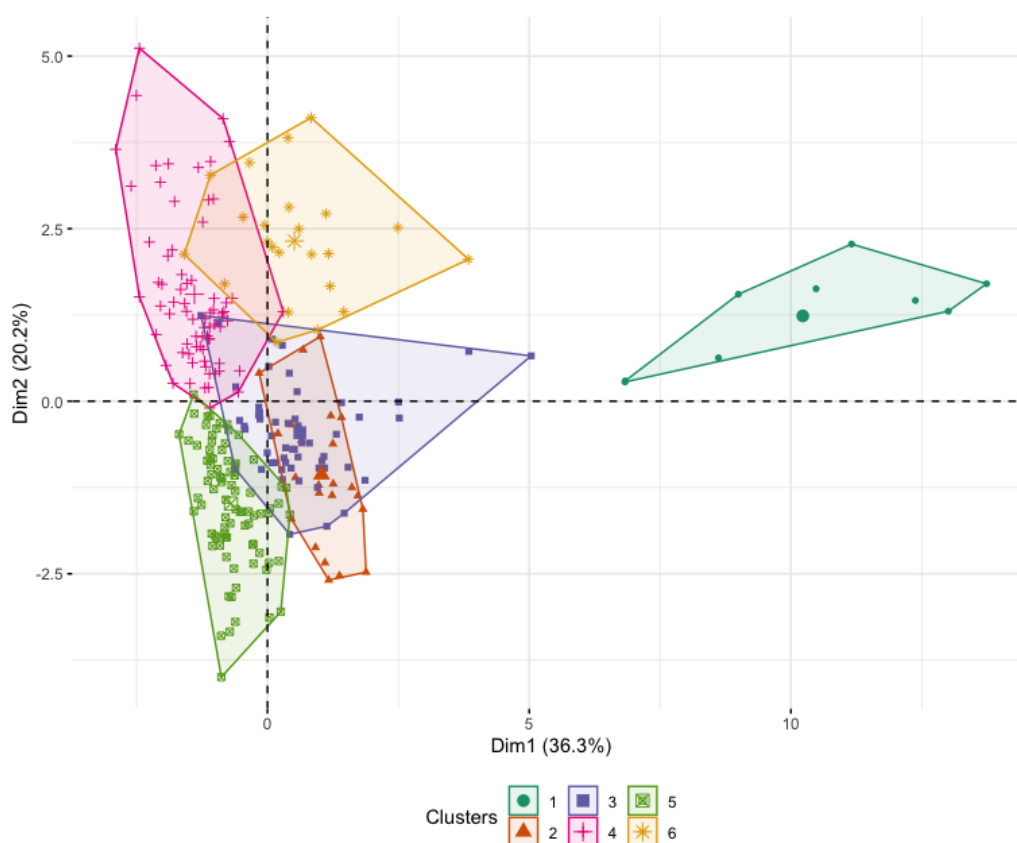


Figure 9 : Analyse en composantes principales effectuée sur les 14 traits en fonction des clusters de la classification non supervisée

Le cluster 1, composé exclusivement de l'espèce *Merremia aegyptia* (CONAE) se distingue par des valeurs élevées de H, BMA, TLA, RD et BMR (Annexe 9). Le second cluster regroupe l'ensemble des individus de l'espèce *Amaranthus spp.* (AMASS) et est caractérisé principalement par des faibles valeurs de SLA plante entière et de LCC au regard des moyennes des autres clusters. Le cluster 3 réunit quelques individus de lianes et la majorité des individus des espèces *Cleome viscosa* (CLEVI) et *Desmodium tortuosum* (DEDTO). Ce groupe présente des valeurs de SNC inférieures ainsi que des valeurs de SCC supérieures aux autres clusters. Le quatrième cluster comprend majoritairement l'espèce de lianes *Cardiospermum microcarpum* (CRIMI) et deux espèces de petites dicotylédones (*Mimosa pudica* – MIMPU, *Phyllanthus niruroides* – PYLNO). L'ensemble des individus de *Cyperus rotundus* appartenant aux vivaces se retrouve dans le cluster 5, aux côtés des espèces de petites dicotylédones *Euphorbia heterophylla* (EPHHL), *Euphorbia hyssopifolia* (EPHHS) et *Phyllanthus amarus* (PYLAM). Ces trois clusters (3, 4, 5) présentent de manière générale des valeurs moyennes pour la majorité des traits. Le dernier cluster est uniquement composé de l'espèce *Commelina benghalensis* (COMBE) appartenant au type des vivaces et se distingue par des valeurs relativement élevées de SRL et des faibles SCC.

#### 4.1.5. Étude de la croissance et de la production de canne à sucre

Les trois modèles construits pour expliquer la croissance et la production de biomasse sont résumés dans les Tableaux 8 et 9. Les facteurs fixes sont la date de mesure et le type d'adventices. Le facteur « pente » a été considéré comme facteur fixe pour le modèle de la biomasse d'une tige et comme facteur « aléatoire » pour la variable « biomasse totale » pour laquelle il était significatif. Pour rappel, il y a eu deux dates d'évaluation de la biomasse de canne à sucre (le 25/03 et le 12/05) suivies de la récolte (le 21/07).

Tableau 8 : Résultats de l'analyse de la variance du logarithme décimal de la biomasse d'une tige (les p-value en gras sont significatives)

Variables explicatives	Variable à expliquer log(biomasse d'une tige)
Types d'adventices	$F_4 = 1.5$ p-value = 0.21
Date	$F_2 = 1049$ p-value <b>&lt;0,0001</b>
Pente	$F_1 = 132.7$ p-value <b>&lt;0,0001</b>
Type x date	$F_8 = 2.6$ p-value <b>&lt;0,05</b>
Type x pente	$F_4 = 5.4$ p-value <b>&lt;0,0001</b>
Date x pente	$F_2 = 7.3$ p-value <b>&lt;0,01</b>



Pour la variable « biomasse d'une tige », l'analyse de la variance a mis en évidence la présence d'interactions significatives entre les trois facteurs fixes. La comparaison des moyennes deux à deux a révélé que la modalité ET était significativement différente de la modalité DT (p-value <0,05) et de la sous-modalité petites dicotylédones (p-value <0,05) pour la première date de mesure. Aucune différence significative n'a été mise en évidence lors de la deuxième date de mesure. A la récolte, une différence significative a été observée entre la modalité ET et la sous-modalité vivaces (Fig. 10a.).

Tableau 9 : Résultats de l'analyse de la variance des trois modèles construits, résumés par variable à expliquer

Variables à expliquer	Variables explicatives			
	Type d'adventices	Date	Type x date (interaction)	Facteur aléatoire
Nombre de tiges par m <sup>2</sup>	F <sub>4,90</sub> = 28,21 p-value < <b>0,0001</b>	/	/	Pente
Biomasse totale	F <sub>4,82</sub> = 17,17 p-value < <b>0,0001</b>	F <sub>2,82</sub> = 347,61 p-value < <b>0,0001</b>	F <sub>8,82</sub> = 5,70 p-value < <b>0,0001</b>	Pente

Pour la variable « nombre de tiges par mètre carré », la sélection de modèle a conservé uniquement le facteur fixe « type d'adventices », en complément du facteur « pente » en aléatoire (Tableau 9). Au travers de l'ensemble du cycle, la modalité ET était significativement différente de la modalité DT (p-value <0,0001) et de la sous-modalité petites dicotylédones (p-value <0,0001) (Fig. 10b.). La sous-modalité lianes était significativement différente de la modalité DT (p-value <0,0001) et de la sous-modalité petites dicotylédones (p-value <0,01) (Fig. 10b.). Une différence significative entre la modalité DT et la sous-modalité vivaces (p-value <0,0001) a également été observée (Fig. 10b.).

La variable « biomasse totale » (t.ha<sup>-1</sup>) renvoie à la biomasse totale de canne évaluée aux deux premières dates de mesure de mars et de mai ainsi qu'au rendement mesuré à la récolte en juillet. L'analyse de variance a révélé une interaction significative entre la « date » et le « type d'adventices », en complément du facteur « pente » en aléatoire (Tableau 9). La comparaison des moyennes deux à deux a permis de mettre en évidence des différences significatives au cours du cycle de la canne, lors des deux dernières évaluations de la biomasse de canne. Ainsi, à la seconde date (12/05), la modalité DT était significativement supérieure à la modalité ET (p-value <0,0001), à la sous-modalité lianes (p-value < 0,05) et à la sous-modalité petites dicotylédones (p-value < 0,05) (Fig. 10c.). A la récolte (21/07), les différences significatives entre la modalité DT et la modalité ET (p-value <0,0001) et entre DT et les lianes (p-value < 0,01) ont été conservées (Fig. 10c.). De plus, des différences significatives ont été observées entre la modalité ET et les sous-modalités vivaces (p-value < 0,001) et petites dicotylédones (p-value <0,0001), la biomasse étant significativement inférieure en ET (Fig. 10c.).

