



ISTOM
Ecole Supérieure d'Agro-Développement International

32, boulevard du Port F. - 95094 - Cergy-Pontoise Cedex
Tél. : 01 30 75 62 60 Télécopie : 01 30 75 62 61 istom@istom.net



Mémoire de fin d'études

Mise en place d'une expérimentation agronomique en vue de l'amélioration des systèmes fourragers à La Réunion



Le projet ECLIPSE est cofinancé par l'union européenne (Feder InterReg V) et la Région Réunion



PIOFFRET, Tom

Stage effectué à La Réunion, France
du 15/05/17 au 27/10/17
au sein du CIRAD

Maître de stage : Grange, Guylain
Tuteur pédagogique : Costera Pastor, Adrián

Mémoire de fin d'études soutenu en décembre 2017



ISTOM
Ecole Supérieure d'Agro-Développement International

32, boulevard du Port F. - 95094 - Cergy-Pontoise Cedex
Tél. : 01 30 75 62 60 Télécopie : 01 30 75 62 61 istom@istom.net



Mémoire de fin d'études

Mise en place d'une expérimentation agronomique en vue de l'amélioration des systèmes fourragers à La Réunion

PIOFFRET, Tom

Stage effectué à La Réunion, France
du 15/05/17 au 27/10/17
au sein du CIRAD

Maître de stage : Grange, Guylain
Tuteur pédagogique : Costera Pastor, Adrián

Mémoire de fin d'études soutenu en décembre 2017

Résumé

L'élevage bovin à La Réunion est une activité économique qui a évolué rapidement au cours des dernières décennies et qui a pour objectif aujourd'hui de produire plus pour le marché local.

Cependant La Réunion doit périodiquement faire face à un manque de fourrage. La problématique de l'insuffisance d'approvisionnement revient régulièrement, elle conduit même en saison sèche à l'importation ponctuelle de fourrage en provenance d'Europe ou d'Afrique du Sud par les coopératives. Cette alternative n'est cependant pas durable. Les systèmes fourragers actuels ne permettent pas de répondre à cette problématique, les rendements et la qualité du fourrage stagnent depuis plusieurs années. Afin de travailler à cela, une expérimentation agronomique a été menée pour évaluer la pertinence de différentes associations de culture graminée-légumineuse comme système fourrager sur la zone littorale de l'île. Les résultats de cette expérimentation n'ont pas été à la hauteur des attentes et n'ont pas permis d'apporter des éléments de réponses. Cependant, ils ne remettent pas en cause l'intérêt de conduire des essais sur l'introduction de légumineuses dans les systèmes fourragers actuels.

Mots clés : association de culture, La Réunion, système fourrager, légumineuses, graminées, expérimentation agronomique

Summary

Cattle farming in the Reunion Island is an economic activity that has evolved rapidly over the last decades and whose objective today is to produce more for the local market.

However, La Reunion must periodically face a lack of fodder. The problem of insufficient supply regularly comes back, it even leads in the dry season to the occasional import of fodder from Europe or South Africa by the cooperatives. This alternative, however, is not sustainable. The current forage systems do not allow to answer this problem, the yields and the quality of the fodder stagnate for several years. In order to work on this, an agronomic experiment was conducted to evaluate the relevance of different grass-legume farming associations as a fodder system on the coastal area of the island. The results of this experiment did not live up to expectations and did not provide any answers. However, they do not question the value of conducting trials on the introduction of legumes into current forage systems.

Keywords: associated culture, Reunion Island, fodder system, legumes, grass, agronomic experimentation

Resumen

La ganadería en la Isla de la Reunión es una actividad económica que ha evolucionado rápidamente en las últimas décadas y cuyo objetivo hoy es producir más para el mercado local.

Sin embargo, Reunion debe enfrentar periódicamente la falta de forraje. El problema de la oferta insuficiente vuelve regularmente, incluso lleva en la estación seca a la importación ocasional de forrajes de Europa o Sudáfrica por las cooperativas. Esta alternativa no es sostenible. Los sistemas actuales de forraje no permiten responder a este problema, los rendimientos y la calidad del forraje se estancan durante varios años. Para trabajar en esto, se llevó a cabo un experimento agronómico para evaluar la idoneidad de diferentes asociaciones agrícolas de gramíneas y leguminosas como un sistema de forraje en la costa de la isla. Los resultados de este experimento no cumplieron con las expectativas y no permitieron traer elementos de respuestas. Sin embargo, no cuestionan el valor de llevar a cabo ensayos sobre la introducción de leguminosas en los sistemas actuales de forraje.

Palabras clave: asociación de cultivos, isla de la Reunión, sistema de forraje, leguminosas, gramíneas, experimento agronómico

Table des matières

INTRODUCTION	9
1 CONTEXTE	10
1.1 Le contexte écologique de l'île	10
1.1.1 Généralités géographiques	10
1.1.2 La contrainte des sols réunionnais	10
1.1.3 Un climat contrasté au sein du territoire	11
1.2 L'élevage bovin à La Réunion	12
1.2.1 Structuration et développement de l'élevage bovin	12
1.2.2 La ressource fourragère	14
1.2.3 Les espèces fourragères présentes sur l'île	14
1.2.4 Une productivité limitée des espèces fourragères	16
1.2.5 Des fourrages aux valeurs nutritives variables	18
1.2.6 Un usage important des concentrés	19
1.3 Problématique	19
1.3.1 Le choix de l'introduction de fabacées	20
2 PROTOCOLE EXPERIMENTAL	22
2.1 Objectif et questions soulevées	22
2.2 Essai au champ	22
2.2.1 Parcelle expérimentale	22
2.2.2 Choix des mélanges	24
2.2.3 Plan de l'essai	25
2.3 Observations et mesures	26
2.3.1 La productivité des différentes parcelles	26
2.3.2 Composition chimique et valeur nutritive des fourrages	28
2.3.3 Caractérisation du couvert végétal	29
2.3.4 Observations et mesures complémentaires	31
2.4 Itinéraire technique	31
2.5 Analyse des données	33
2.5.1 Travail préliminaire	34
2.5.2 Analyse descriptive des données	34
2.5.3 ANOVA	34
2.5.4 Tests de comparaisons multiples	35
3 RESULTATS ET DISCUSSIONS	36
3.1 Observations générales	36
3.2 Caractérisation du couvert végétal	39
3.3 Synthèse bibliographique	43

3.4 Critique méthodologique et recommandations	45
3.4.1 Le pouvoir germinatif des semences	46
3.4.2 L'hétérogénéité du sol et les conditions de réalisation du semis	47
3.4.3 La composition et le pH du sol	48
3.4.4 L'inoculation des semences de fabacées	49
3.4.5 Les conditions climatiques	49
3.4.6 Le choix des espèces	51
CONCLUSION	52
BIBLIOGRAPHIE	53
ANNEXES	57

Table des illustrations

Liste des figures

FIGURE 1 CARTE DE LA REUNION ET DE SON RELIEF (D'APRES METEO FRANCE)	10
FIGURE 2 MOYENNE DES TEMPERATURES ANNUELLES SUR L'ILE DE LA REUNION (D'APRES METEO FRANCE)	11
FIGURE 3 REPARTITION GEOGRAPHIQUE DE LA PLUVIOMETRIE ANNUELLE MOYENNE (EN MM) ENTRE 1981 ET 2010 (D'APRES METEO FRANCE)	11
FIGURE 4 PRECIPITATIONS MENSUELLE AUX STATIONS DE PONT-MATHURIN (OUEST) ET ST-BENOIT (EST) (D'APRES METEO FRANCE)	12
FIGURE 5 REPARTITION SPATIALE DES ELEVAGES BOVINS A LA REUNION (D'APRES FAGES, 2017)	13
FIGURE 6 REPARTITION DES DIFFERENTES ESPECES FOURRAGERES EN FONCTION DE L'ALTITUDE ET DE L'AXE OUEST/EST (BARBET-MASSIN ET AL., 2004)	14
FIGURE 7 LES DIFFERENTS TYPES DE COUVERT A LA REUNION (D'APRES BRL INGENIERIE, 2017)	16
FIGURE 8 SCHEMA REPRESENTATIF DE LA VARIATION INTRA-ANNUELLE DE LA PRODUCTION FOURRAGERE A LA REUNION. EXEMPLE DE LA PLAINE DES CAFRES (D'APRES BARBET-MASSIN ET AL., 2004)	17
FIGURE 9 VARIATION DE LA VALEUR ALIMENTAIRE DE FOURRAGE EN FONCTION DES ESPECES ET DE LA SAISON (D'APRES BARBET-MASSIN ET AL., 2004)	18
FIGURE 10 LOCALISATION DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE A LIGNE PARADIS (IMAGES SATELLITE GOOGLE EARTH)	23
FIGURE 11 TEMPERATURES ET PLUVIOMETRIE ANNUELLE MOYENNE A SAINT-PIERRE (D'APRES CLIMATE-DATA)	23
FIGURE 12 DISPOSITION DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE AVEC LES 4 BLOCS DE REPETITION.	25
FIGURE 13 DISPOSITION DES DIFFERENTS TRAITEMENTS DU BLOC 1.	26
FIGURE 14 SCHEMA REPRESENTANT LES MICRO-PARCELLES POUR LE PRELEVEMENT DE L'HERBE.	27
FIGURE 15 SCHEMA REPRESENTATIF DU DISPOSITIF DE MESURE.	30
FIGURE 16 ETAT DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE AU 29 JUIN 2017, AVANT LE SEMIS (PHOTO T.PIOFFRET)	31
FIGURE 17 TRACTEUR ET SEMOIR UTILISES LORS DU SEMIS DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE, 19/07/2017 (PHOTO T.PIOFFRET)	32
FIGURE 18 FONCTIONNEMENT DE LA BASE DE DONNEES, COLONNES 1 A 5	33
FIGURE 19 FONCTIONNEMENT DE LA BASE DE DONNEES, COLONNES 6 A 16	33
FIGURE 20 PLANT DE CHLORIS GAYANA EN PLEINE EPIAISON AU 16/10/2017(PHOTO J.APALOO)	36
FIGURE 21 PLANT DE CHLORIS GAYANA AU 16/10/2017 (PHOTO J.APALOO)	36
FIGURE 22 PLANTS DE MEDICAGO SATIVA AU 31/08/2017 SOIT 6 SEMAINES APRES LE SEMIS (PHOTO T.PIOFFRET)	37
FIGURE 23 PLANT DE MEDICAGO SATIVA AU 16/10/2017 PRESENTANT DES TACHES BLANCHATRES SUR LES FEUILLES (PHOTO J.APALOO)	37
FIGURE 24 PLANT DE DESMODIUM AU 08/09/2017 SOIT 7 SEMAINES APRES LE SEMIS (PHOTO T.PIOFFRET)	37
FIGURE 25 PLANTS DE DESMODIUM AU 16/10/2017 SOIT 12 SEMAINES APRES LE SEMIS (PHOTO J.APALOO)	37
FIGURE 26 PLANTS DE STYLOSANTHES AU 30/08/2017 SOIT 3 SEMAINES APRES LE SEMIS (PHOTO T.PIOFFRET)	38
FIGURE 27 PLANTS DE STYLOSANTHES AU 16/10/2017 SOIT 10 SEMAINES APRES LE SEMIS (PHOTO J.APALOO)	38
FIGURE 28 PLANT DE MUCUMA PRURIENS SUR LA PARCELLE EXPERIMENTALE, 16/10/2017 (PHOTO J.APALOO)	38
FIGURE 29 PLANT DE LIANE POC-POC, 16/10/2017 (PHOTO J.APALOO)	39
FIGURE 30 PLANTE ADVENTICE NON IDENTIFIEE, 16/10/2017 (PHOTO J.APALOO)	39
FIGURE 31 SURFACE DU SOL CARACTERISTIQUE DE LA PARCELLE EXPERIMENTALE (PHOTO T.PIOFFRET)	47
FIGURE 32 DESTRUCTURATION DE LA COUCHE SUPERFICIELLE DU SOL DU AU PASSAGE DU SEMOIR SUR LE SOL HUMIDE, 15/10/2017 (PHOTO J.APALOO)	47
FIGURE 33 REPARTITION DES PRECIPITATIONS SUR LA PERIODE DE SUIVI DE L'ESSAI (DONNEES METEO FRANCE)	50

Liste des tableaux

TABLEAU 1 RENDEMENTS POTENTIELS ET VALORISATION ESTIMEE EN ELEVAGE DES PRINCIPAUX COUVERTS (D'APRES BRL INGENIERIE, 2007)	17
TABLEAU 2 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES POUR LA CULTURE DE BRACHIARIA DECUMBENS, CHLORIS GAYANA ET PANICUM MAXIMUM (D'APRES FEEDIPEDIA ET TROPICALFORAGES).	24
TABLEAU 3 PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES POUR LA CULTURE DE DESMODIUM INTORTUM, MEDICAGO SATIVA ET STYLOSANTHES GRACILIS (D'APRES FEEDIPEDIA ET TROPICALFORAGES).	24
TABLEAU 4 DETERMINATION DES DENSITES DE SEMIS A PARTIR D'UN TRAVAIL BIBLIOGRAPHIQUE ET DES RESULTATS DES TESTS DE GERMINATION.	32
TABLEAU 5 RECAPITULATIF DES RESULTATS DE FREQUENCE SPECIFIQUE (EN %) ET COMPARAISON STATISTIQUE ENTRE FABACEE POUR CHAQUE POACEE.	39
TABLEAU 6 RECAPITULATIF DES RESULTATS DE FREQUENCE SPECIFIQUE (EN %) ET COMPARAISON STATISTIQUE ENTRE POACEE POUR CHACUNE DES FABACEES DONNEES.	41
TABLEAU 7 RECAPITULATIF DES RESULTATS DE CONTRIBUTION SPECIFIQUE POUR LES ADVENTICES EN FONCTION DES DIFFERENTS MELANGES.	42

Abréviations et sigles

AFP : Associations foncières pastorales

ARP : Association Réunionnaise de Pastoralisme

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

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

PAH : Plan d'Aménagement des Hauts

SAU : Surface Agricole Utile

SICA : Société d'Intérêt Collectif Agricole

IRAT : Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières

UF : Unité Fourragère

UFL : Unité Fourragère Laitière

UFV : Unité Fourragère Viande

SPIR : Spectrométrie Proche Infrarouge

Remerciements

Je remercie Emmanuel Tillard et Guylain Grange pour m'avoir permis d'effectuer ce stage ainsi que pour la confiance qui m'a été accordée.