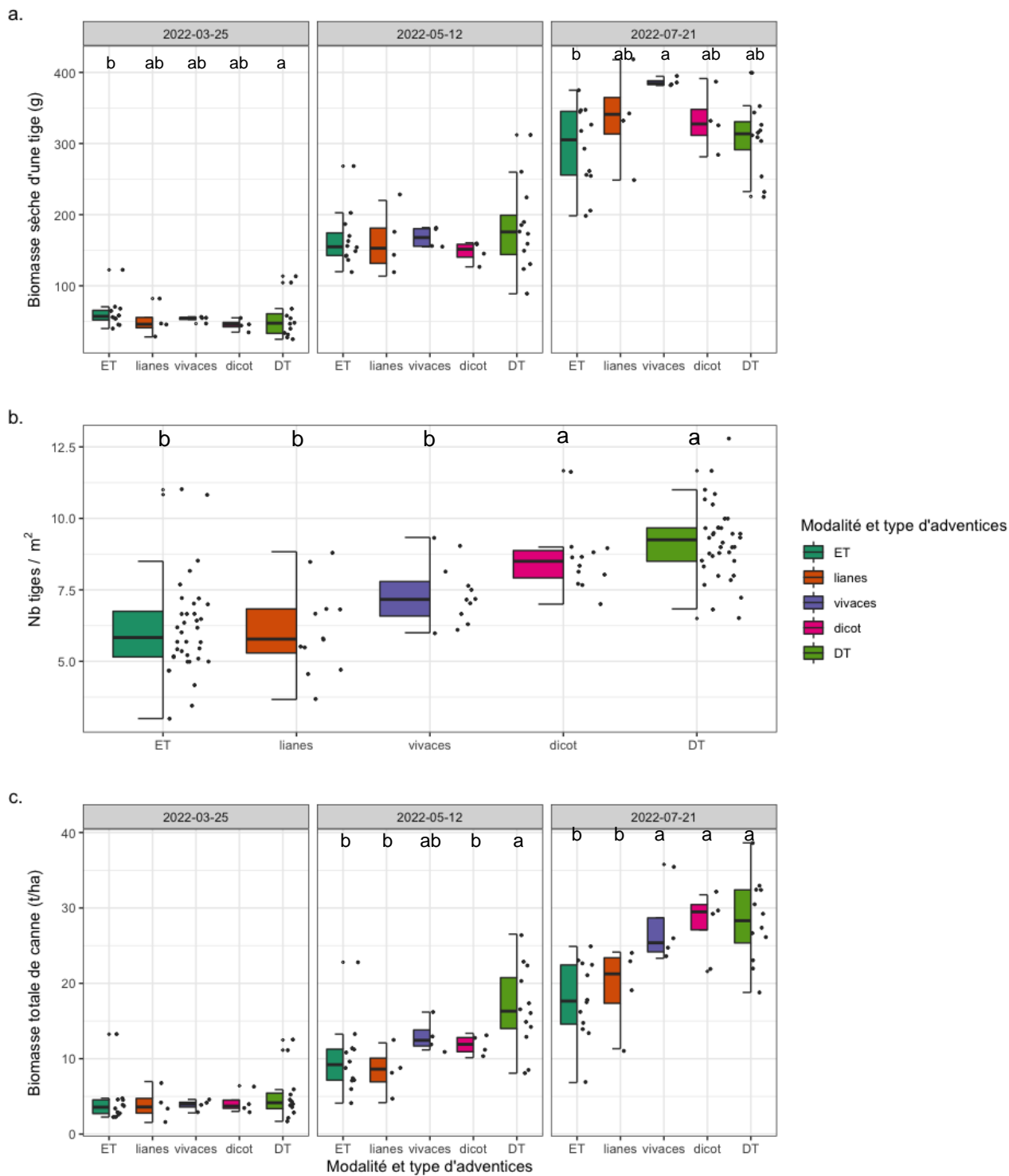


Figure 10 (a., b., c.) : Biomasse d'une tige, nombre de tiges (par m<sup>2</sup>) et biomasse totale de canne à sucre (en t.ha<sup>-1</sup>) par modalité et sous-modalité, classé chronologiquement. Les lettres indiquent des différences significatives (<math><0,05</math>) (ET= Enherbement Total, EC = Enherbement Choisi et DT = Désherbage Total, dicot = petites dicotylédones) [par souci d'interprétation, la biomasse d'une tige a été représentée à la place du logarithme décimal]

Les valeurs mesurées et prédites de biomasses et de rendements à la récolte, par modalité et par sous-modalité sont présentées dans le Tableau 10.

Tableau 10 : Valeurs mesurées et prédites des biomasses (kg) et rendements (t.ha-1) par modalité et sous-modalité

Modalités	Sous-modalités	Biomasse fraîche moyenne (kg)	Biomasse sèche moyenne (kg)	Rendement moyen (t/ha)	Rendement moyen prédit (t/ha)
ET		60,3	16,1	17,9	17,9
	Lianes	65,8	17,5	19,5	21,6
EC	Vivaces	92,7	24,7	27,5	26,0
	Petites dicotylédones	94,7	25,3	28,1	27,4
DT		95,6	25,5	28,3	28,3

#### 4.1.6. Biomasses d'adventices à la récolte et relation avec les pertes de rendement

La biomasse sèche d'adventices était supérieure en ET par rapport à toutes les sous-modalités en EC. La biomasse sèche la plus faible de toutes a été observée pour les vivaces (0,05 kg.m<sup>-2</sup>). La biomasse sèche de lianes était la plus élevée (0,28 kg.m<sup>-2</sup>) parmi les trois sous-modalités tandis que la biomasse des petites dicotylédones a montré une valeur intermédiaire (0,12 kg.m<sup>-2</sup>) (Tableau 11).

Tableau 11 : Valeurs des biomasses (kg) fraîche et sèche d'adventices en fonction de la modalité et du type d'adventices

Modalités	Sous-modalités	Biomasse fraîche moyenne (kg/placette)	Biomasse sèche moyenne (kg/placette)	Biomasse sèche moyenne (kg.m <sup>-2</sup> )
ET		10,14	3,13	0,35
	Lianes	6,65	2,50	0,28
EC	Vivaces	3,57	0,41	0,05
	Petites dicotylédones	4,78	1,05	0,12
DT		/	/	/

Le modèle statistique explicatif de la biomasse d'adventices sèche (par m<sup>2</sup>) créé a retenu le « type d'adventices » comme facteur fixe et le facteur « pente » comme facteur aléatoire (Tableau 12). La comparaison des moyennes a mis en évidence une unique différence significative entre la modalité ET et la sous-modalité vivaces (p-value <0,05).

Tableau 12 : Résultats de l'analyse de la variance de la biomasse sèche d'adventices (kg.m-2), résumés par variable à expliquer

Variables à expliquer	Variables explicatives	
	Type d'adventices	Facteur aléatoire
Biomasse d'adventices par m <sup>2</sup>	F <sub>3,9</sub> = 4,97 p-value < <b>0,05</b>	Pente

Concernant la variable « perte de rendement », une différence significative a été observée entre la modalité ET et les sous-modalités vivaces (p-value <0,05) et petites dicotylédones (p-value <0,05) (Figure 11).

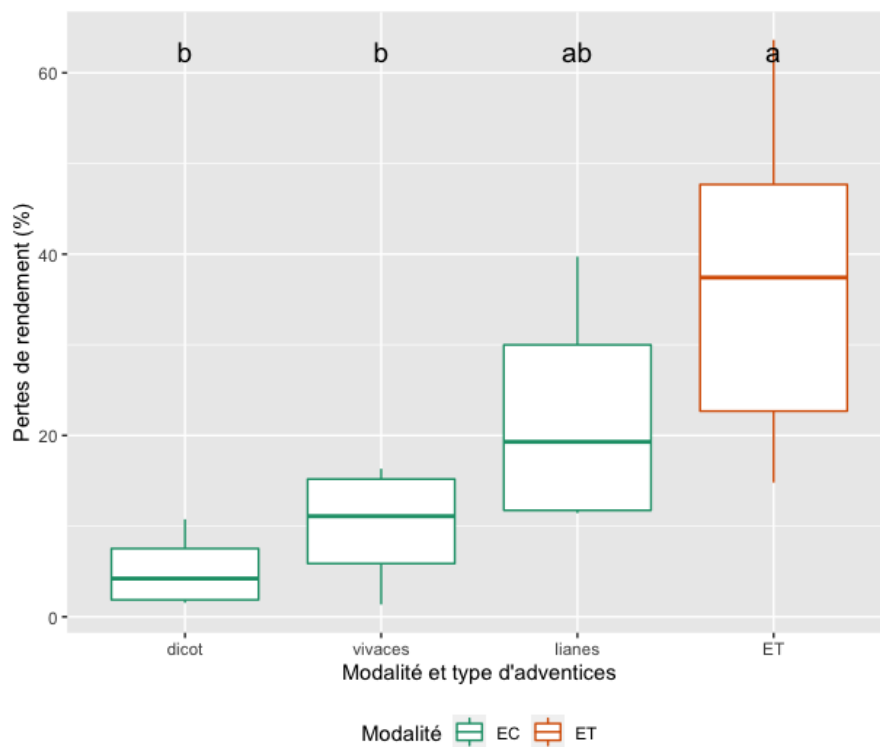


Figure 11 : Pertes de rendement (%) par rapport au témoin dés herbé (DT) à la récolte par modalité (ET = Enherbement Total, EC = Enherbement Choisi) et type d'adventices. Les lettres indiquent les différences significatives entre traitements (p-value <0,05).

La régression linéaire du rendement (t/ha) en fonction de la biomasse d'adventices (kg) a mis en évidence une corrélation négative très significative (p-value < 0,001) entre ces deux variables (Figure 12).