Je remercie monsieur Costera Pastor, tuteur de l'école pour avoir su répondre à mes interrogations durant le stage et m'avoir aidé dans la rédaction de ce mémoire.

Je remercie l'ensemble des stagiaires croisés durant ces six mois et particulièrement Thomas, Lucie, Margaux, Mélissa, Elise, Hamza, Lou, Ahmed, Juliette, Julien, Pierre-Gilles, Dalya, François, Dems. Ces randonnées, ces soirées, ces repas partagés, ont rendu ce séjour à La Réunion particulièrement savoureux. Je remercie particulièrement Vivien, pour sa bienveillance.

Un grand merci à mes parents.

Introduction

L'élevage bovin à La Réunion s'est structuré et rapidement développé à partir des années 1970 avec notamment la mise en place du plan d'aménagement des Hauts de l'île. Ce plan avait pour objectif de revaloriser les Hauts qui sont des espaces hostiles à la culture au vu des contraintes topographiques et climatiques. Aujourd'hui, l'élevage bovin naisseur et laitier est une des principales activités des Hauts, les fermes d'engraissements sont situées dans les bas.

Le développement de l'élevage bovin à La Réunion a pu et peut toujours s'appuyer sur des recherches d'accompagnements menées en partie par le CIRAD et en collaboration avec la Région, les organismes professionnels et les professionnels eux-mêmes. Les travaux de recherches se sont d'abord portés sur quelques thématiques prioritaires liées à la maîtrise de la reproduction des vaches et aux systèmes fourragers dans leur ensemble. L'irrégularité de la production intra-annuelle ainsi que le déficit fourrager chronique sont apparus particulièrement problématiques à la fin des années 1980 après plusieurs années assez sèches. Les recherches se sont ensuite intéressées entre autres, aux reports de production et à l'intensification des surfaces fourragères.

Actuellement, la demande du marché local en produits laitier et carné et les objectifs des filières mises sur une augmentation du cheptel. La production et la fourniture de fourrages dans le but de subvenir aux besoins en matières sèches des ruminants de l'île sont alors un enjeu majeur. Cependant, il a été constaté sur les dernières années une stagnation des rendements et de la qualité des fourrages. En raison d'une pression foncière importante, l'augmentation de la production de fourrage ne peut pas reposer sur l'installation de nouvelles surfaces enherbées. L'intensification des surfaces en herbe et l'amélioration des systèmes fourragers actuels est une des solutions pertinentes pour lever les freins au développement de l'élevage bovin à La Réunion.

La première partie de ce mémoire étudiera le contexte de l'élevage bovin réunionnais et les productions fourragères actuelles et leurs limites. Elle conduira à la formulation de la problématique et à une réflexion sur l'identification de certains leviers qui semblent pertinents pour répondre à celle-ci.

La seconde partie du rapport serait consacrée à description du protocole expérimental qui permettra de conduire une expérimentation agronomique qui aura pour objectif d'apporter des éléments de réponses sur les leviers retenus.

Enfin, la troisième et dernière partie présentera les résultats et sera enrichie d'une discussion critique autour des résultats de l'essai ainsi que sur le protocole expérimentale suivi.

1 Contexte

1.1 Le contexte écologique de l'île

1.1.1 Généralités géographiques

La Réunion est une île française située au Sud-Ouest de l'océan indien, à 800km à l'Est de Madagascar et s'étend sur environ 2500 km². Située sur la plaque africaine et sur un point chaud, elle est d'origine volcanique. Elle est dominée par deux volcans, le Piton des Neiges, éteint, qui culmine à 3069m d'altitude, occupe les deux tiers Nord-Ouest de l'île et entouré de trois grandes excavations que sont les cirques de Mafate, Cilaos et Salazie. Le Piton de la Fournaise, volcan effusif, toujours en activité s'élève à 2631m dans la partie Sud-Est de l'île (Figure 1).

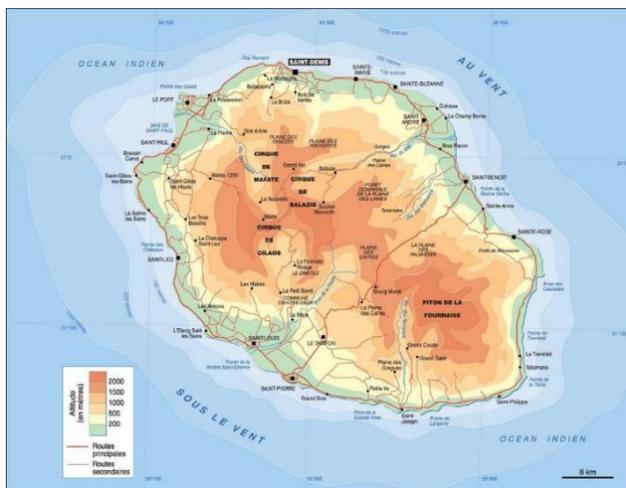


Figure 1 Carte de La Réunion et de son relief (d'après Météo France)

Les cyclones, perturbations tropicales extrêmes, s'accompagnent de précipitations abondantes. Le phénomène d'érosion lié au ruissellement des pluies en période cyclonique est alors très important sur l'île et a favorisé la formation de plus de 700 ravines. L'érosion marine est quant à elle responsable de la topographie côtière, marquée par la présence de nombreuses falaises abruptes. L'érosion et l'activité volcanique de l'île ont conféré à celle-ci un relief fortement accidenté, contraignant pour le développement des activités agricoles. En effet, 30% des terres agricoles ont une pente supérieure à 17.5%. (Fages, 2017). Ce relief contraignant est limitant pour

l'exploitation et l'installation de nouvelles prairies.

1.1.2 La contrainte des sols réunionnais

Les andosols couvrent environ 80% de l'île et sont particulièrement caractéristiques des zones au-dessus de 1200m liées à l'élevage (Mandret, 1996). Il s'agit de sols jeunes formés sur des cendres ou ponces volcaniques. Ces sols sont pauvres, acides et présentent des disponibilités faibles en azote et en phosphore assimilable (Mandret *et al.*, 2000). La mise en culture de ces sols entraîne des modifications rapides des couches superficielles qui ont tendance à accroître leur sensibilité à l'érosion. Ce phénomène réduit l'épaisseur de la couche cultivable ainsi que la fertilité des sols qui est alors contraignante. Le développement de l'élevage sur ces sols est alors pertinent, en raison de la couverture végétale que proposent les espèces fourragères (Mandret *et al.*, 2000).

1.1.3 Un climat contrasté au sein du territoire

Le climat à La Réunion est de type tropical océanique humide. Les températures sont douces et relativement stables au cours de l'année. Néanmoins, l'hiver austral de mai à octobre est légèrement plus frais que l'été austral de novembre à avril. Les températures varient de façon plus significative selon l'altitude que selon la saison et permettent de distinguer deux principales zones altitudinales, une dite tropicale, l'autre dite tempérée. Le gradient thermique vertical est d'environ - 0.6°C chaque 100 mètres (Comité de Bassin de La Réunion, 2010).

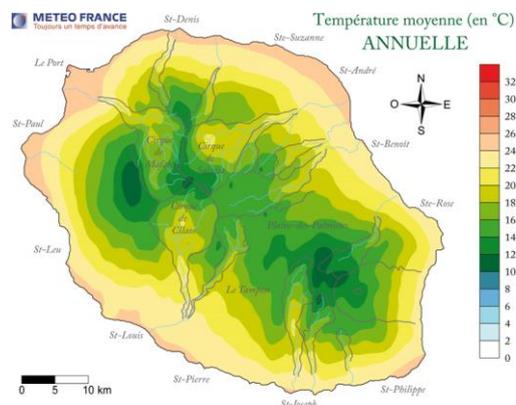


Figure 2 Moyenne des températures annuelles sur l'île de La Réunion (d'après Météo France)

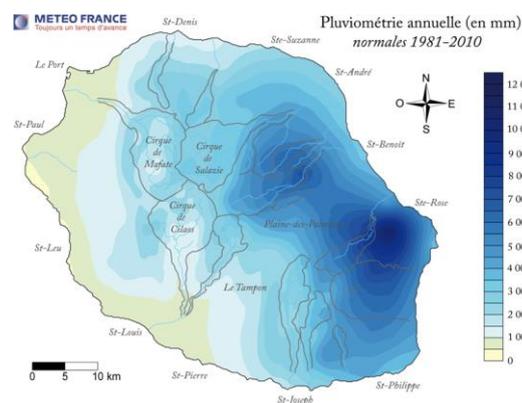


Figure 3 Répartition géographique de la pluviométrie annuelle moyenne (en mm) entre 1981 et 2010 (d'après Météo France)

Dans la zone tropicale qui correspond au littoral (jusqu'à 1000m), les températures moyennes annuelles varient entre 22°C et 26°C.

La zone tempérée concentre les élevages, elle se situe au-delà des 1000m, les températures moyennes entre 1000m et 2000m sont comprises entre 12°C et 17°C (Figure 2).

La répartition des précipitations annuelles moyennes sur l'île est très inégale entre l'Est et l'Ouest (Figure 3). C'est à l'Est que les précipitations sont les plus abondantes où la pluviométrie annuelle dépasse aisément les 4000mm et atteint même les 10000mm à l'extrême Est de l'île. En revanche, dans la partie Ouest de l'île, les précipitations annuelles moyennes varient de quelques centaines de mm d'eau à environ 2000mm. (Météo France, 2017a). C'est l'effet orographique dû aux hauts reliefs de l'île qui est en partie responsable de cette dissymétrie Est/Ouest. En effet, la partie Est de l'île est dite « au vent », elle est exposée aux alizés qui transporte l'humidité de l'océan indien à l'intérieur des terres, les hauts reliefs force alors ces masses d'air à s'élever (Météo France, 2017b). Les précipitations sont également fonction du temps. La saison des pluies, s'étend de janvier à mars, la saison sèche débute en mai et s'achève en novembre. Sur la partie Est de

l'île, bien que les saisons soient marquées, la pluviométrie reste importante toute l'année (Figure 4) (Météo France, 2017a).

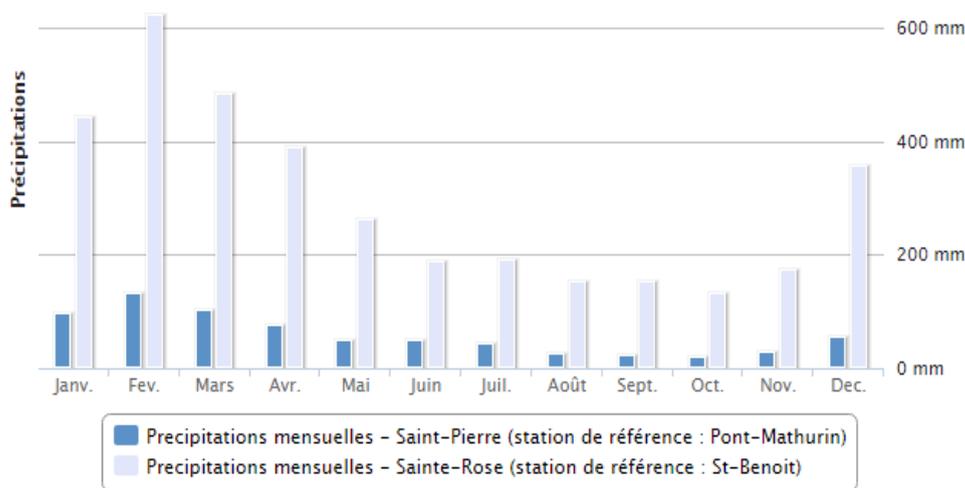


Figure 4 Précipitations mensuelle aux stations de Pont-Mathurin (Ouest) et St-Benoît (Est) (d'après Météo France)

Les bas de l'Ouest sont de fait une zone sèche, marquée par de faibles précipitations et des températures élevées. La production de foin dans cette zone est principalement irriguée et elle est sensible aux périodes de sécheresse.

L'élevage réunionnais tel qu'il s'est développé a dû composer avec un ensemble de contraintes écologiques fortes. Celle d'un relief marqué qui limite l'exploitation de nombreuses surfaces de l'île et par conséquent réduit la surface agricole disponible. Des sols acides et pauvres sujets à l'érosion due entre autres aux fortes pluies en saison cyclonique. Des zones littorales sujettes à des épisodes de sécheresse en raison de la faible pluviométrie en saison sèche.

1.2 L'élevage bovin à La Réunion

1.2.1 Structuration et développement de l'élevage bovin

La «ceinture littorale» qui s'étend entre les agglomérations de Saint-Denis au nord et Saint-Pierre au sud en passant par la côte Ouest abrite la majeure partie de l'activité économique de l'île. Cette espace qui concentre 85% de la population de l'île, rassemble 70% des entreprises industrielles, 65% des activités tertiaires, 84% des établissements financiers, etc. Les Hauts, les trois cirques de l'île et l'Est occupent par conséquent un rôle secondaire. Cette inégale répartition spatiale s'explique par les conditions climatiques et topographiques, mais aussi par l'histoire de l'île marquée par la colonisation et la départementalisation (Mandret *et al.*, 2000).

La loi de départementalisation adoptée en 1946 entraîne une série de mesures politiques visant à impulser le développement économique et social de l'île (Roinsard, 2013). Avec ces changements, l'agriculture autrefois dominante décline au profit d'une tertiarisation de l'économie locale. Les effectifs en main-d'œuvre agricole passent de 38 100 personnes à 13 000 en 1990. Le secteur tertiaire avec le développement des équipements collectifs et des services administratifs génère alors de nombreux emplois (Roinsard, 2013). Cette situation pousse une partie de la population à l'exode rural, accentuée par diverses crises dans la production de géranium située dans les Hauts de l'Ouest et du Tampon (Lefèvre, 1974).

C'est dans ce contexte et avec une volonté politique d'équilibrer l'aménagement du territoire qu'a émergé dans les années 1970 le Plan d'Aménagement des Hauts. Pour cela, le PAH s'est

appuyé sur le développement de l'élevage bovin qui répond bien aux atouts et contraintes des Hauts (Mandret *et al.*, 2000).

La production de viande bovine se structure avec le PAH dans les années 1970 afin de répondre à une demande croissante du marché. Les unités d'engraissement sont implantées dans les bas (Mandret *et al.*, 2000). A ce jour, les engraisseurs sont toujours installés dans les Bas et profitent directement de leur proximité avec la culture de canne et de foin de Chloris, sources de fourrage (Leung, 2015).

La production laitière s'est développée dans les Hauts de l'île et plus précisément dans quatre grands bassins de productions : la plaine des Cafres (66% de la production), les Hauts de Saint-Joseph (22%), les Hauts de l'Ouest (8%) et la plaine des Palmistes (6%) (Figure 5).

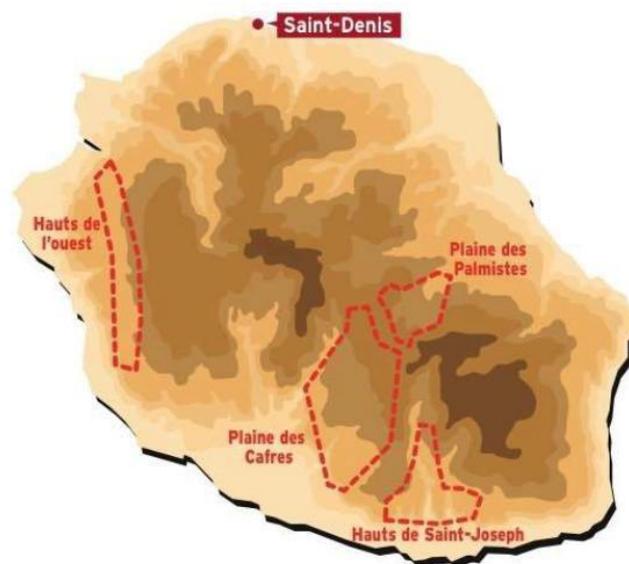


Figure 5 Répartition spatiale des élevages bovins à La Réunion (d'après Fages, 2017)

Les troupeaux naisseurs sont majoritairement installés à la plaine des Cafres et dans les Hauts de l'Ouest. Les broutards sont vendus dans les Bas de l'île aux engraisseurs (Fages, 2017).

En 2015, le cheptel bovin laitier à la Réunion est constitué d'environ 2900 vaches laitières auxquelles sont associés environ 6000 taureaux et génisses. Les objectifs pour 2025 ont été fixés à 3700 vaches laitières pour un cheptel de 7700 bêtes (BRL ingénierie, 2017).

En 2015, le cheptel bovin viande est constitué d'environ 6500 vaches allaitantes avec un cheptel associé de 18 000 bêtes. Les objectifs pour 2025 sont de 8500 vaches allaitantes pour un cheptel d'environ 24 000 individus (BRL ingénierie, 2017).

Ces objectifs de croissance concernent les élevages qui sont en filières (SICALAIT pour les bovins laitiers et SICAREVIA pour les bovins viande). Le hors filière est constitué actuellement d'environ 5600 animaux et n'a pas d'objectifs de croissance (BRL ingénierie, 2017).

1.2.2 La ressource fourragère

Depuis les années 1970, divers organismes dont l'Union des AFP ont joué un rôle majeur dans la création et la gestion des prairies (Barbet-Massin *et al.*, 2004). L'amélioration foncière a permis d'accompagner le développement de l'élevage en augmentant la surface destinée à la production fourragère. En effet, la surface fourragère principale a été augmentée de 10% depuis 1989, en 2009, la production fourragère est répartie sur 10 900ha, entre cultures fourragères, prairies permanentes et landes et parcours (Girault, 2003; BRL ingénierie, 2017).

Avec 43 000ha de SAU sur l'île, dominé par la canne à sucre qui en occupe 57%, la production fourragère est répartie actuellement sur environ un quart de cette surface (AGRESTE, 2015).

Géographiquement, ces zones sont réparties principalement entre le Sud (environ 6000 ha) et l'Ouest (environ 4000 ha). Les prairies permanentes et les landes et parcours sont concentrés dans les Hauts. En revanche, les cultures fourragères à savoir prairies temporaires, canne fourragère et majoritairement Chloris sont plus dispersées sur le territoire (Girault, 2003).

L'ensemble des plantes fourragères n'est pas endémique de l'île. Les graminées tempérées ont été introduites dans les années 1960-1970 par l'Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières (IRAT), institut fondateur du CIRAD. Les graminées tropicales proviennent principalement d'Afrique. C'est le cas du kikuyu, originaire des pentes du Mont Kenya qui présentent un climat et un sol se rapprochant des conditions des versants de l'île de La Réunion (Mandret *et al.*, 2000).

1.2.3 Les espèces fourragères présentes sur l'île

On retrouve dans les espèces composant la surface fourragère principale des espèces tropicales et des tempérés. La composition de ces zones enherbées dépend du climat et donc de l'altitude ainsi que de son orientation (côte sous le vent ou au vent). A basse altitude et jusqu'à 600m, on retrouve les espèces tropicales telles que le *Chloris* en grande majorité, la canne fourragère, le Sétaria et le *Brachiaria*. Entre 600m et 1200, les espèces tropicales et tempérées se mélangent, *Chloris*, Kikuyu, cannes fourragères, Ray-grass, Dactyle, Brome et Avoine. Au-delà de 1200m, seules les espèces tempérées persistent, Ray-grass, Dactyle, Brome, Avoine, Fétuque, Triticale (Figure 6).

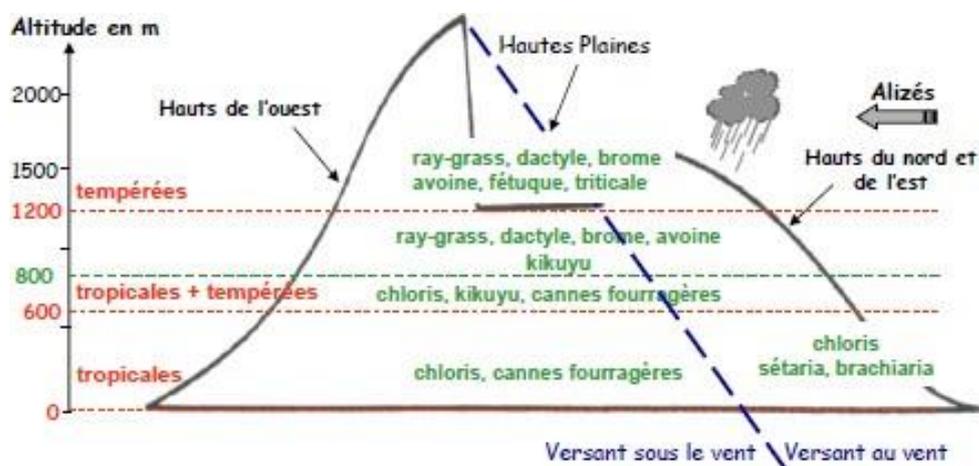


Figure 6 Répartition des différentes espèces fourragères en fonction de l'altitude et de l'axe Ouest/Est (Barbet-Massin *et al.*, 2004)

Le Brome cathartique (*Bromus catharticus*) est une graminée tempérée poussant en grosses touffes. Il est résistant à la chaleur et aux périodes de sécheresse. Le Brome est cultivé en culture pure et généralement fauché ou alors pâturé quand il est cultivé en association avec d'autres graminées (Barbet-Massin *et al.*, 2004; Peeters, 2017a).

La Fétuque élevée (*Festuca arundinacea*) est une graminée tempérée pérenne poussant en grosses touffes. Elle est cultivée principalement à la plaine des Palmistes où sa rusticité permet de résister aux conditions difficiles de la zone (inondation, sécheresse, froid, chaleur). Elle est fauchée et ensilée en raison de son aptitude à la dessiccation. Elle possède une bonne résistance au piétinement et est donc également pâturé (Barbet-Massin *et al.*, 2004).

Le Ray-grass d'Italie ou hybride (ray-grass d'Italie x ray-grass Anglais) est une graminée pérenne tempérée très vigoureuse. Il tolère les sols acides. Le ray-grass est utilisé seul ou en association avec d'autres graminées (dactyle, kikuyu) ou plus rarement avec une légumineuse (trèfle, lotier). Le ray-grass hybride peut aussi bien être fauché que pâturé alors que le ray-grass d'Italie est plutôt fauché (Barbet-Massin *et al.*, 2004; Peeters, 2017b).

Le Dactyle (*Dactylis glomerata*) est une graminée vivace pérenne tempérée de grande taille formant de grosses touffes. Il résiste bien aux fortes chaleurs ainsi qu'à la sécheresse grâce à son système racinaire développé. Il peut se développer sur les sols à forte pente et tolère les sols acides. Le dactyle est utilisé seul ou en association avec d'autres graminées (ray-grass, kikuyu) ou plus rarement avec une légumineuse (trèfle, lotier), il peut aussi bien être fauché que pâturé (Barbet-Massin *et al.*, 2004; Peeters, 2017c).

Le Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) est une graminée pérenne (plus de 20ans) tropicale vigoureuse. Il a une bonne capacité à maîtriser les adventices de par le tapis dense qu'il crée en s'implantant et d'autre part son allélopathie négative sur certaines adventices majeures. Sa bonne capacité de recouvrement du sol est à l'origine de son caractère antiérosif. Le kikuyu résiste très bien au piétinement et au sur-pâturage, il est cependant parfois fauché (Barbet-Massin *et al.*, 2004; Husson *et al.*, 2012; BRL ingénierie, 2017).

Le Sétaria (*Setaria anceps*) est une graminée fourragère tropicale pérenne. Il est généralement pâturé mais peut être récolté pour de l'affouragement en vert du côté de Saint-Joseph (Barbet-Massin *et al.*, 2004).

Le Chloris (*Chloris gayana*) est une graminée tropicale pérenne formant des touffes, elle résiste bien à la sécheresse. Le développement de stolons ainsi que la production abondante de graines permet au Chloris de couvrir rapidement le sol et d'assurer sa pérennité. Il est cultivé principalement pour la production de foin mais et est également utilisé pour la constitution de stocks de fourrages sous forme d'ensilage en balles rondes enrubannées (Barbet-Massin *et al.*, 2004; Peeters, 2017d).

Les cannes fourragères (*Pennisetum purpureum* principalement) sont des graminées tropicales pérennes et vigoureuses. Elles ont en communs quelques similitudes avec la canne à sucre, forte production, taille élevée et touffe dressée. Le système racinaire profond permet de bien résister à la sécheresse. Elles sont utilisées pour l'affouragement en vert mais peuvent également être ensilées (Mandret *et al.*, 2000; Tropical forages, 2017a).

Si l'on regarde la superficie couverte par les différentes espèces fourragères, on observe que la surface fourragère principale présente peu de diversité (Figure 7).

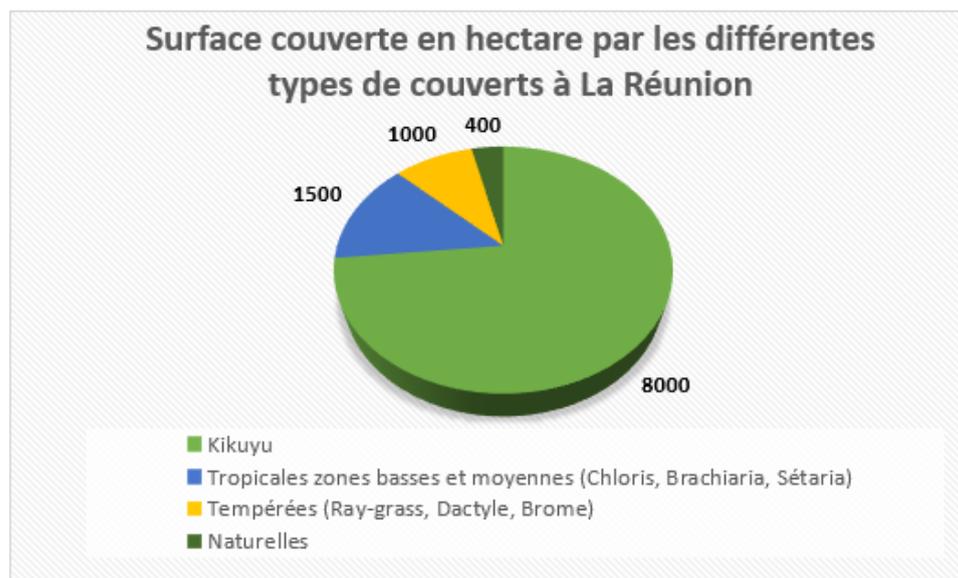


Figure 7 Les différents types de couvert à La Réunion (d'après BRL ingénierie, 2017)

En effet, presque 80% de la surface totale est constituée de kikuyu. De plus, mise à part la présence de quelques trèfles (trèfle blanc notamment) et lotiers sur les plaines, les surfaces fourragères sont exclusivement composées de graminées.

Les prairies naturelles à La Réunion sont composées de deux graminées tempérées, la Flouve odorante et la Houlque laineuse. La dynamique est à la diminution de leurs surfaces, elles ont tendance à être remplacées par des espèces fourragères qui produisent plus et avec de meilleures valeurs alimentaires (BRL ingénierie, 2017).

1.2.4 Une productivité limitée des espèces fourragères

La croissance des espèces fourragères à La Réunion est fortement influencée par l'alternance des saisons, la production est alors inégalement répartie sur l'année (Blanfort *et al.*, 2014). Les conditions climatiques en saison chaude, forte pluviométrie et températures élevées favorisent les espèces C4¹, dites tropicales, qui présentent de meilleurs rendements et potentiels que les espèces tempérées (Grimaud *et al.*, 2002). En effet, les graminées tropicales possèdent une meilleure adaptation aux fortes températures.

La production moyenne des surfaces fourragères reste cependant en deçà de son potentiel de production, que ce soit pour les graminées tempérées ou tropicales et pour une utilisation en pâture ou en fauche (Tableau 1).

¹ Ce métabolisme, considéré comme une adaptation à la sécheresse, permet une photosynthèse optimale.

Couvert	Potentiel			Valorisation estimée en élevage	
	Exploitation	Nb de cycle	tMS/ha/an	Nb de cycle	tMS/ha/an
Tropicales (bas)	Pâture	7 à 9	25	4 à 10	-
	Fauche	6 à 9		5 à 7	20
Kikuyu (intermédiaire)	Pâture	7 à 9	20	4 à 9	8
	Fauche	6 à 7		1 à 5	12
Tempérées (hauts)	Pâture	7 à 10	18	4 à 10	8
	Fauche	6 à 7		1 à 5	12

Tableau 1 Rendements potentiels et valorisation estimée en élevage des principaux couverts (d'après BRL Ingénierie, 2007)

En saison chaude, la production surpasse les besoins, en revanche en saison fraîche, la production ne permet pas de répondre à ces derniers (Figure 8).