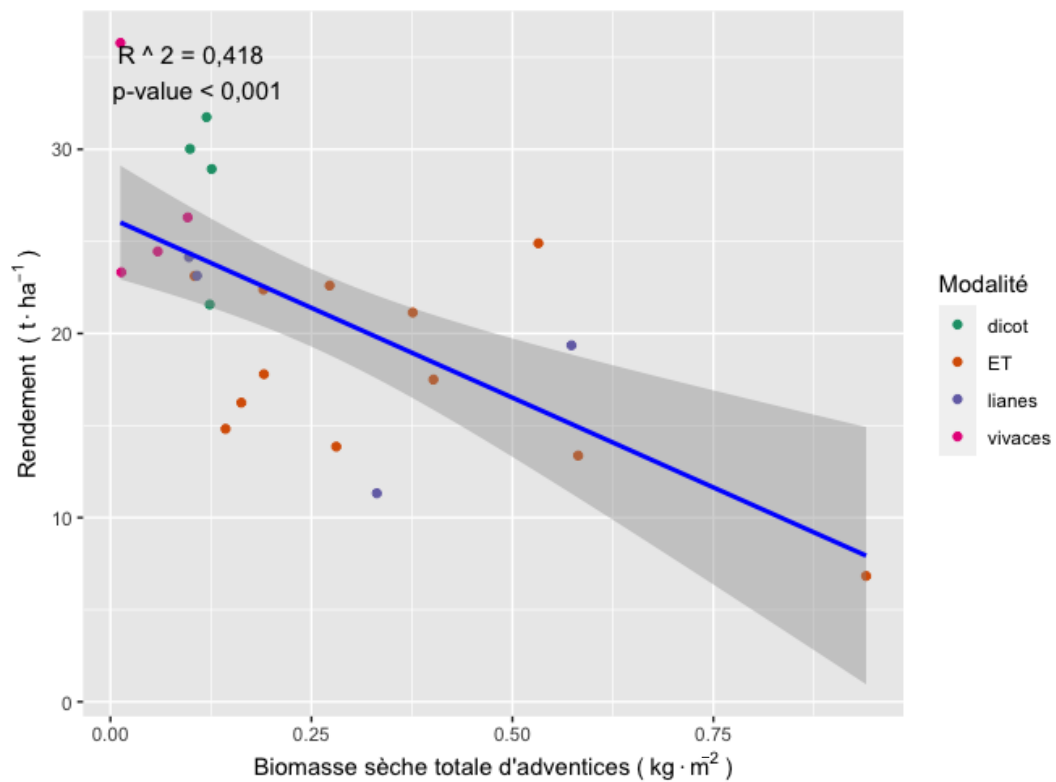


Figure 12 : Régression linéaire du rendement (en t/ha) en fonction de la biomasse d'adventices (kg.m-2), les points sont colorés selon le type d'enherbement

## 5. Discussion

### 5.1. Les traits fonctionnels

#### 5.1.1. Valeurs des traits et mise en évidence de leurs corrélations

A l'échelle inter-individus, c'est-à-dire sans différenciation entre les espèces, les valeurs des traits présentent de manière générale une variabilité élevée, à l'exception des taux de carbone des feuilles et des tiges. Ces résultats sont cohérents avec les taux de carbone généralement mesurés chez ces types de plantes (Ma et al., 2017). Le coefficient de variation le plus élevé, d'une valeur de 420 %, est celui du ratio partie aérienne/partie souterraine (RSR) et rend compte du large spectre de surfaces foliaires des différents individus échantillonnés.

A l'échelle spécifique, la quantification de la variabilité intraspécifique (Annexe 5) et interspécifique (Tableaux 6) a permis de vérifier l'hypothèse initiale sur laquelle reposent les comparaisons entre espèces sur la base des traits fonctionnels, à savoir l'existence d'une plus grande variation des valeurs de traits entre espèces qu'au sein de celles-ci (McGill et al., 2006). Cette vérification a été réalisée à travers l'étude des coefficients de variation intraspécifiques, paramètre recommandé en raison de son caractère adimensionnel (Albert et al., 2011). L'hypothèse initiale s'avère vérifiée dans la majeure partie des cas, à l'exception de la fraction massique foliaire (LMF) et de la longueur racinaire spécifique (SRL). Une certaine précaution est donc de mise lors de la discussion des différences entre espèces sur la base des valeurs de LMF. Néanmoins, pour le SRL, les variations intraspécifiques supérieures aux variations interspécifiques concernent uniquement les trois espèces de lianes (*Merremia aegyptia*, *Cardiospermum microcarpum*, *Ipomoea triloba*) suggérant une variabilité propre au comportement lianescent de l'espèce. Le SRL demeure en conséquence pertinent à analyser à l'échelle interspécifique, pour les autres types d'adventices.

Les coefficients de variation des traits des différents types d'adventices ne sont de manière générale pas inférieurs aux coefficients de variation interspécifiques, constituant ainsi un premier indice de l'absence d'homogénéité des valeurs de traits des espèces au sein des types que nous avons défini. L'analyse en composantes principales (ACP) a mis en évidence des corrélations fortes ( $>0,7$ ) entre les traits TLA, BMA, RD, BMR et H, dont les projections dans l'espace à deux dimensions s'alignent avec le premier axe. Perpendiculairement à ces derniers se situent les projections des traits SLA, SRL, SNC, LNC et RSR le long de la seconde dimension. Ce positionnement des axes indique des comportements différenciés entre les espèces. D'une part, certaines espèces présentent des valeurs élevées de traits relatifs à la taille (biomasse, hauteur, surface foliaire). D'autre part, d'autres espèces présentent des valeurs élevées de longueur racinaire spécifique (SRL) et de surface foliaire spécifique (SLA). Il s'agit de résultats concordant avec la mise en évidence d'un spectre économique foliaire et racinaire (Wright et al., 2004). Ce spectre traduit l'existence d'un compromis entre acquisition

rapide et conservation efficace des ressources (Diaz et al., 2004; Garnier et al., 2013). L'orthogonalité observée entre les traits de taille et ce spectre a par ailleurs également été démontrée dans d'autres publications (Tardy et al., 2015; Rakotomanga et al., 2022).

En supposant que les traits sélectionnés permettent d'identifier des stratégies d'acquisition des ressources, l'espèce *Merremia aegyptia* (CONAE, liane), unique espèce le long du premier axe de l'ACP, est ainsi caractérisée par sa capacité d'interception de la lumière, au travers de ses valeurs élevées de traits de taille. L'ensemble des autres espèces se positionnent le long du spectre économique foliaire et racinaire, depuis des espèces maximisant leurs valeurs de SLA, LNC et SNC comme PYLNO (petite dicotylédone), COMBE (vivace) ou encore CRIMI (liane), vers d'autres espèces maximisant leurs valeurs de RSR comme CYPRO (vivace) ou EPHHS (petite dicotylédone).

### 5.1.2. Regard critique sur la classification des types d'adventices

La classification par type d'adventices ne traduit pas des différences d'acquisition et utilisation des ressources évaluées sur la base des traits. L'absence visuelle (Fig. 8b.) de différenciation entre individus des différents types d'adventices est appuyée par la classification non supervisée dont les clusters diffèrent de la classification initiale. L'espèce CONAE se différencie particulièrement des autres espèces et constitue un cluster à part entière. Cette différenciation est en cohérence avec ses valeurs de traits extrêmes au regard des valeurs moyennes des traits des autres espèces étudiées. Concernant les autres espèces de lianes, celles-ci se répartissent au sein d'autres clusters, sans différenciation particulière. L'espèce COMBE appartenant au type « vivaces » constitue également un cluster spécifique, caractérisé principalement par des valeurs élevées de SLA et SRL. La seconde espèce de vivaces, CYPRO, est représentée par un autre cluster, positionné à l'opposé du second axe de l'ACP. Dans cette étude, le type des « vivaces » semble donc se répartir en deux stratégies d'acquisition des ressources distinctes, propre à chacune des espèces constitutives du type. Le troisième et dernier type d'adventices, les petites dicotylédones, ne semble pas être caractérisé par une unique stratégie d'acquisition des ressources, mais traduit plutôt l'étendue des valeurs de traits au sein du spectre économique foliaire et racinaire. Seule l'espèce AMASS se démarque des autres petites dicotylédones pour former un cluster unique. Il est cependant difficile d'interpréter cette différenciation au vu des valeurs moyennes des traits par rapport aux autres clusters (Annexe 9).

## 5.2. Impact des types d'adventices sur la croissance et la production de canne à sucre

Les valeurs de rendement du témoin désherbé sont cohérentes avec les moyennes de l'île pour les conditions pédoclimatiques de l'essai (M. Christina, communication personnelle). En raison de l'absence de différence significative de la biomasse d'une tige au cours du cycle, les pertes de rendement liées à l'enherbement s'illustrent principalement par une diminution significative du nombre de tiges par mètre carré résultant ensuite en une diminution de biomasse totale à l'hectare.

La mise en évidence d'une corrélation négative entre la biomasse d'adventices et le rendement est en adéquation avec les résultats de Marnotte et al. (2008).

L'hypothèse de l'impact différencié des différents types d'adventices est en partie confirmée. Les différences significatives de rendement observées entre le témoin désherbé et la sous-modalité lianes confirment l'hypothèse initiale d'une nuisibilité primaire directe supérieure par rapport aux deux autres types d'adventices, en cohérence avec les précédents travaux de Martin et al. (2010, 2012). Les petites dicotylédones constituent le groupe d'espèces le moins nuisible en raison de son rendement similaire au témoin désherbé. Les vivaces présentent finalement une nuisibilité primaire directe intermédiaire, légèrement supérieure aux petites dicotylédones mais sans différence significative, en cohérence avec les résultats obtenus sur les traits, montrant deux types de fonctionnement distincts entre les deux espèces de vivaces présentes dans l'essai. Sur la base des résultats de cette étude, de nouvelles hypothèses peuvent être posées, par exemple : les petites dicotylédones seraient moins nuisibles en raison de leur relative petite taille, d'une faible production de biomasse, de leur port droit et de leur faible enracinement, se traduisant globalement par une faible compétition aérienne et racinaire.