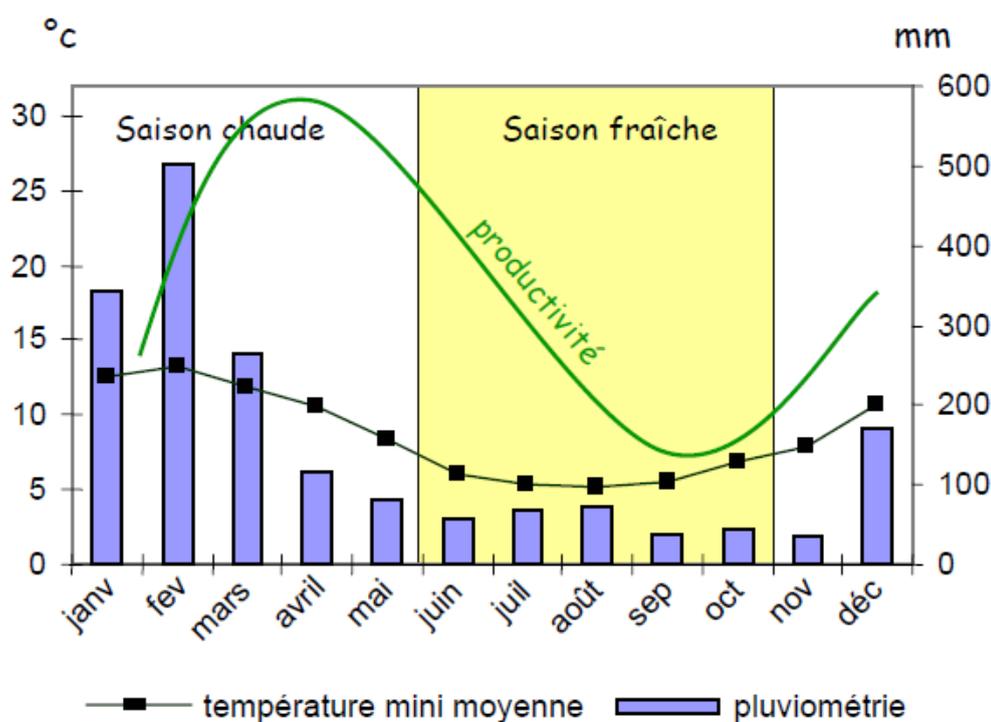


Figure 8 Schéma représentatif de la variation intra-annuelle de la production fourragère à La Réunion. Exemple de la plaine des Cafres (D'après Barbet-Massin et al., 2004)

A l'heure actuelle, pour apporter une alimentation suffisante à leurs bêtes, les éleveurs sont amenés à constituer des stocks, sous forme de foin ou d'ensilage, ou à s'approvisionner hors de leur exploitation pour palier au déficit fourragier hivernal (Blanfort et al., 2014).

La fenaison n'est pas envisageable dans les Hauts de l'île à cause des conditions climatiques difficiles lors de la saison excédentaire en herbe, ce qui a pour conséquence de limiter le fanage (Mandret et al., 2000). La production de foin est néanmoins pratiquée dans les bas sur le Chloris (Grimaud et al., 2002).

La réussite d'un ensilage est conditionnée par une acidification rapide du fourrage et un pH stable en fin de fermentation. A La Réunion, l'ensilage est rendu compliqué par des teneurs en glucides solubles faibles et variables, particulièrement pour les graminées tropicales.

Des teneurs en glucides solubles élevées favorisent une fermentation rapide et donc une meilleure conservation du fourrage. L'apport de glucides solubles sous forme de mélasse peut faciliter la fermentation, améliorant ainsi la qualité de l'ensilage mais le rendant plus technique et plus coûteux (Mandret *et al.*, 2000).

La constitution de stock, l'utilisation des sous-produits agro-industriels de la canne à sucre (paille de canne, bagasse, mélasse) et l'achat d'aliments concentrés permettent de pallier de justesse le déficit fourrager chronique en saison fraîche (Choisis *et al.*, 2009). L'offre et les besoins sont alors globalement à l'équilibre sur l'année (BRL ingénierie, 2017).

Cependant, La Réunion doit tout de même, périodiquement, faire face à des déficits en termes de ressource fourragère (BRL ingénierie, 2017). Des périodes de sécheresse comme ce fut le cas ces dernières années mettent à mal la production et empêchent les éleveurs de constituer des stocks pour la saison fraîche. L'importation de fourrage est dans ce cas une nécessité (Cailleaux, 2012).

1.2.5 Des fourrages aux valeurs nutritives variables

Les graminées tempérées à La Réunion présentent des valeurs nutritives élevées qui sont semblables à celles observées dans leurs régions d'origine. Les valeurs nutritives des graminées tropicales sont inférieures à celles des tempérées, mais semblables aux valeurs observées en régions tropicales. Il existe également une variation intra-annuelle de la qualité nutritive des fourrages. Cette dernière pour les graminées tempérées et le kikuyu est plus élevée en saison froide qu'en saison chaude. Cela s'explique probablement par une augmentation de la matière azotée totale et un rapport feuille/tige supérieurs en saison froide. En revanche, les valeurs nutritives des graminées tropicales à l'exception du kikuyu sont plus faibles en saison fraîche (Figure 9). Cependant, la croissance rapide des graminées tropicales en saison chaude entraîne une lignification rapide qui diminue la digestibilité et donc la valeur alimentaire du fourrage à terme (Grimaud *et al.*, 2002).

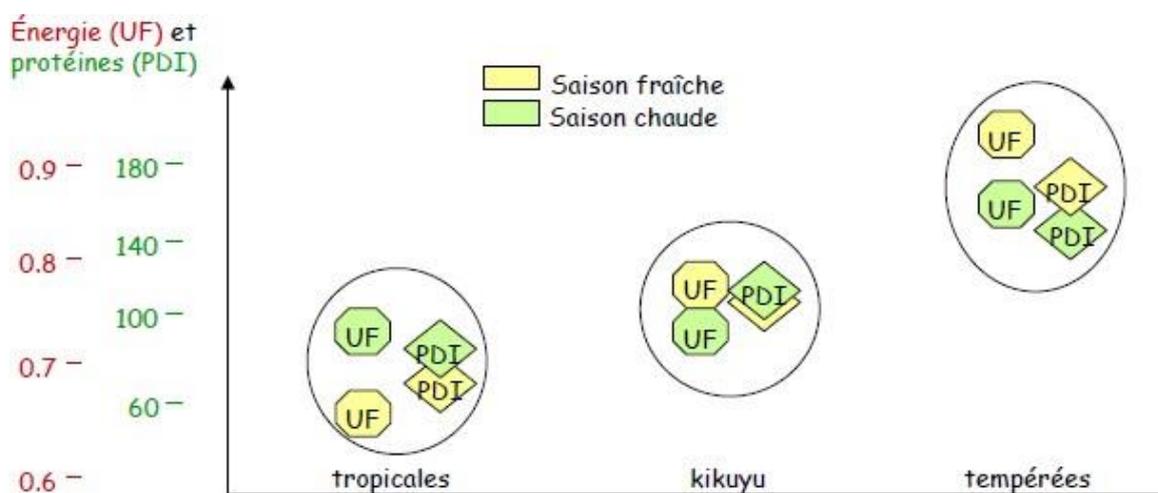


Figure 9 Variation de la valeur alimentaire de fourrage en fonction des espèces et de la saison (d'après Barbet-Massin *et al.*, 2004)

1.2.6 Un usage important des concentrés

Comme évoqué ci-dessus, l'usage des compléments à base de concentrés est répandu à La Réunion. Il est d'usage constant en élevage laitier ou en élevage allaitant afin de compenser une faible pousse de l'herbe, d'apporter de la matière sèche dans la ration, d'assurer la croissance des jeunes vaches, etc (Choisis *et al.*, 2009). Dans le régime alimentaire, la part de compléments à base de concentrés peut être très importante, notamment dans les élevages laitiers à forte production où il n'est pas rare de servir des rations où le fourrage représente moins de la moitié de la matière sèche (Grimaud *et al.*, 2002). L'augmentation de la proportion de concentrés dans la ration augmente les risques sanitaires. En effet, acidose et entérotoxémie par exemple, sont des pathologies à rapprocher de l'usage massif d'aliments concentrés (Brunschwig *et al.*, 2009). L'usage des concentrés s'accompagne également d'une dépendance vis-à-vis du marché extérieur. Les concentrés sont fabriqués à partir de matières premières importées et donc sujets à la volatilité du prix de ces dernières (Brunschwig *et al.*, 2009). L'amélioration de la qualité des fourrages, du rendement des systèmes fourragers devraient permettre de limiter l'usage d'aliments concentrés.

1.3 Problématique

En résumé, le développement de l'élevage à La Réunion doit faire face à plusieurs contraintes, climatiques et pédologiques, mais également géographique. La disponibilité des terres est restreinte par une pression foncière forte.

A côté de cela, La Réunion doit périodiquement faire face à des déficits en ressource fourragère (BRL ingénierie, 2017).

En raison d'une saisonnalité marquée, la production intra-annuelle est irrégulière. La production fourragère excède les besoins en saison humide alors qu'elle reste en deçà en saison sèche (Barbet-Massin *et al.*, 2004). Durant la saison sèche, la disponibilité en fourrage est restreinte, le stockage de la surproduction estivale pour la période hivernale n'est pas toujours suffisant ou réalisable. Les espèces fourragères de l'île sont difficiles à ensiler notamment à cause de leur teneur en glucides soluble qui est très variable et faible (Mandret *et al.*, 2000). De plus, cette pratique requiert des moyens, humains et matériels ainsi que de l'espace de stockage, qui ne sont pas toujours disponibles.

En période de sécheresse, l'importation de fourrage en provenance d'Europe devient une nécessité.

La qualité des fourrages réunionnais est très variable et s'explique en partie par la composition botanique des prairies. Les graminées tempérées ont une valeur alimentaire supérieure aux graminées tropicales. La saisonnalité impacte également la valeur alimentaire du fourrage, la croissance rapide de l'herbe en saison humide s'accompagne naturellement d'une lignification accrue et donc d'une baisse de la digestibilité (Barbet-Massin *et al.*, 2004). Le recours à l'achat d'aliments concentrés permet de compenser ces faibles valeurs alimentaires, cependant, il s'accompagne d'une augmentation des risques sanitaires et d'une dépendance vis-à-vis du marché extérieur.

Comment intensifier durablement les systèmes fourragers réunionnais afin de répondre aux objectifs de croissance du cheptel ?

Pour travailler sur cela, incorporer plus de diversité d'espèces dans les systèmes fourragers est la piste envisagée. En effet, les prairies multi-spécifiques ont tendance à présenter une meilleure qualité alimentaire et régularité intra-annuelle de la production ainsi qu'une amélioration de la résilience du système face aux aléas climatiques (Gastal *et al.*, 2012).

Pour aller dans ce sens, l'association de fabacées à pousse hivernale avec certaines poacées utilisées dans les systèmes actuels semble alors tout à fait pertinente.

1.3.1 Le choix de l'introduction de fabacées

La famille des fabacées, plus communément appelée légumineuses regroupe plus de 12 000 espèces formant plus de 650 genres. On y retrouve des plantes herbacées, des arbustes, des arbres ou encore des lianes, répartis dans le monde entier. Plusieurs sous-familles ont été définies, les *Faboideae*, les *Caesalpinioideae*, les *Mimosoideae* (Belesi Katula, 2009).

Les fabacées ont la capacité d'établir des symbioses avec des bactéries fixatrices d'azote atmosphérique du genre *Rhizobium* qui vivent dans le sol. La symbiose induit la formation de nodules racinaires qui permettent un apport d'azote assimilable pour la plante. (Madrid, 2015; Le Chatelier *et al.*, 2016). Cette aptitude permet aux légumineuses d'être moins dépendantes de l'azote assimilable présent dans le sol, à partir du moment où les conditions pour la symbiose sont réunies. Les quantités d'azote fixées sont fonction de l'espèce ainsi que des conditions pédo-climatiques. La luzerne ou encore le trèfle violet peuvent fixer entre 200 et 350kg d'azote par an et par hectare (Knoden, 2017).

L'introduction de légumineuses dans les prairies réunionnaises, composées presque entièrement de graminées et peu diversifiées, peut permettre de réduire les exportations d'azote du sol. En effet, les mélanges graminées-légumineuses ont l'avantage d'être complémentaire face à l'azote, les légumineuses assimilent l'azote atmosphérique qu'elles fixent et les graminées l'azote minéral du sol. On peut également parler de facilitation, puisque par la décomposition de la litière et des organes souterrains des légumineuses, mais également par l'exsudation de composés azotés, les graminées ont à disposition sur le moyen/long terme de l'azote assimilable supplémentaire (Julier, 2010; Louarn *et al.*, 2010).

Cela peut donc se traduire par une diminution des apports d'engrais azoté voir une autonomie en nutrition azotée des prairies (ADEME, 2015). Cela présente un avantage d'un point de vue environnemental par la réduction des besoins en énergie liée à la production et au transport des engrais azotés.

De plus, la réduction de la fertilisation minérale azotée permet également de réduire les émissions d'ammoniac et d'oxyde d'azote, améliorant ainsi la qualité de l'air (ADEME, 2015).

Concernant l'azote, un autre avantage à l'introduction de légumineuses dans les prairies de graminées est l'augmentation de la teneur en protéine des fourrages. L'association de

graminées avec une ou plusieurs légumineuses permet de profiter de la forte teneur en azote des légumineuses et des bonnes valeurs énergétiques des graminées (Louarn *et al.*, 2010).

Les prairies en association graminées et légumineuses ont également l'avantage d'avoir une meilleure répartition intra-annuelle de leur production fourragère en raison des pics de production qui diffèrent (Louarn *et al.*, 2010). A La Réunion, la production est plus faible durant l'hiver austral et engendre des situations de déficits fourragers, l'incorporation de légumineuses à pousse hivernale peut alors être pertinent pour avoir une production plus régulière.

Dans la gestion des adventices, le pouvoir compétitif des légumineuses associées avec des graminées permet un recouvrement important du sol limitant ainsi le développement des adventices (Schneider *et al.*, 2015).

2 Protocole expérimental

2.1 Objectif et questions soulevées

L'objectif de cette expérience est d'évaluer l'intérêt de différentes cultures associées poacée-fabacée dans les conditions locales (climat tropical et basse altitude dans ce cas-là).

Les résultats obtenus permettront d'identifier les associations les plus pertinentes selon des critères de quantité et de qualité de la production.

Pour cela, l'expérimentation doit nous permettre de répondre aux questions suivantes :

- Le rendement en matière sèche des mélanges est-il meilleur que le rendement de la graminée en culture pure ? Quelle légumineuse montre le meilleur rendement en association ?

- comment évolue au cours du cycle de culture le rendement des associations et des cultures pures ?

- La valeur alimentaire des mélanges est-elle supérieure que celle de la graminée en culture pure ? Quel traitement présente la valeur alimentaire la plus élevée ?

- Comment évolue au cours du cycle de culture la qualité alimentaire des associations et des cultures pures ?

- Quels essais présentent les taux d'enherbement les plus élevés ? Comment se développent les adventices dans chacun des essais ?

- Comment évoluent dans le temps le taux d'enherbement et la part d'adventices dans les associations et dans les cultures pures ?

2.2 Essai au champ

2.2.1 Parcelle expérimentale

Le terrain est situé à proximité de la station CIRAD de Ligne Paradis au nord de Saint Pierre (Figure 10). La parcelle fait 52x52 mètres et présente un léger dénivelé (-6% de pente en moyenne sur les diagonales Nord/Sud et Est/Ouest). Elle se situe à une altitude moyenne de 170m.



Figure 10 Localisation de la parcelle expérimentale à Ligne Paradis (Images satellite Google Earth)

Le climat de la zone est de type tropical, la saisonnalité est marquée par une période hivernale plus sèche de mai à novembre. La pluviométrie annuelle moyenne est d'environ 1176 mm, les précipitations varient de 165mm en moyenne entre le mois le plus sec et le moins le plus humide. Les températures mensuelles moyennes varient légèrement sur l'année, l'écart le plus important est entre Janvier ($25,9^{\circ}\text{C}$) et Août ($19,7^{\circ}\text{C}$) (Figure 11).

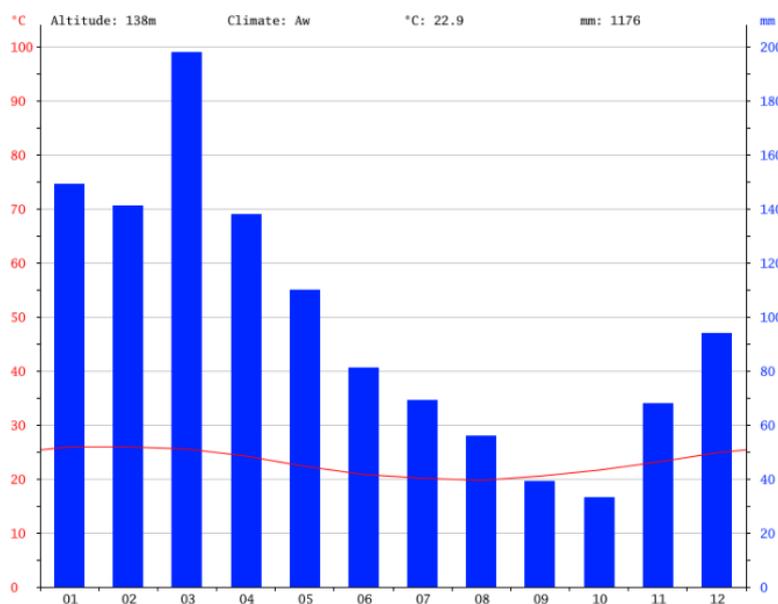


Figure 11 Températures et pluviométrie annuelle moyenne à Saint-Pierre (d'après Climate-Data)

Le terrain est le résultat d'une amélioration foncière il y a huit années de cela, des blocs de roches de centaines de kilos ont alors été retirés et de la terre a été apportée. Malgré ce travail, le terrain reste très caillouteux.

L'antécédent cultural des trois dernières années est une association *Brachiaria decumbens* et *Mucuna pruriens* conduite telle une jachère. La biomasse aérienne a été coupée qu'une fois par an et laissée sur la parcelle, réensemencant ainsi le sol en *Brachiaria* et *Mucuna*.

2.2.2 Choix des mélanges

Le choix des espèces pour l'expérimentation est en partie le fruit d'un travail bibliographique qui s'est intéressé à différentes espèces pour retenir trois poacées et trois fabacées (Annexe 1 & Annexe 2).

Les espèces de poacées retenues sont les suivantes : *Brachiaria decumbens*, *Chloris gayana* et *Panicum maximum*, ce sont des espèces tropicales qui sont déjà présentes à basse altitude à La Réunion et utilisées comme ressource fourragère. Ces poacées ont l'avantage de tolérer les sols au pH faibles (très représentés à La Réunion), de pousser dans les conditions climatiques de la zone (température et pluviométrie adaptées) et de s'implanter facilement et rapidement (Tableau 2) Tableau 2 Principales caractéristiques environnementales pour la culture de *Brachiaria decumbens*, *Chloris gayana* et *Panicum maximum* (d'après Feedipedia et Tropicalforages)..

	Brachiaria decumbens	Chloris gayana	Panicum maximum
Type de sol	Tolère de nombreux types de sols même peu fertiles pH minimum 3,5	Tolère les sols pauvres, très argileux et salins pH entre 4,5 et 10	Sol drainant, humide et fertile Tolérance aux sols au pH acide
Pluviométrie annuelle	1000 à 3000 mm	310 à 4030 mm	Supérieure à 1000 mm
Température	Optimale entre 30 et 35°C	16,5 à 26°C	Optimale entre 19 et 23°C

Tableau 2 Principales caractéristiques environnementales pour la culture de *Brachiaria decumbens*, *Chloris gayana* et *Panicum maximum* (d'après Feedipedia et Tropicalforages).

Les espèces de fabacées retenues sont *Medicago sativa* (variété Australis), *Desmodium intortum* et *Stylosanthes gracilis*.

Ces fabacées ont été retenues car elles répondent aux conditions de la zone en termes de pluviométrie et de températures (Tableau 3), de plus ce sont des espèces pérennes. Le choix d'espèces pérennes semble plus adapté pour une exploitation similaire avec ce qui se fait actuellement dans les Bas de l'île.

	Desmodium intortum	Medicago sativa	Stylosanthes gracilis
Type de sol	Tolère les sols sableux, légers à moyennement argileux pH minimum 5	Sol drainant, sableux à modérément argileux pH optimal entre 6,5 et 7,5	Sols drainants, sableux à légèrement argileux. Tolère les sols non fertiles pH compris entre 4 et 8,3
Pluviométrie annuelle	900 à plus de 3000 mm	200 à 2500 mm	700 à 5000mm
Température	Optimale entre 22 et 33°C	Optimale autour de 25°C	Optimale entre 23 et 27°C
Association(s) positive(s)	<i>Panicum maximum</i>	<i>Panicum maximum</i> et <i>Chloris gayana</i>	<i>Brachiaria spp</i> , <i>Chloris gayana</i> , <i>Panicum maximum</i>

Tableau 3 Principales caractéristiques environnementales pour la culture de *Desmodium intortum*, *Medicago sativa* et *Stylosanthes gracilis* (d'après Feedipedia et Tropicalforages).

2.2.3 Plan de l'essai

L'expérimentation n'est pas limitée dans le temps afin de suivre sur la durée l'évolution des différents paramètres mesurés.

Le dispositif retenu est un dispositif en bandes croisées, mieux connu dans la littérature anglophone comme, « Split-block design », « Strip block design » ou encore « Two way whole plot design » (Federer, 1977). Le plan d'expérience est construit avec deux facteurs qualitatifs (Poacée ou Fabacée) ayant chacun quatre modalités, avec des témoins de culture pure et un témoin de sol nu.

Modalités facteur Poacée : *Brachiaria decumbens*, *Chloris gayana*, *Panicum maximum*, Absence de poacée.

Modalités facteur Fabacée : *Desmodium intortum*, *Medicago sativa*, *Stylosanthes gracilis*, Absence de fabacée.

L'expérience est répétée quatre fois, le dispositif comporte donc quatre blocs, chaque bloc contient 16 unités expérimentales ou parcelles, neuf parcelles avec mélange Poacée/Fabacée, 3 parcelles sans Fabacée contenant chacune une espèce de Poacée différente, trois parcelles sans Poacée contenant chacune une espèce Fabacée différente et une parcelle non semée (Figure 12).

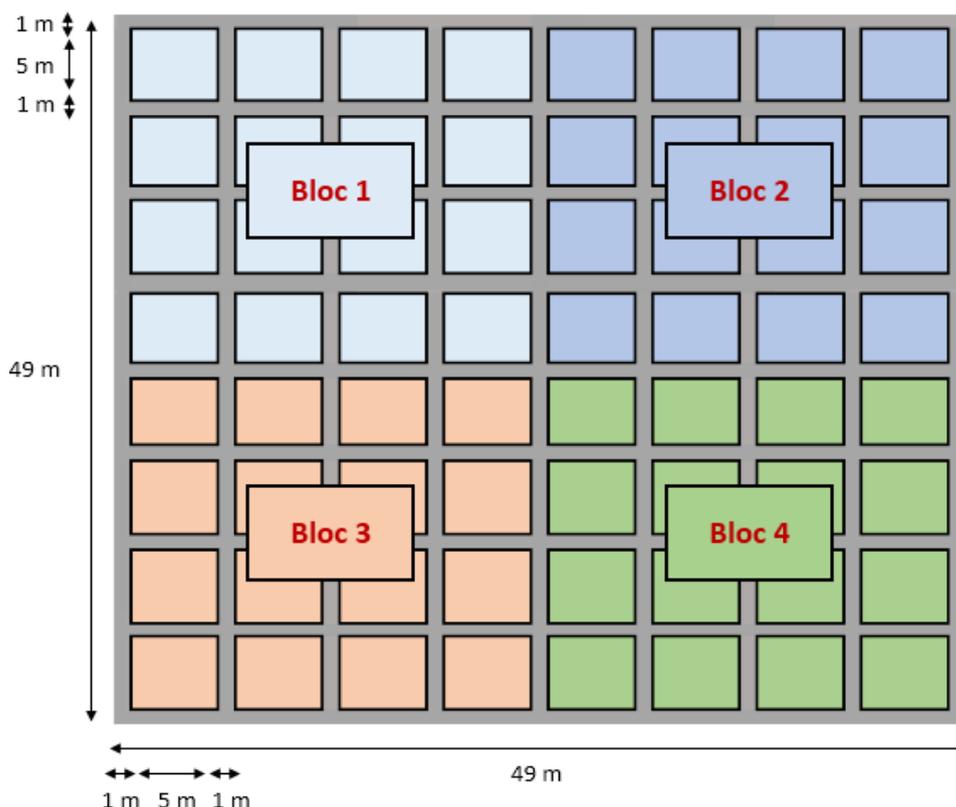


Figure 12 Disposition de la parcelle expérimentale avec les 4 blocs de répétition.

Les unités expérimentales sont des carrés de cinq mètres de côté, elles sont espacées les unes des autres et des bords par 1 mètre de zone tampon. Chaque couleur sur le schéma ci-contre correspond à un bloc. La disposition des espèces et mélanges du bloc 1 est illustrée ci-dessous

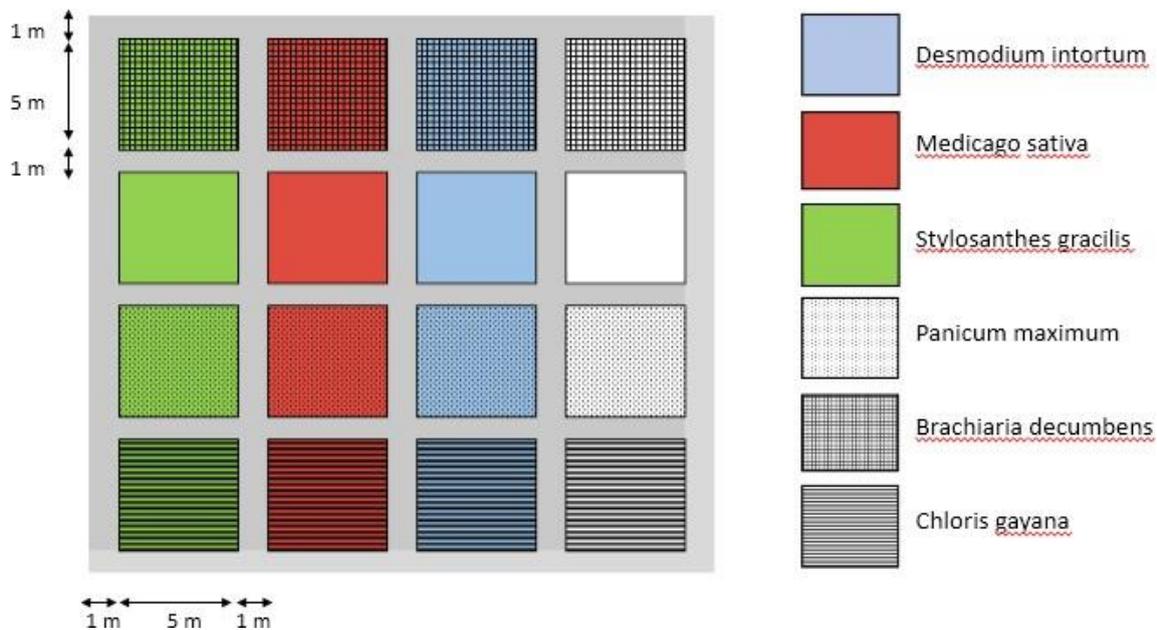


Figure 13 Disposition des différents traitements du bloc 1.

(Figure 13 Disposition des différents traitements du bloc 1. Figure 13). L'ensemble du plan d'expérience est disponible en Annexe 3.

2.3 Observations et mesures

Afin de répondre à l'objectif de cette expérience, des indicateurs ont été retenus. Le choix de ces derniers et leur mesure sont détaillés ci-dessous.

2.3.1 La productivité des différentes parcelles

Le rendement est un indicateur de productivité, c'est une mesure importante permettant de juger et comparer les différents essais entre eux. Dans le cas de systèmes fourragers, c'est la quantité de matière sèche produite qui est importante, le rendement sera ici calculé en kilogramme de matière sèche par hectare et par unité de temps ($\text{kg de MS} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$). Pour les mélanges, les espèces sont complémentaires et utilisées ensemble, le rendement est calculé sur le mélange, sans séparer les espèces (Morlon *et al.*, 2010). Cependant, afin d'avoir une idée précise de la contribution pondérale de la Fabacée et de la Poacée sur le rendement en matière sèche, la proportion de chacune des espèces pourra être déterminée.