### 5.3. Limites de l'étude

#### 5.3.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental a été conçu afin de répondre à un certain nombre de contraintes scientifiques (relatives aux questions de recherche) et techniques (liées à l'itinéraire technique de la canne à sucre). Il en résulte un dispositif en « bandes » qui ne permet pas d'être associé à un design expérimental classique où l'allocation des traitements est faite par un tirage aléatoire. A cela s'ajoute également la non-randomisation des sous-modalités (lianes, vivaces, petites dicotylédones) au sein de EC, justifiée par la nécessité d'implanter un type d'adventices en particulier en fonction de la flore initiale présente. Le design expérimental déroge en conséquence au premier des trois principes de construction d'un design expérimental (randomisation, répétitions, contrôle de l'erreur) (Letourmy, 1999). Cependant, il est ici supposé que la disposition en bandes n'est pas une entrave à la fiabilité des résultats, notamment via la prise en compte de l'hétérogénéité des conditions le long de la parcelle par l'introduction du facteur « pente ».

En outre, la canne étant une culture pluriannuelle, l'année du cycle étudiée peut impacter les résultats. Dans le cadre de cette étude, la canne est à son année de plantation. Des différences de rendement sont parfois observées entre les années de plantation *versus* de repousse mais aucun pattern clair et défini n'a pu être mis en évidence jusqu'à présent (Viaud, en cours de publication). Au regard de l'objectif de cette étude, l'année de plantation peut représenter une opportunité. En effet, le système racinaire de la canne étant moins développé (Chopart et al., 2010), on peut supposer



que l'impact des adventices sera davantage visible et indépendant des conditions de croissance de la culture en année n-1.

### 5.3.2. Mise en œuvre des protocoles

Le caractère simultané de la prise de mesure des traits a requis un temps de stockage plus ou moins long des échantillons végétaux en chambre froide. Ce traitement est discutable en termes d'impact potentiel de la conservation sur l'intégrité des tissus végétaux. De plus, un souci technique de la chambre froide a engendré la dégradation partielle de certains échantillons foliaires. Cet ajout potentiel de variabilité intra-et interspécifique fait partie des limites de notre étude. Affectant a priori uniquement la mesure de la surface foliaire et donc les traits SLA et TLA, on peut supposer que le SLA plante entière soit plus fiable que le SLA en raison de la répétition de la mesure de la surface foliaire sur l'ensemble des feuilles. Cette supposition semble vérifiée au travers de la comparaison de la variabilité des deux traits (Tableau 6). Ce constat est cohérent avec les résultats de Gunn et al. (1999) qui démontrent que le SLA plante entière varie avec l'âge de la plante (supposé presque identique entre les individus d'une espèce dans cette étude) alors que le SLA varie selon la position de la feuille et l'âge de la feuille.

Le protocole de mesure des traits racinaires a été adapté dans le cadre de cette étude afin qu'ils soient évalués à l'échelle individuelle et non de la communauté. Les protocoles d'écologie fonctionnelle étant généralement adaptés à l'échelle de la communauté, le protocole racinaire a été testé pour la première fois et nécessite d'être approfondi. Un de ses principaux défauts est la perte potentielle des racines très fines (<1 mm) lors de l'extraction du système racinaire entier. De plus, l'hypothèse initiale de la présence de 90 % des racines de l'individu échantillonné dans les 25 premiers cm du sol tend à être vérifiée plus largement. Les traits racinaires n'ayant pas pu être analysés sur l'ensemble des individus échantillonnés par manque de temps (106/270 individus au total), la mesure des traits sur tous les individus constituera un premier indice de la fiabilité du protocole au travers des résultats obtenus. Prélever les racines à une profondeur de 25 cm est cependant pertinent pour évaluer les effets de compétition racinaire entre la plante échantillonnée et la canne sachant que 50 % de la biomasse racinaire de canne est présente dans les 20 premiers cm du sol, et 85 % jusqu'à 60 cm (Smith et al., 2005). De manière générale, les protocoles de mesure des traits racinaires, et plus spécifiquement des racines fines (<2 mm) responsables de l'acquisition des ressources, sont depuis longtemps discutés dans la littérature d'écologie comparative et font l'objet d'une absence de consensus au sein de la communauté scientifique (McCormack et al., 2015).

La mesure de la hauteur d'une liane est questionnable d'un point de vue de la fiabilité de répétition de la mesure. En raison de son caractère lianescent, la hauteur d'une liane est dépendante du tuteur sur lequel elle prend appui. Les protocoles standards de mesure des traits (Pérez-Harguindeguy et al., 2013) n'envisagent pas ce cas particulier. L'entremêlement des tiges entre elles complique de surcroît

l'identification de l'organe végétatif culminant. C'est pour cette raison que la hauteur des lianes *Merremia aegyptia* n'a pas pu être mesurée au champ, bien qu'il soit évident qu'elle présente la hauteur la plus élevée de toutes les espèces étudiées aux travers des nombreuses observations au champ.

#### 5.4. L'approche fonctionnelle : intérêts et limite

L'approche fonctionnelle a été mobilisée pour caractériser la diversité des plantes, et plus spécifiquement pour étudier les stratégies d'acquisition des ressources des adventices. Des comparaisons entre espèces ont été effectuées sur la base des différences de valeurs de traits des espèces, sous réserve d'une variabilité intraspécifique inférieure à la variabilité interspécifique (McGill et al., 2006). Les valeurs des traits ont ainsi permis de questionner la classification initiale basée sur des caractéristiques morphologiques, phénologiques et taxonomiques.

L'intérêt d'une telle approche en agronomie réside dans la possibilité de passer de l'échelle de l'individu à celle de la communauté, dans la description fonctionnelle des adventices, et par extension dans la caractérisation de l'effet des adventices sur l'agro-écosystème (Garnier et al., 2013). De cet intérêt découle également une limite de l'approche. Les adventices coexistent avec la culture en place dont les modalités de croissance sont contrôlées par l'agriculteur, induisant en retour des modifications de conditions environnementales. Au-delà des interactions des adventices avec la culture, il y a donc également une influence extrinsèque propre à l'itinéraire technique mis en œuvre (Garnier et al., 2013).

## 6. Conclusion et perspectives

Grâce à la vérification de l'hypothèse d'une variabilité intraspécifique inférieure à la variabilité interspécifique pour la majorité des traits, les comparaisons des valeurs de traits entre espèces ainsi que leurs corrélations ont mis en évidence l'existence de deux types de stratégies d'acquisition des ressources contrastés au sein du panel d'espèces étudiées. D'une part, l'existence d'un spectre économique foliaire et racinaire illustrant le compromis entre acquisition et conservation des ressources est soutenu par les résultats de cette étude. D'autre part, l'espèce *Merremia aegyptia* se démarque au travers de valeurs élevées de traits de taille, à savoir la biomasse aérienne et racinaire ainsi que le diamètre racinaire. En parallèle, la mise en évidence d'une nuisibilité primaire directe supérieure du type lianes par rapport aux vivaces et aux petites dicotylédones soutient l'hypothèse initiale de l'existence d'un gradient de nuisibilité des adventices, où les lianes seraient les plus nuisibles suivies par les vivaces et ensuite les petites dicotylédones. Dans le cadre de cette étude, la nuisibilité primaire directe mise en évidence semble être majoritairement imputable à l'espèce *Merremia aegyptia*. Une nouvelle hypothèse en découle : la nuisibilité primaire directe des adventices vis-à-vis de la canne à sucre serait engendrée par des espèces caractérisées par des biomasses aériennes et souterraines élevées, desquelles découle une forte capacité à entrer en compétition pour les ressources (lumière et azote principalement) avec la culture. De nouvelles recherches permettant de caractériser davantage la compétition aérienne et souterraine des adventices avec la canne à sucre seraient intéressantes afin de poursuivre la description de leur nuisibilité. L'étude des valeurs de traits des différentes espèces de lianes retrouvées en canne à sucre serait un exemple de poursuite de la caractérisation de la nuisibilité observée. En complément, la nouvelle classification réalisée sur la base des valeurs des traits pourrait servir de référence pour la construction future de nouveaux designs expérimentaux.

Par ailleurs, cette étude n'a pas permis d'identifier clairement l'impact des pertes de rendement sur le nombre de tiges de canne au mètre carré et sur la biomasse moyenne d'une tige. Un suivi plus régulier de la croissance de la canne est une piste à envisager dans la description rigoureuse des effets de la compétition des adventices sur la canne à sucre. A cela s'ajoute également l'étude de l'évolution de la hauteur de tige de canne n'ayant pas pu être réalisée dans le cadre de ce travail de recherche. Il serait dès lors intéressant d'inclure la hauteur en tant que variable constitutive du rendement.

L'étude des valeurs des traits à l'échelle de la communauté sera présentée oralement dans le but de répondre à la troisième et dernière partie de la problématique posée initialement. Le calcul des traits moyens des communautés sera entrepris, et ce depuis les valeurs moyennes des traits des espèces ainsi que les relevés floristiques réalisés. L'objectif sera d'étudier les valeurs de ces traits moyens à proprement parler ainsi que leur lien potentiel avec le rendement observé en canne à sucre. Cette analyse apportera également des informations sur la pertinence du choix des traits sélectionnés pour

expliquer les effets compétitifs exercés par les adventices. En d'autres termes, les traits sélectionnés permettent-ils d'expliquer l'effet compétitif des différentes communautés d'adventices ? De plus, les résultats à l'échelle de la communauté sont-ils concordants avec les observations à l'échelle de l'individu/de l'espèce ?

De plus, de telles études tendent à être portées à une échelle supérieure. En incluant une variabilité interannuelle des mesures ainsi qu'une variabilité d'itinéraires techniques mis en œuvre, les résultats gagneraient en robustesse, sous la réserve que les effets compétitifs puissent être mis en évidence via les traits fonctionnels. A noter qu'en diversifiant les conduites de la culture et les conditions pédoclimatiques des essais, il serait alors possible de quantifier l'ajout de variabilité qui pourrait en découler. Il s'agirait d'une manière de pallier la limite de l'approche fonctionnelle évoquée ci-dessus.