2.3.1.1 Méthode d'échantillonnage

Le prélèvement des échantillons se fait sur chaque parcelle à l'aide d'un quadra de 0,5m de côté. Dans cet espace, les herbes sont coupées à une hauteur de 10cm au-dessus du sol à l'aide d'un sécateur.

Cette hauteur est la limite basse recommandée pour l'exploitation des prairies (Barbet-Massin *et al.*, 2004). L'emplacement de chaque prélèvement change à chaque mesure. Ces dernières

sont espacées dans le temps de 15 jours, permettant ainsi de suivre l'évolution du rendement en continu jusqu'à l'épiaison (Figure 14).

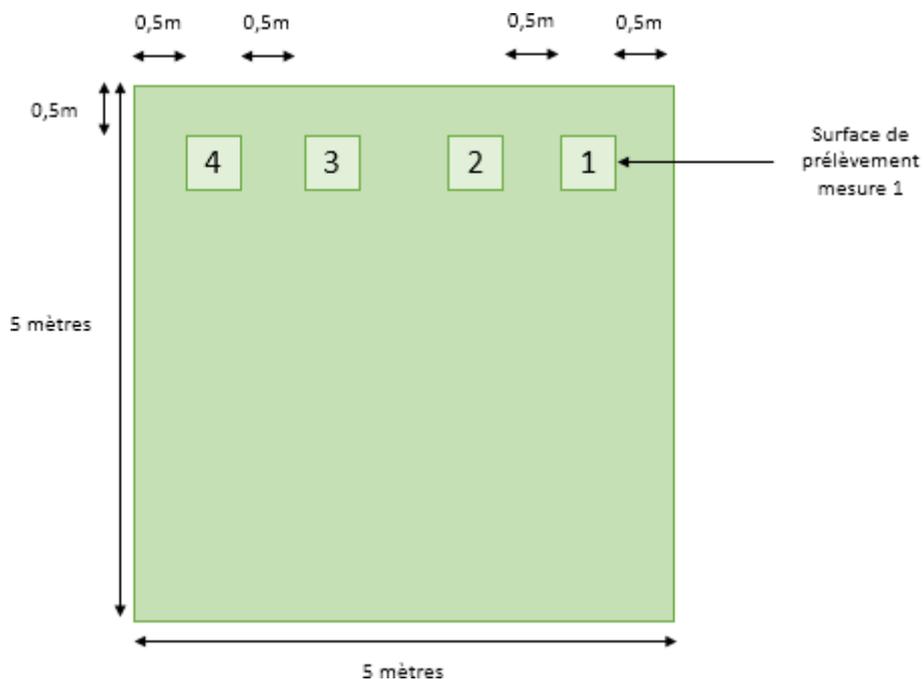


Figure 14 Schéma représentant les micro-parcelles pour le prélèvement de l'herbe.

L'herbe coupée est stockée dans un sachet, identifiée et pesée. L'échantillon est alors mis à sécher à l'étuve à 68°C pendant environ 48h, pesé régulièrement, il est considéré sec quand sa masse est constante sur plusieurs pesées.

La liste du matériel nécessaire est détaillée en Annexe 4.

2.3.1.2 Détermination du rendement

Pour la détermination du rendement, la pesée de l'échantillon frais donne une quantité de biomasse aérienne (MB en kilogramme) produite pour une surface de 0,25 m². Le calcul ci-contre permet de déterminer le rendement à l'hectare.

$$\text{Rendement en kg /hectare} = \text{MB} \times 40\ 0000$$

La pesée de l'échantillon sec donne une quantité sèche de la biomasse aérienne, produite pour une surface de 0,25m² (MS en kg). Le calcul ci-contre permet de déterminer le rendement de matière sèche par hectare.

$$\text{Rendement en kg de MS/ha}^{-1} = \text{MS} \times 40\ 0000$$

2.3.2 Composition chimique et valeur nutritive des fourrages

La détermination du rendement est une approche quantitative qui ne se suffit pas à elle-même pour évaluer la pertinence des différents essais. Une approche qualitative de la production est pertinente, mais surtout complémentaire.

La qualité fourragère des différents traitements est déterminée à l'aide de la spectrométrie proche infrarouge (SPIR). Les mesures vont permettre de récupérer des données sur le taux de matière sèche, les protéines, le taux de cellulose, la matière minérale ainsi que les UF de tous les mélanges à chaque mesure. En effet, la composition chimique et la qualité nutritive des fourrages évoluent en fonction du temps, il est alors intéressant de suivre l'évolution de ces indicateurs au cours du temps. Ces données permettront d'apporter des informations et éventuellement de conclure quant à la détermination du stade physiologique optimal à l'utilisation des mélanges évalués.

La valeur azotée d'un fourrage est renseignée par plusieurs indicateurs et notamment la matière azotée totale, les protéines digestibles dans l'intestin grêle permises par l'azote apporté par l'aliment (PDIN) et les protéines digestibles dans l'intestin grêle permises par l'énergie de l'aliment (PDIE). Les valeurs PDIN ou PDIE représentent le flux d'acides aminés qui sont absorbés dans l'intestin dû à la digestion. Ce flux provient directement de l'aliment (correspondant aux protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire ou PDIA) et de l'activité microbienne (correspondant aux protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne ou PDIM). Ces indicateurs seront exprimés en g/kg de matière sèche.

La matière azotée totale correspond à la teneur en protéines brutes de l'aliment, elle ne tient pas compte de la digestibilité ni de la nature des acides aminés qui composent les protéines. Elle est exprimée en g/kg de matière sèche.

Ces indicateurs seront directement disponibles par SPIR.

Afin d'exprimer la valeur énergétique des fourrages, le système des unités fourragères (UF) est utilisé. Une unité fourragère est équivalente à la valeur énergétique apportée par 1kg d'orge standard contenant 87% de matière sèche. Les unités fourragères lait et viande, respectivement UFL et UFV correspondent à la quantité d'énergie absorbable par le ruminant lors de la lactation (UFL) ou de l'engraissement (UFV). Les UFL et UFV seront renseignés directement par la mesure au SPIR.

La matière minérale totale des échantillons sera renseignée par une mesure de la teneur en minéraux qui est exprimée en g/kg de matière sèche.

Le taux de cellulose, relatif à la digestibilité du fourrage, sera exprimé en g/kg de matière sèche.

2.3.2.1 Méthode d'échantillonnage

Les mesures sont effectuées sur les mêmes échantillons prélevés pour la détermination du rendement. Les échantillons doivent cependant être conservés à 4°C et à l'abri de la lumière avant les mesures.

Une fois au laboratoire, l'herbe est coupée en morceaux de 10cm, répartie sur un plateau et 30 mesures réparties sur l'ensemble du tableau sont faites par SPIR.

Les échantillons secs, une fois les mesures de rendements et de contributions réalisées, sont broyés à 1 mm. Des mesures sur ces échantillons sont alors effectuées, pour cela l'échantillon est bien homogénéisé, suivant l'homogénéité de l'échantillon, 4 à 20 mesures sont faites par SPIR.

La liste du matériel nécessaire est détaillée en Annexe 5.

2.3.3 Caractérisation du couvert végétal

Afin de décrire et de quantifier le couvert végétal des parcelles expérimentales, des mesures de recouvrement total de la végétation et des mesures de contribution spécifique sur les différentes espèces seront effectuées.

Ces mesures vont tout d'abord permettre de suivre la dynamique de recouvrement du sol (capacité et vitesse) des différentes associations. Dans un second de suivre l'évolution de la part de chaque espèce des mélanges (poacées, fabacées et espèces adventices) et ainsi questionner ou non la durabilité de l'association.

Le taux recouvrement total de la végétation (RVT) permet simplement d'évaluer la couverture du sol et la qualité d'implantation des espèces. Il correspond au rapport en pourcentage entre le nombre de points de mesure où l'on a relevé la présence d'une espèce et le nombre total de points de mesure. Un faible taux de recouvrement est par exemple révélateur d'un sol peu couvert.

La fréquence spécifique centésimale (FSCi) qui est le rapport en pourcentage entre le nombre de présences et le nombre total de points de mesures permet d'évaluer le taux de recouvrement de chaque espèce ou groupe d'espèce (Daget *et al.*, 2010).

La contribution spécifique de présence (CSPi) qui est le rapport en pourcentage entre la fréquence centésimale d'une espèce et la somme des fréquences centésimales de toutes les espèces (Daget *et al.*, 2010). Elle permet d'évaluer la participation de l'espèce à la couverture de la surface du sol.

Les mélanges les plus intéressants sur ce critère seront ceux qui présentent, une contribution spécifique de fréquence faible pour les adventices avec un taux de recouvrement total de la végétation élevée.

2.3.3.1 Mesure

La méthode d'évaluation de l'enherbement repose sur la détermination des espèces présentes (celles du mélange et les adventices) à la verticale de plusieurs points situés le long de plusieurs transects. Pour chaque parcelle, trois paires de transects sont déterminées à l'aide d'un cadre à trois segments métalliques espacés de 50cm posés sur le sol. Le cadre métallique est alors déplacé perpendiculairement au sol le long des transects, on pose les segments à la surface du sol tous les 50cm pour réaliser les mesures (Figure 15). Une fois les tiges au sol, on détermine les espèces qui rentrent en contact avec chacune des tiges. Une espèce ne peut être comptée qu'une fois par point de mesure, si aucune espèce ne touche la tige, on note la présence d'un sol nu.

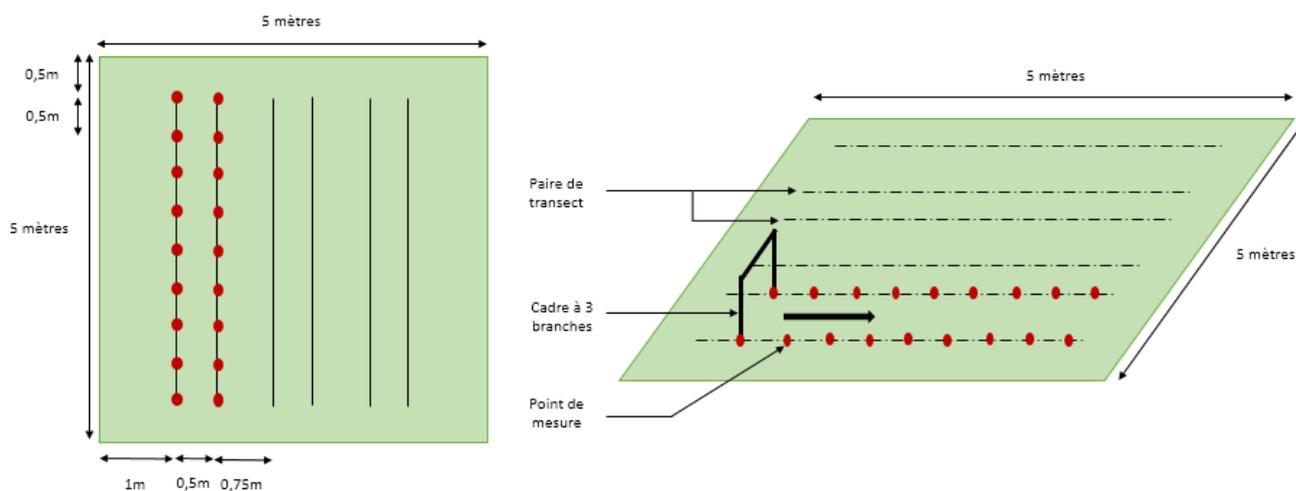


Figure 15 Schéma représentatif du dispositif de mesure.

La liste du matériel nécessaire est détaillée en Annexe 6.

2.3.3.2 Calcul des différents indicateurs

Le recouvrement total de la végétation (RVT) se détermine par la formule ci-dessous.

$$RVT = \frac{Np}{N} \times 100$$

Avec :

Np : Nombre de points de lecture avec la présence d'au moins une espèce

N : Nombre total de points de lecture

La fréquence spécifique centésimale (FSC_i) se détermine par la formule ci-dessous.

$$FSCi = \frac{Ni}{N} \times 100$$

Avec :

Ni : Nombre de points de lecture avec la présence de l'espèce i

N : Nombre total de points de lecture

La contribution spécifique de présence (CSP_i) se détermine par la formule ci-dessous.

$$CSPi = \frac{FSCi}{\sum FSCi} \times 100$$

Avec :

FSCi : fréquence spécifique centésimale de l'espèce i (FSCi)

\sum FSCi : somme des fréquences spécifiques centésimales de toutes les espèces

2.3.4 Observations et mesures complémentaires

La démarche consiste à collecter différentes informations durant toute la durée de l'expérience dans le but de contextualiser les résultats obtenus.

- Un relevé des conditions météorologiques de la zone durant la période de l'essai : Pluviométrie mensuelle et durée d'ensoleillement mensuelle. Ces données seront directement disponibles à la station météorologique tenue par le CIRAD à Ligne Paradis.
- L'identification des différents stades de végétations pour le suivi du développement des graminées et légumineuses s'appuiera sur les définitions et sur la méthodologie de l'INRA (Annexe 7).
- Les observations sur l'état de la culture seront également réalisées si nécessaire. La présence éventuelle de maladies et/ou de ravageurs ainsi que d'autres facteurs pouvant être limitants sera alors notée.

2.4 Itinéraire technique

Un faux semis a été réalisé avant le début du stage, pour cela, le sol a été labouré. Le laps de temps entre le labour et le semis (environ 2mois) et les pluies régulières du mois de juin ont permis la germination de *Mucuna pruriens* et *Brachiaria decumbens* provenant du précédent cultural (Figure 16). Un désherbage au Round-up a alors été réalisé une semaine avant le semis.



Figure 16 Etat de la parcelle expérimentale au 29 juin 2017, avant le semis (Photo T.Pioffret)

Le terrain expérimental a également nécessité un épierrage grossier qui a été réalisé manuellement sur deux jours, avant le semis.

Les densités de semis retenues proviennent soit des fiches techniques du vendeur, c'est le cas pour les semences de *B.decumbens*, *C.gayana*, *D.intortum* (Williams Group Australia PTY. LTD.), soit d'un travail bibliographique.

Les semences de *P.maximum* et *S.gracilis* ont été commandé en Australie. Celles de *B.decumbens*, *C.gayana*, *D.intortum* et *Medicago sativa* ont été récupéré à l'ARP, le temps de stockage de ces semences est inconnu.

Afin d'affiner les densités de semis, des tests de germinations ont été effectués. Les taux de germination de *D.intortum*, *M.sativa*, *B.decumbens* et *C.gayana* ont été déterminés sur cent graines après une semaine en condition humide.

	<i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Chloris gayana</i>	<i>Panicum maximum</i>	<i>Desmodium intortum</i>	<i>Medicago sativa</i>	<i>Stylosanthes gracilis</i>
Densité théorique de semis (kg/ha)	3,5	1,5	2,0	1,0	3,0	3,0
Taux de germination (%)	7,0	44,0	80,0 ¹	15,0	27,0	80,0 ²
Densité ajustée (kg/ha)	50,0	3,4	2,5	6,7	11,1	3,8

Tableau 4 Détermination des densités de semis à partir d'un travail bibliographique et des résultats des tests de germination.

^{1,2} : En raison d'un approvisionnement tardif, les tests de germination n'ont pas pu être effectués avant le semis. Les semences venant juste d'être achetées, le taux de germination a été estimé à 80%.

Les densités ci-dessus ont été déterminées pour les semis des parcelles en associations. Pour les parcelles en culture pure, la densité de semis a été doublée.

Le semis a été réalisé le 19 juillet à l'aide d'un semoir pour semis direct (Figure 17).

Le semis du *Stylosanthes* et du *Panicum* a été retardé au 10 août suite à un souci à l'approvisionnement en semences.

Le deuxième semis s'est terminé sous la pluie.



Figure 17 Tracteur et semoir utilisés lors du semis de la parcelle expérimentale, 19/07/2017 (Photo T.Pioffret)

2.5 Analyse des données

L'analyse des données est réalisée sous le logiciel R, pour cela, l'ensemble des données de l'expérience sont compilées dans une base de données Excel.

La base de données a été construite comme suit (Figure 18 & Figure 19).

La dénomination « id » permet d'identifier chaque échantillon, elle rassemble les informations relatifs à :

id	date	poacee	fabacee	block
1NO1	1	N	O	1
1NO2	1	N	O	2
1NO3	1	N	O	3
1NO4	1	N	O	4

Figure 18 Fonctionnement de la base de données, colonnes 1 à 5

- La date de la mesure (1,2,3, ... selon la campagne de mesures)

- L'espèce de poacée, N : absence de poacée ; B : *Brachiaria* ; C : *Chloris* ; P : *Panicum*

- L'espèce de fabacée, O : absence de fabacée ; D : *Desmodium* ; M : *Medicago* ; S : *Stylosanthes*

- Le numéro du bloc d'où l'échantillon provient (1, 2, 3 ou 4)

Les différentes colonnes qui suivent correspondent aux différents indicateurs mesurés ou calculés. L'utilisation de lettres minuscules et d'abréviations facilite par la suite le travail de gestion des données sous R.

mb	ms	rendement	ash	cell	mat	pdie	pdin	ufl	ufv	cspp	cspf	cspa	rvt

Figure 19 Fonctionnement de la base de données, colonnes 6 à 16

mb : la masse brute, qui correspond au le poids frais mesuré

ms : le taux de matière sèche de l'échantillon

rendement : le rendement calculé pour le mélange donné

ash : le taux de matière minérale de l'échantillon

cell : le taux de cellulose

mat : la matière azotée totale

pdie : les protéines digestibles dans l'intestin grêle permises par l'énergie de l'aliment

pdin : les protéines digestibles dans l'intestin grêle permises par l'azote de l'aliment

ufl : Le nombre d'UFL de l'échantillon

ufv : le nombre d'UFV de l'échantillon

cspp : la contribution spécifique de la poacée dans le mélange

cspf : la contribution spécifique de la fabacée dans le mélange

cspa : la contribution spécifique des adventices dans le mélange

rvt : le taux de recouvrement total du sol

Il est, avant tout traitement statistique, important de s'assurer de l'homogénéité des unités et de la cohérence des données, ceci par simple vérification visuelle et comparaison avec des données similaires.

2.5.1 Travail préliminaire

Afin de traiter les données sous R, les packages suivant ont été retenus :

- *readxl*, afin de permettre l'importation de la base de données dans R
- *RcmdR*, pour la synthèse des données (moyennes, écart-types, ...)
- *ggplot2*, pour la représentation graphique des données
- *agricolae*, pour la réalisation de certains tests statistiques

Une fois les packages chargés et la base de données importés, il est important de bien convertir certains facteurs considérés « quantitatifs » en facteurs « qualitatifs », c'est ici le cas des facteurs *date*, *poacee*, *fabacee* et *block*.

On peut également renommer les différentes modalités des facteurs « *poacee* » et « *fabacee* » qui sont abrégées dans la base de données.

Enfin, afin de faciliter l'exploitation des données, plusieurs bases de données annexes peuvent être créées. On peut par exemple choisir de travailler alors uniquement sur les mélanges contenant du *Chloris*.

Le script R relatif à l'ensemble de ce travail préliminaire est proposé en Annexe 8.

2.5.2 Analyse descriptive des données

L'utilisation des statistiques descriptives pour résumer l'information contenue dans le jeu de donnée est pertinente, elle permet également par exemple d'affiner ou de suggérer des hypothèses. Parmi les outils de statistique descriptive ici intéressants, les graphiques (boxplot, histogramme) et les indicateurs (moyenne, écart-type, etc.).

Afin de réaliser ce travail, un script R est proposé en Annexe 9.

2.5.3 ANOVA

Pour analyser les données, l'ANOVA (analysis of variance) à un ou deux facteurs est l'outil choisi.

Cependant, l'analyse de la variance doit être précédée de certains tests afin de vérifier que les conditions à l'utilisation de l'ANOVA sont remplies.

Il est nécessaire de vérifier la normalité des distributions avec le test de Shapiro-Wilk ou celui de Kolmogorov-Smirnov. L'homoscédasticité des résidus ou homogénéité des variances doit

être démontrée, le test de Levene permet cela. Enfin, il est également nécessaire de s'assurer de l'indépendance des résidus ou erreurs expérimentales, une simple cartographie des résidus permet de vérifier visuellement cela (Dagnelie, 2012).

Le script R pour effectuer ce travail se trouve en Annexe 9.

2.5.4 Tests de comparaisons multiples

Lorsque l'analyse de la variance permet de mettre en évidence des différences significatives entre les mélanges, il est possible d'aller plus loin dans l'analyse des données en se tournant vers des tests de comparaisons multiples. Ces tests vont permettre d'identifier quels sont précisément les mélanges qui se démarquent et les classer en différents groupes.

Le script R pour effectuer cette étape est disponible en Annexe 9.

Dans le cas où les prérequis nécessaires à l'utilisation de l'ANOVA ne sont pas remplis, il faut se tourner vers des tests non paramétriques. Le test de Kruskal-Wallis permet dans ce cas de traiter les données.

3 Résultats et discussions

L'ensemble des mesures prévues n'a pas pu être effectué. Cela est dû à une faible implantation et un développement trop lent ou inexistant des espèces semées. La faible implantation des espèces est caractérisée en l'occurrence par une grande hétérogénéité intra parcelle. Ces éléments n'ont pas permis d'effectuer des relevés de biomasse et donc d'obtenir des résultats liés à la productivité ou à la qualité alimentaire des espèces.

Les mesures relatives à la caractérisation du couvert végétal des parcelles n'ont été faites qu'une fois pour les mêmes raisons énoncées ci-dessus et seront présentées dans cette partie.

3.1 Observations générales

À l'œil nu, *Brachiaria decumbens* est l'espèce qui semble s'être le mieux implantée et développée. Cependant, bien que cette espèce ait été semée sur quelques parcelles, elle a été retrouvée sur l'ensemble des parcelles. La présence dans le sol d'un stock de graine de cette poacée dû au précédent cultural a permis son développement. Ce dernier est rapidement devenu incontrôlable et l'espèce s'est imposée sur l'ensemble de l'essai, impactant l'ensemble des résultats de l'expérimentation.

Il est également difficile de dire si sur les parcelles semées avec du *Brachiaria* si ce dernier provient du semis ou du précédent cultural.

Sur ces parcelles, le *Brachiaria* est homogène en termes d'implantation mais aussi de développement. Cette poacée a atteint le stade «épi à 10cm » trois mois après son semis.

Le *Chloris gayana* s'est développé et implanté faiblement et de façon hétérogène. Trois mois après le semis, la majorité des plants de *Chloris* étaient au stade « feuillu » alors que quelques rares plantes étaient déjà en pleine épiaison (Figure 20). De plus, les plants au stade « feuillu » semblent avoir été victimes de ravageurs, ces plants présentent des feuilles abimées et sectionnées (Figure 21).



Figure 20 Plant de *Chloris gayana* en pleine épiaison au 16/10/2017(Photo J.Apaloo)



Le *Panicum maximum*, semé le 10 août ne s'est pas du tout développé, aucun plant n'a été retrouvé sur l'essai.

Du côté des fabacées, *Medicago sativa* s'est développée également de façon très hétérogène au sein même des différentes parcelles. Six semaines après le semis les plantules atteignent quelques centimètres (Figure 22). Par la suite le développement de l'espèce a périclité, trois mois après le semis, la plupart des plants présentent des taches blanchâtres sur les feuilles ainsi que des feuilles jaunies (Figure 23), d'autres ont disparu. Cependant certains persistent et sont en bonne condition.



Figure 22 Plants de *Medicago sativa* au 31/08/2017 soit 6 semaines après le semis (Photo T.Pioffret)



Figure 23 Plant de *Medicago sativa* au 16/10/2017 présentant des taches blanchâtres sur les feuilles (Photo J.Apaloo)

Le *Desmodium intortum* s'est développé de façon hétérogène sur les parcelles. Cependant les plants, bien que peu nombreux sont en bonne condition. L'implantation de l'espèce prend du temps, mais le développement des plants est encourageant (Figure 24 & Figure 25).



Figure 24 Plant de *Desmodium* au 08/09/2017 soit 7 semaines après le semis (Photo T.Pioffret)



Figure 25 Plants de *Desmodium* au 16/10/2017 soit 12 semaines après le semis (Photo J.Apaloo)

Le *Stylosanthes gracilis* présente également un développement intéressant bien que l'implantation soit encore une fois hétérogène (Figure 26 & Figure 27).



Figure 26 Plants de *Stylosanthes* au 30/08/2017 soit 3 semaines après le semis (Photo T.Pioffret)



Figure 27 Plants de *Stylosanthes* au 10/10/2017 soit 10 semaines après le semis (Photo J.Apaloo)

En parallèle, le développement rapide des adventices (dont le *Brachiaria* non semé) a imposé une concurrence aux espèces semées.

Hormis *Brachiaria decumbens*, l'autre espèce originaire du précédent cultural est *Mucuna pruriens*, cette dernière a également été retrouvée sur l'ensemble de l'essai (Figure 28). Un contrôle du développement de cette fabacée par un désherbage manuel mensuel a permis de maintenir une prédominance négligeable de cette espèce. Cependant l'important stock de graine dû au précédent cultural résulte en une apparition régulière de nouveaux plants.



Figure 28 Plant de *Mucuna pruriens* sur la parcelle expérimentale, 16/10/2017 (Photo J.Apaloo)

D'autres espèces adventices, peu présentes se retrouvent sur la parcelle bien qu'en apparence elles n'entravent pas le développement des autres espèces.

La liane poc-poc ou *Cardiospermum halicacabum* L. (Figure 29), le contrôle de son développement est compliqué en raison de son port étalé, très ramifié et rampant mais également de sa croissance rapide.

Une autre espèce, non identifiée est présente, cette dernière reste peu présente sur la parcelle et son développement est facilement maîtrisable par un désherbage manuel régulier (Figure 30).



Figure 29 Plant de liane poc-poc, 16/10/2017 (Photo J.Apaloo)



Figure 30 Plante adventice non identifiée, 16/10/2017 (Photo J.Apaloo)

3.2 Caractérisation du couvert végétal

L'ensemble des données de fréquence spécifique a été mesuré sur deux jours, le 8 et 9 octobre soit trois et deux mois après le premier et second semis. Comme précisé dans le protocole expérimental, ces mesures permettent d'estimer le niveau d'implantation des différentes espèces semées et d'essayer de mettre en évidence des associations pour lesquelles les deux espèces arrivent à s'exprimer. Le tableau ci-dessous (Tableau 5) récapitule les données recueillies, l'ensemble des données est disponible à l'Annexe 10.

	Culture poacée pure	<i>S.gracilis</i>	<i>M.sativa</i>	<i>D.intortum</i>	Adventices
<i>B.decumbens</i>	35,0	-	-	-	17,6
	15,3	8,3 ab	-	-	14,8
	20,2	-	3,2 b	-	9,3
	28,6	-	-	10,6 a	10,6
<i>C.gayana</i>	23,1	-	-	-	65,3
	6,9	9,3 a	-	-	69,4
	12,5	-	5,6 a	-	62,0
	12,0	-	-	7,4 a	75,9
<i>P.maximum</i>	0,0	-	-	-	46,8
	0,0	7,4 a	-	-	56,5
	0,0	-	2,3 b	-	74,5
	0,0	-	-	6,0 ab	74,1
Culture fabacée pure	-	-	-	-	68,1
	12,5 ab	-	-	-	65,7
	-	5,6 b	-	-	85,2
	-	-	-	18,5 a	81,5

Tableau 5 Récapitulatif des résultats de fréquence spécifique (en %) et comparaison statistique entre fabacée pour chaque poacée.

Afin de comparer dans un premier temps l'implantation des différentes fabacées entre elles à chacune des poacées, des tests statistiques ont été effectués (Tableau 5). Tableau 5 Récapitulatif des résultats de fréquence spécifique (en %) et comparaison statistique entre fabacée pour chaque poacée.

Les quatre différents tests statistiques sont représentés ici par des couleurs différentes. Le risque alpha est de 0.05. Les mélanges qui n'ont aucune lettre en commun diffèrent de manière significative.

En raison du non-respect des prérequis à l'emploi de tests paramétriques, le cas du *Chloris* a été traité par le test non paramétrique de Kruskal-Wallis.

Afin de neutraliser l'impact de la culture de *Brachiaria* sur les parcelles semées avec du *Brachiaria*, une moyenne de fréquence spécifique de *Brachiaria* sur l'ensemble non semé avec cette espèce a été faite. Cette dernière a ensuite été retranchée aux mesures de fréquence de *Brachiaria* sur les parcelles semées avec cette espèce.