En conclusion, cette étude aura permis d'apporter des éléments de compréhension de la nuisibilité primaire directe de quelques espèces d'adventices communes de la culture de canne à sucre à La Réunion et soutient dès lors l'intérêt de mobiliser l'approche fonctionnelle pour étudier les stratégies de compétition des ressources des adventices.

## **7. Contribution personnelle de l'étudiante**

Ce sujet de stage s'inscrit dans un projet plus global de développement de modes durables de gestion des adventices. L'étude de la nuisibilité des adventices au travers de la description de leurs mécanismes de compétition contribue à ce développement d'alternatives.

Après une étude bibliographique étendue ainsi qu'une prise en main de l'approche fonctionnelle jusque-là inconnue, j'ai sélectionné une série de traits à mesurer jugés pertinents et en adéquation avec les moyens humains et matériels à disposition. Avec l'aide de ma maître de stage, j'ai ensuite réalisé l'échantillonnage au champ. Il s'en est suivi les manipulations des échantillons végétaux au sein des locaux du CIRAD. En parallèle, j'ai collaboré avec l'équipe des techniciens du site expérimental pour réaliser les évaluations de croissance de la canne. De plus, une chercheuse en malherbologie du centre de recherche m'a guidée dans le processus d'identification des espèces communes d'adventices de La Réunion, à la suite de quoi j'ai pu réaliser les relevés floristiques de manière autonome. Au cours de ce travail de recherche, j'ai mené à bien l'ensemble des mesures des traits, à l'exception des extractions de carbone et d'azote qui ont été effectuées par l'équipe spécialisée du laboratoire de chimie du CIRAD. Enfin, j'ai participé à la récolte de la canne au cours de laquelle le rendement a été mesuré.

# Bibliographie

- Agreste, 2019. Agreste - Filière Canne - Sucre - Rhum - Energie, La Réunion, DAAF Réunion.
- Agreste, 2021. Mémento 2021 - La Réunion, DAAF Réunion.
- agriculture.gouv.fr, 2022. La plan Ecophyto, qu'est-ce que c'est. *Ministère Agric. Aliment.* <https://agriculture.gouv.fr/le-plan-ecophyto-quest-ce-que-cest>, (04/04/2022).
- Albert C.H., Grassein F., Schurr F.M., Vieilledent G. & Violle C., 2011. When and how should intraspecific variability be considered in trait-based plant ecology? *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* **13**(3), 217–225.
- Altieri M.A., 1995. *Agroecology: The Science Of Sustainable Agriculture, Second Edition*, CRC Press, 448.
- Altieri M.A., 2000. Agroecology: principles and strategies for designing sustainable farming systems. *Agroecol. Action* 8.
- ANSES, July-16-2022. E-phy. <https://ephy.anses.fr/> (16/07/2022).
- Antoir J., Goebel F.R., Le Bellec F. & Esther J.J., 2016a. *Les bonnes pratiques de désherbage de la canne à sucre – Ile de La Réunion 2016*, Chambre d'agriculture de La Réunion, 86.
- Beluci L.R., Bacha A.L. & Barroso A.A.M., 2018. One-eye-set sugarcane susceptibility to weed interference. *Acad Bras Cienc* 11.
- Bhullar M.S., Walia U.S., Singh S., Singh M. & Jhala A.J., 2012. Control of Morningglories (*Ipomoea* spp.) in Sugarcane (*Saccharum* spp.). *Weed Technol.* **26**(1), 77–82.
- Caussanel J.P., 1989. Nuisibilité et seuils de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. *Agronomie* **9**(3), 219–240.
- Chabalier P., Saint Macary H. & Van de Kerchove V., 2007. *Guide de la fertilisation organique à la Réunion*, Cirad, Chambre d'agriculture de La Réunion, 304.
- Chaudot A., 2019. Quantification de la variabilité intra-spécifique des traits chez les espèces de jachère améliorée de bananeraies (thesis).
- Chauhan B.S., 2020. Grand Challenges in Weed Management. *Front. Agron.* **1**.
- Cheavegatti-Gianotto A., de Abreu H.M.C., Arruda P., Besspalhok Filho J.C., Burnquist W.L., Creste S., di Ciero L., Ferro J.A., de Oliveira Figueira A.V., de Sousa Filgueiras T., Grossi-de-Sá M. de F., Guzzo E.C., Hoffmann H.P., de Andrade Landell M.G., Macedo N., Matsuoka S., de Castro Reinach F., Romano E., da Silva W.J., de Castro Silva Filho M. & César Ulian E., 2011a. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A Reference Study for the Regulation of Genetically Modified Cultivars in Brazil. *Trop. Plant Biol.* **4**(1), 62–89.
- Chetty J., Mansuy A., Barbet-Massin V., Preshoux V., Marnotte P. & Damour C., 2020. Désherbage économe en herbicide de la canne à sucre à La Réunion 157.
- Chopart J.L., Azevedo M.C.B., Mézo L.L. & Marion D., 2010. SUGARCANE ROOT SYSTEM DEPTH IN THREE DIFFERENT COUNTRIES **27**, 8.
- Colbach N., Munier-Jolain N., Dugué F., Gardarin A., Strbik F. & Moreau D., 2020. The response of weed and crop species to shading. How to predict their morphology and plasticity from species traits and ecological indexes? *Eur. J. Agron.* **121**, 126158.
- Cordeau S. & Moreau D., 2017. Gestion des adventices au moyen des cultures intermédiaires multi-services: potentiels et limites. *Innov. Agron.* **62**, 87–100.
- Correia N.M., 2016. Chemical Control of Morning Glory Species in Sugarcane Harvested in

- the Dry and Semi-Wet Seasons1. *Planta Daninha* **34**(2), 333–343.
- DAAF La Réunion, 2016. Le désherbage de la canne à sucre à La Réunion. *Agreste* (101), 16.
- DAAF La Réunion, 2020. ENQUÊTE PRATIQUES CULTURALES 2017 - Etat des lieux des pratiques de désherbage de la canne à sucre à La Réunion - Agreste.
- Damour G., 2018. Les traits des espèces des agro-écosystèmes : une description fonctionnelle des espèces et des communautés pour les choisir et les orienter vers la fourniture de services (thesis), Université Montpellier 2.
- Darras A., Bosc P.-M. & Mialet-Serra I., 2021. L’agriculture de La Réunion : Chiffres clés et défis. <https://agritrop.cirad.fr/598945/>, (12/01/2022).
- Dekker J., 1999. Soil Weed Seed Banks and Weed Management. *J. Crop Prod.* **2**(1), 139–166.
- Diaz S., Hodgson J. g., Thompson K., Cabido M., Cornelissen J. h. c., Jalili A., Montserrat-Martí G., Grime J. p., Zarrinkamar F., Asri Y., Band S. r., Basconcelo S., Castro-Díez P., Funes G., Hamzehee B., Khoshnevi M., Pérez-Harguindeguy N., Pérez-Rontomé M. c., Shirvany F. a., Vendramini F., Yazdani S., Abbas-Azimi R., Bogaard A., Boustani S., Charles M., Dehghan M., de Torres-Espuny L., Falczuk V., Guerrero-Campo J., Hynd A., Jones G., Kowsary E., Kazemi-Saeed F., Maestro-Martínez M., Romo-Díez A., Shaw S., Siavash B., Villar-Salvador P. & Zak M. r., 2004. The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. *J. Veg. Sci.* **15**(3), 295–304.
- Dudley N. & Alexander S., 2017. Agriculture and biodiversity: a review. *Biodiversity* **18**(2–3), 45–49.
- Fortunel C., Fine P.V.A. & Baraloto C., 2012. Leaf, stem and root tissue strategies across 758 Neotropical tree species. *Funct. Ecol.* **26**(5), 1153–1161.
- Freschet G. & Roumet C., 2017. Sampling roots to capture plant and soil functions. *Funct. Ecol.* **31**.
- Freschet G.T., Roumet C., Comas L.H., Weemstra M., Bengough A.G., Rewald B., Bardgett R.D., De Deyn G.B., Johnson D., Klimešová J., Lukac M., McCormack M.L., Meier I.C., Pagès L., Poorter H., Prieto I., Wurzbürger N., Zadworny M., Bagniewska-Zadworna A., Blancaflor E.B., Brunner I., Gessler A., Hobbie S.E., Iversen C.M., Mommer L., Picon-Cochard C., Postma J.A., Rose L., Ryser P., Scherer-Lorenzen M., Soudzilovskaia N.A., Sun T., Valverde-Barrantes O.J., Weigelt A., York L.M. & Stokes A., 2021. Root traits as drivers of plant and ecosystem functioning: current understanding, pitfalls and future research needs. *New Phytol.* **232**(3), 1123–1158.
- Gaba S., Fried G., Kazakou E., Chauvel B. & Navas M.-L., 2014. Agroecological weed control using a functional approach: a review of cropping systems diversity. *Agron. Sustain. Dev.* **34**(1), 103–119.
- Garcia L., Metay A., Kazakou E., Storkey J., Gary C. & Damour G., 2020. Optimizing the choice of service crops in vineyards to achieve both runoff mitigation and water provisioning for grapevine: a trait-based approach. *Plant Soil* **452**(1), 87–104.
- Garnier E. & Navas M.-L., 2013. *Diversité fonctionnelle des plantes*, 353.
- Gliessman S., 2018. Defining Agroecology. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* **42**(6), 599–600.
- Gomiero T., Pimentel D. & Paoletti M.G., 2011. Is There a Need for a More Sustainable Agriculture? *Crit. Rev. Plant Sci.* **30**(1–2), 6–23.
- Gunn S., Farrar J.F., Collis B.E. & Nason M., 1999. Specific leaf area in barley: individual leaves versus whole plants. *New Phytol.* **143**(1), 45–51.

- Holland N. & Lyssimachou A., 2021. The Glyphosate Story so far: Controversy over Science, Lawsuits and Dodgy Lobbying Tactics. *Corp. Eur. Obs. CEO*.
- Josse J. & Husson F., 2016. missMDA: A Package for Handling Missing Values in Multivariate Data Analysis. *J. Stat. Softw.* **70**(1), 31 p.
- Lavorel S. & Garnier E., 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Funct. Ecol.* **16**(5), 545–556.
- Le Bourgeois T., Marnotte P. & Fayolle B., 2021. Weeds of tropical rainfed cropping systems: are there patterns at a global level of perception? (Research Report), CIRAD.
- Letourmy P., 1999. Expérimentation agronomique planifiée.
- Liu J.G., Mahoney K.J., Sikkema P.H. & Swanton C.J., 2009. The importance of light quality in crop–weed competition. *Weed Res.* **49**(2), 217–224.
- Ma S., He F., Tian D., Zou D., Yan Z., Yang Y., Zhou T., Huang K., Shen H. & Fang J., 2017. Variations and determinants of carbon content in plants: a global synthesis. *Biogeosciences Discuss.* 1–22.
- Mansuy A., Marnotte P., Marion D., Martin J., Roux E., Chouteau R., Wilt M. & Soubadou G., 2019. CanécoH : mise au point de leviers pour une Canne à sucre économe en Herbicide à La Réunion. *Innov. Agron.* 76 1-2.
- Marion D. & Marnotte P., 1991. Nuisibilité de l'enherbement sur une culture de canne à sucre, AFCAS.
- Martin J., Bourgeois T.L., Lebreton G., Marnotte P., Chabalier M., Valéry A. & Lépinay E., 2012. Pourquoi tant de lianes ? Le cas de la canne à sucre à La Réunion. 10.
- Martin J., Maillary L. & Antoir J., 2019a. Végéphyll – 24e conférence du COLUMA - Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes - Orléans – 3, 4 et 5 décembre 2019. 11.
- Martin J., Maillary L. & Antoir J., 2019b. AFPP – 23e Conférence du Columa - Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes - DIJON – 6, 7 et 8 décembre 2016 - L'IFT Herbicides canne à sucre à La Réunion : la baisse semble amorcée. Dijon, 11.
- Martin J., Maillary L., Dutripon S., Chaulet G., Antoir J. & Masson J., 2016. AFPP – 23e Conférence du Columa Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes Dijon – 6, 7 ET 8 décembre 2016 - L'IFT herbicides canne à sucre à la Réunion : la baisse semble amorcée. 11.
- Martin J., Marion D., Marnotte P. & Esther J.-J., 2010. Le fléau des lianes grimpantes. *Caro Canne*.
- Mateo-Sagasta J., Marjani Zadeh S. & Turrall H., 2018. *More people, more food... worse water? - Water Pollution from Agriculture: a global review*, FAO, Rome, Italy, 225.
- McCormack M.L., Dickie I.A., Eissenstat D.M., Fahey T.J., Fernandez C.W., Guo D., Helmisaari H.-S., Hobbie E.A., Iversen C.M., Jackson R.B., Leppälammii-Kujansuu J., Norby R.J., Phillips R.P., Pregitzer K.S., Pritchard S.G., Rewald B. & Zadworny M., 2015. Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. *New Phytol.* **207**(3), 505–518.
- McCormack M.L., Guo D., Iversen C.M., Chen W., Eissenstat D.M., Fernandez C.W., Li L., Ma C., Ma Z., Poorter H., Reich P.B., Zadworny M. & Zanne A., 2017. Building a better foundation: improving root-trait measurements to understand and model plant and



- ecosystem processes. *New Phytol.* **215**(1), 27–37.
- McGill B., Enquist B., Weiher E. & Westoby M., 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends Ecol. Evol.* **21**(4), 178–185.
- Montgomery D.R., 2007. Soil erosion and agricultural sustainability. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **104**(33), 13268–13272.
- Moreau D., Perthame L. & Colbach N., 2020a. La compétition pour les ressources entre plantes : des clés pour choisir les cultures et variétés pour contrôler les adventices. *Innov. Agron.* **81**, 19.
- Moreau D., Perthame L. & Colbach N., 2020b. La compétition pour les ressources entre plantes : des clés pour choisir les cultures et variétés pour contrôler les adventices.
- Multigner L., Ndong J.R., Giusti A., Romana M., Delacroix-Maillard H., Cordier S., Jégou B., Thome J.P. & Blanchet P., 2010. Chlordecone Exposure and Risk of Prostate Cancer. *J. Clin. Oncol.* **28**(21), 3457–3462.
- Navas M.-L., 2012. Trait-based approaches to unravelling the assembly of weed communities and their impact on agro-ecosystem functioning. *Weed Res.* **52**(6), 479–488.
- Oerke E.-C., 2006. Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* **144**(1), 31–43.
- Pakeman R.J. & Quested H.M., 2007. Sampling plant functional traits: What proportion of the species need to be measured? *Appl. Veg. Sci.* **10**(1), 91–96.
- Pérez-Harguindeguy N., Díaz S., Garnier E., Lavorel S., Poorter H., Jaureguiberry P., Bret-Harte M.S., Cornwell W.K., Craine J.M., Gurvich D.E., Urcelay C., Veneklaas E.J., Reich P.B., Poorter L., Wright I.J., Ray P., Enrico L., Pausas J.G., de Vos A.C., Buchmann N., Funes G., Quétier F., Hodgson J.G., Thompson K., Morgan H.D., ter Steege H., Sack L., Blonder B., Poschlod P., Vaieretti M.V., Conti G., Staver A.C., Aquino S. & Cornelissen J.H.C., 2013. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Aust. J. Bot.* **61**(3), 167.
- Rakotomanga D., Kazakou E. & Damour G., 2022. Plant Height and Biomass as Predictors of Between-Species Interactions in Mixed Cover Crops-Spontaneous Species Communities Along a Cropping Practices Gradient.
- Roumet C., Urcelay C. & Díaz S., 2006. Suites of root traits differ between annual and perennial species growing in the field. *New Phytol.* **170**(2), 357–368.
- Schwartz M., 2021. *Nuisibilité des adventices de la canne à sucre*, DPP-SIAAM.
- Smith D.M., Inman-Bamber N.G. & Thorburn P.J., 2005. Growth and function of the sugarcane root system. *Field Crops Res., Sugarcane physiology: Integrating from cell to crop to advance sugarcane production* **92**(2), 169–183.
- Suganthi M., Muthukrishnan P. & Chinnusamy C., 2019. Crop Weed Competition in Sugarcane - A Review. *Agric. Rev.* **40**(03).
- Syndicat du Sucre de La Réunion, nd. Filière canne-sucre. <https://sucre.re/le-process-sucier/>, (04/04/2022).
- Tardy F., Damour G., Dorel M. & Moreau D., 2017. Trait-based characterisation of soil exploitation strategies of banana, weeds and cover plant species. *PLOS ONE* **12**(3), e0173066.
- Tardy F., Moreau D., Dorel M. & Damour G., 2015. Trait-based characterisation of cover plants' light competition strategies for weed control in banana cropping systems in the French West Indies. *Eur. J. Agron.* **71**, 10–18.

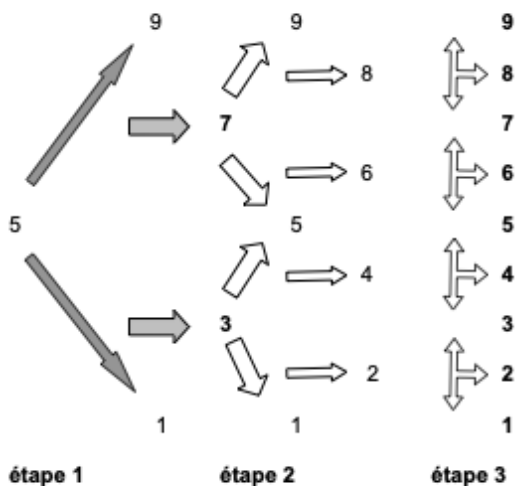
- Teasdale J.R. & Mohler C.L., 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Sci.* **48**(3), 385–392.
- Van Bruggen A.H.C., He M.M., Shin K., Mai V., Jeong K.C., Finckh M.R. & Morris J.G., 2018. Environmental and health effects of the herbicide glyphosate. *Sci. Total Environ.* **616–617**, 255–268.
- Violle C., Garnier E., Lecoœur J., Roumet C., Pothier C., Blanchard A. & Navas M.-L., 2009. Competition, traits and resource depletion in plant communities. *Oecologia* **160**(4), 747–755.
- Violle C., Navas M.-L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I. & Garnier E., 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos* **116**(5), 882–892.
- Wezel A., 2017. *Agroecological Practices For Sustainable Agriculture: Principles, Applications, And Making The Transition*, World Scientific, 502.
- Wright I.J., Reich P.B., Westoby M., Ackerly D.D., Baruch Z., Bongers F., Cavender-Bares J., Chapin T., Cornelissen J.H.C., Diemer M., Flexas J., Garnier E., Groom P.K., Gulias J., Hikosaka K., Lamont B.B., Lee T., Lee W., Lusk C., Midgley J.J., Navas M.-L., Niinemets Ü., Oleksyn J., Osada N., Poorter H., Poot P., Prior L., Pyankov V.I., Roumet C., Thomas S.C., Tjoelker M.G., Veneklaas E.J. & Villar R., 2004. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* **428**(6985), 821–827.

# Annexes

**Annexe 1** : Méthode de notation des relevés floristiques (note de 1 à 9, et de 1 à 100 %) – Pascal Marnotte (2001).

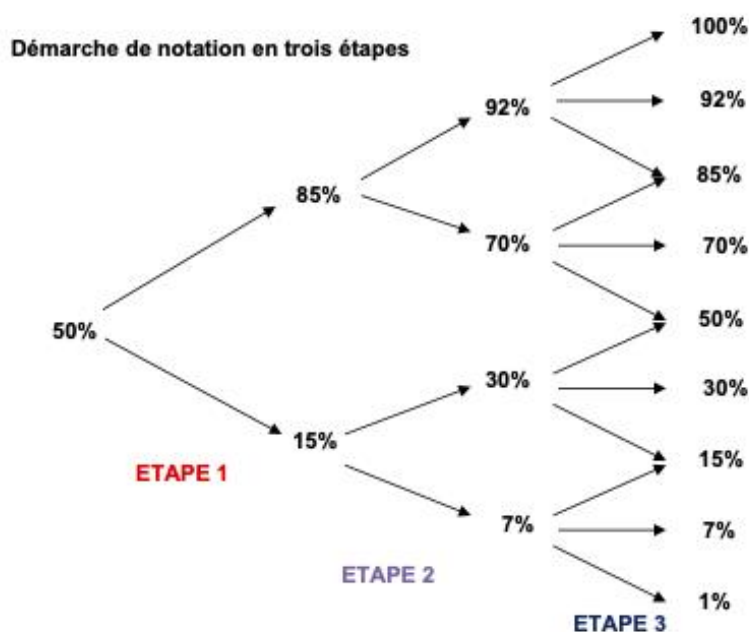
novembre 2001

## Démarche de notation en trois étapes



Le choix s'opère pour une alternative à chaque étape :

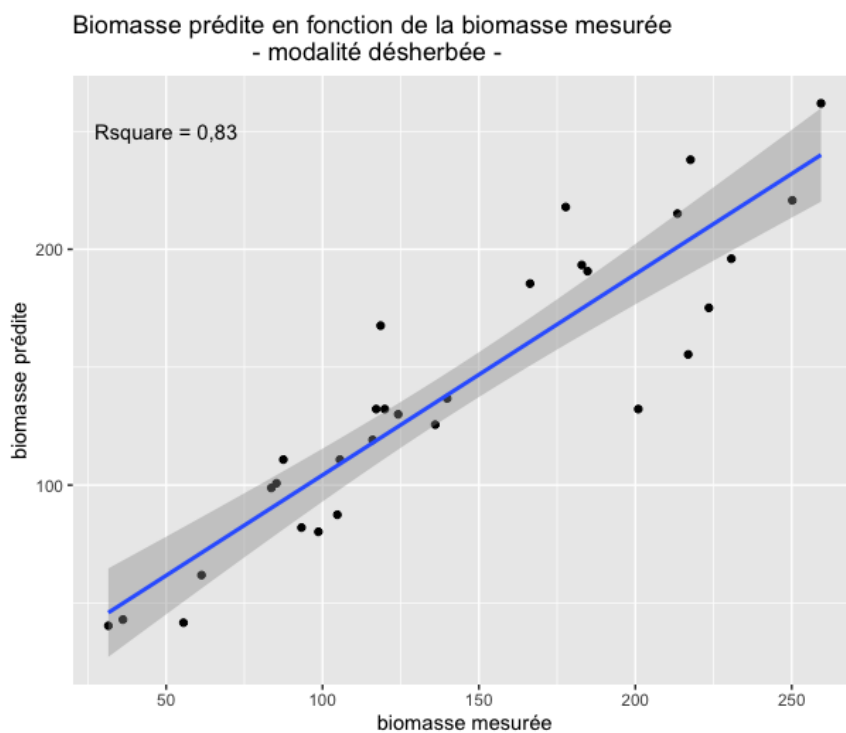
- |                |  |
|----------------|--|
| <b>étape 1</b> | par rapport à la note 5 (= 50%)<br>est-on à plus de 5 ou à moins de 5 ?  |
| <b>étape 2</b> | <p>2.1 plus de 5 ; on se situe par rapport à la note 7 (=85%)<br/>est-on à plus de 7 ou à moins de 7 ?</p> <p>2.2 moins de 5 ; on se situe par rapport à la note 3 (=15%)<br/>est-on à plus de 3 ou à moins de 3 ?</p>   |
| <b>étape 3</b> | <p>3.1 plus de 7 ; on se situe par rapport à la note 8 (=92%)<br/>est-on à plus de 8 ou à moins de 8 ?<br/>9 ou 8                      8 ou 7</p> <p>3.2 moins de 7 ; on se situe par rapport à la note 6 (=70%)<br/>est-on à plus de 6 ou à moins de 6 ?<br/>7 ou 6                      6 ou 5</p> <p>3.3 plus de 3 ; on se situe par rapport à la note 4 (=30%)<br/>est-on à plus de 4 ou à moins de 4 ?<br/>5 ou 4                      4 ou 3</p> <p>3.4 moins de 3 ; on se situe par rapport à la note 2 (=7%)<br/>est-on à plus de 2 ou à moins de 2 ?<br/>3 ou 2                      2 ou 1</p> |



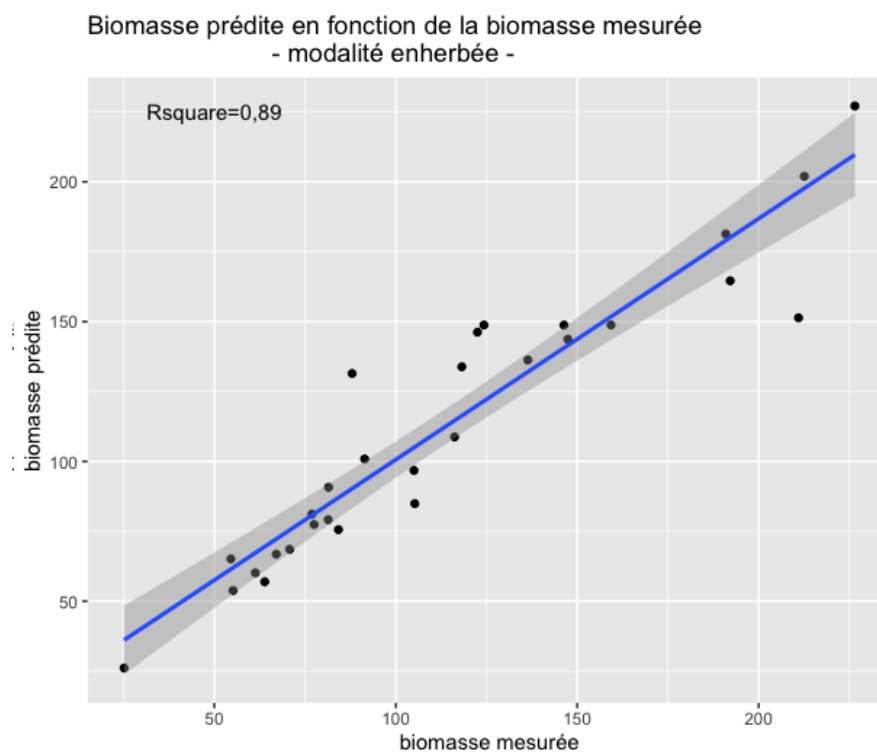
Le choix s'opère pour une alternative à chaque étape :

- ETAPE 1** par rapport à la note 50%  
est-on à plus de 50 ou à moins de 50% ?
- ETAPE 2**
- 2.1 plus de 50% ; on se situe par rapport à 85%  
est-on à plus de 85 ou à moins de 85% ?
  - 2.2 moins de 50% ; on se situe par rapport à 15%  
est-on à plus de 15 ou à moins de 15% ?
- ETAPE 3**
- 3.1 plus de 85% ; on se situe par rapport à 92%  
est-on à plus de 92 ou à moins de 92% ?  
100% ou 92%                      92% ou 85%
  - 3.2 moins de 85% ; on se situe par rapport à la note 70%  
est-on à plus de 70% ou à moins de 70% ?  
85% ou 70%                      70% ou 50%
  - 3.3 plus de 15% ; on se situe par rapport à 30%  
est-on à plus de 30 ou à moins de 30% ?  
50% ou 30%                      30% ou 15%
  - 3.4 moins de 15% ; on se situe par rapport à 7%  
est-on à plus de 7 ou à moins de 7% ?  
15% ou 7%                      7% ou 1%

**Annexe 2** : Biomasse prédite (g) selon le modèle statistique en fonction de la biomasse mesurée pour la modalité désherbée, et le coefficient de détermination associé.



**Annexe 3** : Biomasse prédite (g) selon le modèle statistique en fonction de la biomasse mesurée pour les modalités enherbées (ET et EC confondus), et le coefficient de détermination associé



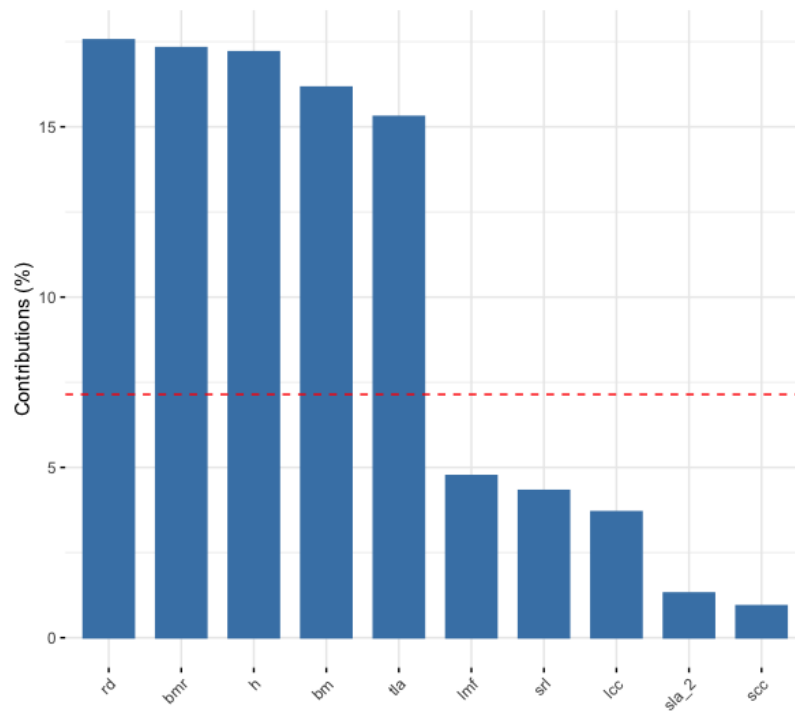
**Annexe 4** : Nombre d'individus échantillonnés par espèce

Espèce	Code Eppo	Nb individus	Modalité	
			EC	ET
<i>Amaranthus sp.</i>	AMASS	24	12	12
<i>Euphorbia heterophylla</i>	EPHHL	24	12	12
<i>Desmodium tortuosum</i>	DEDTO	24	12	12
<i>Phyllanthus amarus</i>	PYLAM	24	12	12
<i>Phyllanthus niruroides</i>	PYLNO	24	12	12
<i>Euphorbia hyssopifolia</i>	EPHHS	24	12	12
<i>Merremia aegyptia</i>	CONAE	12	12 en tout (pris entre les ET et EC)	
<i>Cleome viscosa</i>	CLEVI	24	12	12
<i>Cardiospermum microcarpum</i>	CRIMI	19	10	9
<i>Mimosa pudica</i>	MIMPU	22	11	11
<i>Cyperus rotundus</i>	CYPRO	21	9	12
<i>Commelina benghalensis</i>	COMBE	23	12	11
<i>Ipomoea triloba</i>	IPOTR	5	5 en tout (pris entre EC et ET sur 5 parcelles)	

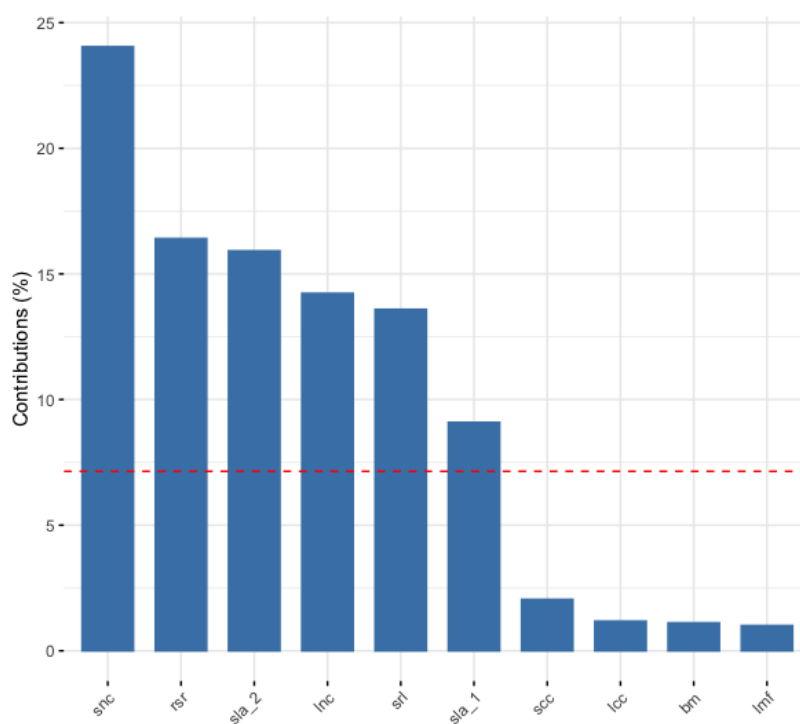
**Annexe 5** : Variabilités intraspécifiques (évaluées via le coefficient de variation CV) calculées par trait et par espèce (les valeurs en gras mettent en évidence les CV<sub>intra</sub>>CV<sub>inter</sub>)

Code EPRO	H (m)	BMa (g)	SLA (m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup> )	SLA plante entière (m <sup>2</sup> .kg <sup>-1</sup> )	TILA (cm <sup>2</sup> )	LMF (g.g)	LNC (g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C)	LCC (g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C)	SNC (g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C)	SCC (g.kg <sup>-1</sup> MS 60°C)	SRL (m.g <sup>-1</sup> )	RD (mm)	BMr (g)	RSR (g.g-1)
AMASS	28,3	81,7	31,9	27,5	67,2	17,3	9,4	1,4	28,9	3,2	61,6	28,5	21,2	60,2
CLEVI	28,9	103,1	<b>66,9</b>	26,1	62,2	<b>45,5</b>	8,1	1,4	6,1	0,9	40,4	14,1	21,1	80,8
COMBE	46,3	195,6	<b>59,6</b>	25,2	108,0	<b>56,5</b>	6,2	2,5	18,9	3,3	38,2	<b>139,8</b>	9,4	100,0
CONAE	/	54,5	28,4	10,6	68,9	<b>29,3</b>	13,1	0,7	17,4	1,8	<b>221,1</b>	33,2	34,3	58,3
CRIMI	<b>93,3</b>	193,7	25,1	28,0	144,3	<b>54,6</b>	17,4	3,8	24,5	0,8	<b>105,7</b>	68,6	46,3	124,1
CYPRO	33,2	77,3	45,0	25,9	47,4	<b>45,2</b>	13,4	3,7	/	/	79,0	<b>143,8</b>	29,4	31,7
DEDTO	31,3	104,2	34,3	20,9	51,7	22,9	8,5	1,6	18,1	0,8	86,5	41,6	27,9	70,0
EPHHL	40,8	81,6	18,7	20,9	62,4	<b>47,8</b>	8,1	0,7	23,0	1,8	95,4	46,5	20,0	62,4
EPHHS	36,2	105,0	30,9	<b>31,6</b>	61,9	17,4	11,6	1,0	10,9	1,0	81,1	36,7	28,9	68,5
IPCJR	7,8	65,1	18,5	8,3	82,0	<b>38,8</b>	2,0	1,4	4,4	0,3	<b>109,9</b>	40,3	38,8	56,0
MIMPU	54,6	106,0	20,4	20,4	78,7	10,5	10,6	2,0	17,4	1,2	53,6	29,5	16,8	64,4
PYLAM	24,0	68,3	20,3	22,9	26,0	13,4	10,0	0,4	13,8	0,5	41,1	29,7	17,1	55,0
PYLNO	40,8	86,4	24,7	29,3	31,3	20,0	13,1	0,7	20,0	1,3	70,4	24,4	18,3	72,5

**Annexe 6** : Contributions des traits à la première dimension de l'analyse en composantes principales (ACP)

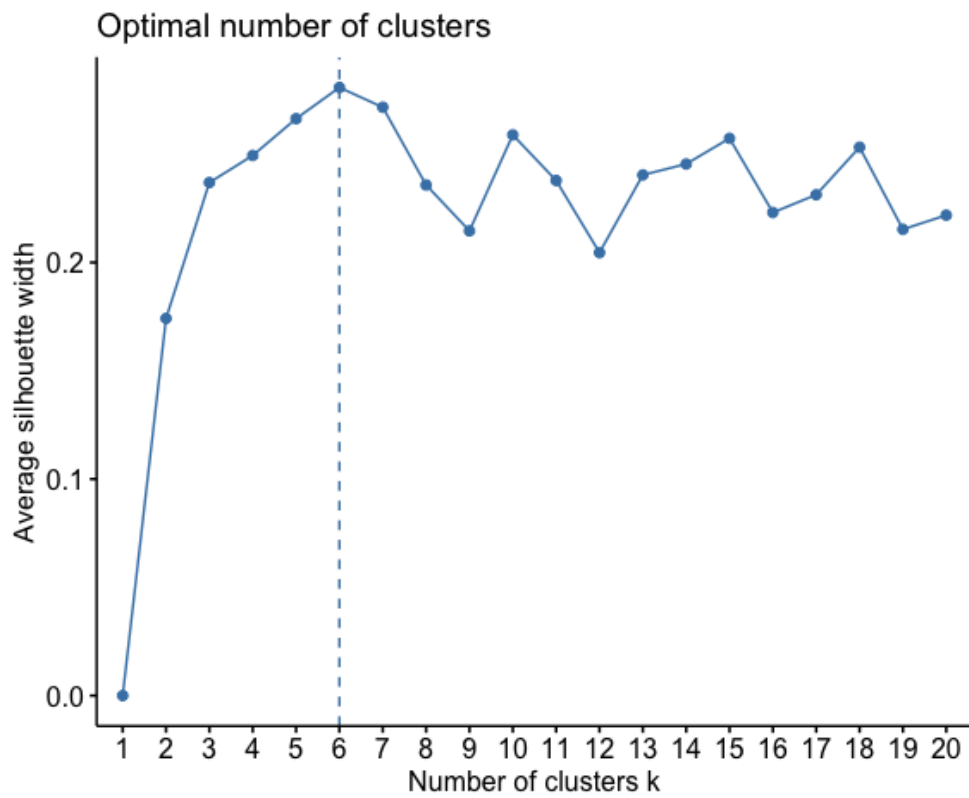


**Annexe 7** : Contributions des traits à la deuxième dimension de l'analyse en composantes principales (ACP)





**Annexe 8** : Évaluation du nombre de clusters optimal à travers la méthode « silhouette »



**Annexe 9** : Valeurs des 12 traits (A) et des SLA et SLA plante entière (B) en fonction des clusters (voir Tableau X pour les noms des traits)