Pour les associations avec *Brachiaria decumbens*, on observe une différence significative selon les différentes légumineuses associées. Le *Desmodium intortum* s'est mieux implanté sur les parcelles de *Brachiaria*, on le retrouve à 10,6% tandis que l'on retrouve *Medicago sativa* à seulement 3,2%.

En ce qui concerne les associations avec *Chloris gayana*, aucune différence significative n'a pu être observée entre les légumineuses.

Le *Panicum maximum*, deux mois après son semis ne s'est pas du tout implanté, sur les parcelles en associations avec cette espèce on observe malgré tout une différence significative entre fabacées, le *Stylosanthes gracilis* s'est mieux implanté que *Medicago sativa*.

Sur les parcelles en cultures pures, sans poacées, c'est le *Desmodium intortum* qui s'est le mieux implanté, on le retrouve à 18,5% et on observe une différence significative avec *Medicago sativa* qui ne se retrouve qu'à 3,2%.

Les résultats et l'analyse des données viennent appuyer les observations visuelles générales faites sur le développement des fabacées de l'essai. En effet, ces résultats mettent en avant les meilleures implantations du *Desmodium* et du *Stylosanthes* par rapport à *Medicago*.

Des comparaisons statistiques pour chaque fabacées en fonction des différentes poacées ont ensuite été réalisées. Ces comparaisons vont permettre de voir s'il y a un effet d'une ou plusieurs poacées sur l'implantation de chacune des fabacées, mais également de voir si il existe une différence en termes d'implantation entre culture pure et culture en association (Tableau 6).

	Culture Poacée pure	<i>S.gracilis</i>	<i>M.sativa</i>	<i>D.intortum</i>	Adventices
<i>B.decumbens</i>	35,0	-	-	-	17,6
	15,3	8,3 a	-	-	14,8
	20,2	-	3,2 ab	-	9,3
	28,6	-	-	10,6 b	10,6
<i>C.gayana</i>	23,1	-	-	-	65,3
	6,9	9,3 a	-	-	69,4
	12,5	-	5,6 ab	-	62,0
	12,0	-	-	7,4 b	75,9
<i>P.maximum</i>	0,0	-	-	-	46,8
	0,0	7,4 a	-	-	56,5
	0,0	-	2,3 b	-	74,5
	0,0	-	-	6,0 b	74,1
Culture Fabacée pure	-	-	-	-	68,1
	12,5 a	-	-	-	65,7
	-	5,6 a	-	-	85,2
	-	-	-	18,5 a	81,5

Tableau 6 Récapitulatif des résultats de fréquence spécifique (en %) et comparaison statistique entre poacées pour chacune des fabacées données.

En raison du non-respect des prérequis à l'emploi de tests paramétriques, le cas de *Medicago* a été traité par le test non paramétrique de Kruskal-Wallis. Le risque alpha est également fixé à 0,05.

Pour le *Stylosanthes gracilis*, il y a absence de différence significative entre les différentes cultures associées. Il n'existe également pas de différence entre la culture pure et les mélanges.

Dans le cas de *Medicago sativa*, la seule différence significative est entre la culture pure et l'association *Medicago/Panicum*. Etant donné que Le *Panicum* ne s'est pas du tout implanté, il est fort probable que cette différence s'explique par le passage du tracteur sur ces parcelles trois semaines après le semis de *Medicago sativa* qui a pu abimer les jeunes pousses de cette espèce.

L'absence de différence significative entre les cultures pures et les mélanges pour *Stylosanthes* ou *Medicago* invite à penser que multiplier la densité de semis par deux n'a pas eu d'impact sur la qualité d'implantation de ces espèces. Ces résultats sont surprenants puisqu'on aurait tendance à penser que les espèces seraient mieux implantées lorsque la densité de semis est augmentée. Il est également envisageable qu'avec la compétition due à la présence d'une poacée dans les mélanges, le développement de ces deux fabacées ait été stimulé. Cette dernière hypothèse reste néanmoins peu probable au vu de la faible implantation des poacées.

En revanche, pour le *Desmodium*, on observe une différence significative entre les associations et la culture pure, la densité de semis, doublé en culture pure a probablement permis une meilleure implantation de l'espèce.

Dans l'ensemble, il est difficile de tirer de ces résultats des conclusions ou des hypothèses fortes sur d'éventuels effets compétitifs positifs ou négatifs au vu de l'implantation générale faible des différentes espèces.

Traitement	Moyenne de fréquence des adventices (<i>B.decumbens</i> inclus) (%)	Part de <i>B.decumbens</i> dans la fréquence des adventices (Freq(brac.) / Freq(tot.adv.))	Groupe statistique
<i>M.sativa</i>	85,2	84,8	a
<i>D.intortum</i>	81,5	86,9	ab
<i>P.maximum</i> & <i>M.sativa</i>	74,5	83,3	abc
<i>C.gayana</i> & <i>D.intortum</i>	75,9	84,2	abc
<i>P.maximum</i> & <i>D.intortum</i>	74,1	77,5	abcd
<i>C.gayana</i> & <i>S.gracilis</i>	69,4	70,2	abcd
<i>S.gracilis</i>	65,7	74,6	abcd
<i>C.gayana</i>	65,3	71,6	bcd
<i>C.gayana</i> & <i>M.sativa</i>	62,0	89,5	cd
<i>P.maximum</i> & <i>S.gracilis</i>	56,5	63,1	de
<i>P.maximum</i>	46,8	63,3	de
<i>B.decumbens</i>	17,6		ef
<i>B.decumbens</i> & <i>S.gracilis</i>	14,8		f
<i>B.decumbens</i> & <i>D.intortum</i>	10,6		f
<i>B.decumbens</i> & <i>M.sativa</i>	9,3		f

Tableau 7 Récapitulatif des résultats de fréquence spécifique pour les adventices en fonction des différents mélanges.

Des analyses statistiques ont permis de déterminer plusieurs groupes selon la contribution des adventices dans le recouvrement du sol.

On peut noter tout d'abord que les cultures pures de fabacées semblent plus sujettes au développement d'adventices que les cultures pures de poacées. En effet, en moyenne les adventices participent entre 65,7% et 85,2% au couvert végétal alors que pour les poacées (*Chloris* et *Brachiaria*) cette participation est respectivement de 65,3% et 17,6%. Cela peut s'expliquer par un développement plus lent des fabacées qui permet au *Brachiaria* (principale espèce adventice) par son agressivité de se développer aisément. Sur les parcelles en culture pure de poacée, ces dernières seraient plus à même de se défendre face aux adventices de par leur plus grande agressivité.

Les parcelles contenant du *Brachiaria decumbens* sont les moins sujettes au développement des adventices, la contribution de ces dernières au couvert végétal varie entre 9,3% et 17,6%.

En tenant compte de l'absence d'implantation du *Panicum maximum* à la date des mesures, on peut s'interroger sur le faible développement d'adventices en culture pure de cette espèce. On ne peut néanmoins conclure quant à un effet destructeur du passage du tracteur (second semis) sur les adventices au vu du fort développement de ces dernières dans les parcelles en association avec *Medicago sativa* et *Desmodium intortum*.

Comme cela a été abordé ci-dessus, la présence de *Brachiaria decumbens* en tant qu'espèce adventice a été importante. En effet, la part de *Brachiaria* dans les mesures de fréquences d'adventices est élevée, elle varie entre 63,1% et 89,5%.

3.3 Synthèse bibliographique

Pendant la durée de l'essai, un travail de recherche a permis de trouver et de récupérer un ensemble d'articles relatifs à l'étude de fabacées et poacées dans les systèmes fourragers réunionnais. Ces articles présentent des éléments et conclusions pertinents pour qui veut travailler sur cette thématique. Dans notre cas, ces éléments vont nous permettre d'alimenter la discussion sur la conduite et les résultats de l'essai mis en place.

Ces recherches ont été entreprises dès 1963 par l'IRAT. Elles avaient pour but d'identifier et de mettre à disposition des plantes productives, à production annuelle régulière et de bonne qualité alimentaire. Ces travaux se sont appuyés sur des résultats obtenus dans des contextes climatiques similaires à celle de l'essai conduit pendant ce stage.

- « *Recherches sur les productions fourragères effectuées par l'IRAT-Réunion 1963-1970* » par J.Fritz.

L'étude a consisté à rechercher les plantes fourragères les plus intéressantes sur des critères de productivité en matière sèche et de régularité de la production intra-annuelle. Pour cela, plusieurs espèces ont été introduites sur douze sites de l'île (représentatifs des différents sols et climats) et leur comportement a été étudié.

Les poacées étudiées sont : *Chloris gayana*, *Pennisetum purpureum* et *Setaria sphacelata*.

L'intérêt pour le *Chloris* a été démontré, des rendements de 24t/ha en 1966-1967 ont été obtenus sur le littoral Ouest de l'île. L'espèce a également l'avantage, de par sa production de stolons de détruire toute végétation adventice selon l'étude. La production de cette espèce est maximale pendant la période chaude (Novembre-Avril), le rythme d'exploitation optimal est de 5 à 6 semaines en saison chaude et de 6 à 8 semaines après la coupe précédente en saison fraîche.

Les fabacées étudiées sont : *Desmodium intortum*, *Stylosanthes gracilis*, *Glycine javanica*, *Centrosema pubescens* et *Pueraria phaseoloides*.

Le *Stylosanthes gracilis* a présenté des rendements intéressants, de l'ordre de 15t/ha/an de matière sèche sur le littoral Ouest. Cependant, l'étude met en évidence la production irrégulière au cours de l'année, la croissance de l'espèce est nulle au cours des mois d'avril à octobre. Le rythme d'exploitation conseillé est de deux mois en saison chaude et de trois mois en saison fraîche. La longévité du *Stylosanthes* pendant ces essais a été très faible, une hauteur de coupe trop basse semble être fatale à l'espèce.

Le *Desmodium intortum* est la légumineuse la plus intéressante au vu de l'étude, la production était bien répartie sur l'année avec des rendements de l'ordre de 15t/ha/an sur le littoral Est de l'île, caractérisé par une pluviométrie plus importante que dans la partie Ouest. En effet, l'espèce ne résiste pas à une sécheresse prolongée. Le rythme d'exploitation recommandé est de deux mois, l'espèce a toujours repoussé correctement.

- « *Productivité de quelques légumineuses fourragères tropicales à La Réunion* » par J.Fritz et G.Loynet.

Cette étude s'inscrit dans la continuité de celle présentée ci-dessus.

Entre 1971 et 1973, différentes variétés de *Stylosanthes gracilis*, *Desmodium intortum*, *Glycine wightii* ainsi qu'une variété de *Phaseolus astropurpureus* ont fait l'objet d'essais à Mont Caprice dans des conditions pédoclimatiques similaires à celles des parcelles expérimentales du Cirad à Ligne Paradis.

Les essais confirment pour *Stylosanthes gracilis*, *Desmodium intortum* et montrent pour *Glycine wightii* variété Tinaroo l'intérêt de ces espèces en termes de productivité.

Cent dix jours après le semis, la coupe de régularisation a montré l'intérêt de *Desmodium intortum* et de *Glycine wightii* (Tinaroo) au vu de leur production supérieure, 1,5 t de MS/ha par rapport aux autres espèces ayant des productions inférieures à 0,7 t de MS/ha.

Il est important de noter que durant cet essai, les espèces ont été inoculées.

L'installation du *Stylosanthes gracilis* a été assez lente, de plus ces parcelles ont été envahies par les adventices en seconde année. Cette plante a l'avantage de produire beaucoup de graines, cependant la plupart de ses graines sont dures. Pour cela, l'étude recommande alors la scarification, le trempage ou idéalement un passage 24h à 90°C en étuve pour améliorer le taux de germination des graines.

L'étude confirme une meilleure répartition de la production pour *Desmodium intortum* ainsi qu'une plus grande rapidité d'implantation.

La variété Tinaroo de la *Glycine wightii* s'est révélée régulière dans sa production. Après deux ans d'implantation, l'espèce s'est montrée très vigoureuse, luttant ainsi convenablement contre les adventices.

A Mont Caprice, dans les conditions similaires à celles de notre essai, entre juin 1971 et juin 1973, les rendements cumulés suivants ont été mesurés :

- *Glycine wightii* : 29t/ha de matière sèche
- *Desmodium intortum* : 27t/ha de matière sèche
- *Stylosanthes gracilis* : 21t/ha de matière sèche

Outre les éléments cités ci-dessus, les conclusions de l'étude mettent en avant les besoins importants de ces trois espèces en phosphore, calcium et potassium, en ce qui concerne l'apport d'engrais azoté, ce dernier n'est pas utile.

- « *Introduction et comportement de légumineuses fourragères à La Réunion* » par A.Bigot et O.Fontaine

Cette étude présente les résultats obtenus sur des essais conduits en 1989-1990. Ces essais ont permis de tester près de soixante-dix espèces, variétés ou souches de légumineuses sur trois sites, à Saint-Pierre, Bassin La Paix et Petite France. Les légumineuses sont pérennes, herbacées ou arbustives.

Pour l'essai à Saint-Pierre, les légumineuses ont été semées en poquet et inoculés en pépinière (durée en pépinière de 3 à 6 semaines) avant d'être transplanté sur des parcelles de 5m², les

différents essais ont tous été menés en culture pure. La transplantation aux champs des légumineuses s'est faite en début de saison fraîche, au mois de juin.

Un premier rabattage (coupe à 4-8 cm pour les légumineuses herbacées) sans mesures a eu lieu six mois après transplantation. Plusieurs séries de mesures ont été faites à trois ou quatre mois d'intervalles.

L'évaluation du comportement des légumineuses herbacées a pu être faite à la fin de la première année. Parmi les légumineuses retenues par l'étude, on retrouve *Stylosanthes gracilis* mais aussi de nouvelles espèces non testées avant cette étude, *Desmodium sandwicense*, *Pueraria phaseoloïdes*, *Calopogonium caeruleum*, *Macrotyloma axillare*, *Centrosema macrocarpum* et *Neonotonia wightii*.

Il est intéressant qu'en ce qui concerne l'essai à Saint-Pierre, les auteurs aient jugé nécessaire la mise en place d'un système d'irrigation en raison de la faible pluviométrie caractéristique de la zone.

- « *Productions fourragères* », (IRAT, 1980).
- « *La luzerne à la Réunion* » ((Mandret, 1994).

Ces deux études traitent entre autres d'essais qui ont été conduits sur la luzerne (*Medicago sativa*).

Durant les années soixante-dix, les cultivars Mireille, Janine, Vertus et Europe de la luzerne ont été l'objet d'études à 900m d'altitude. Le cultivar Mireille s'est montré le plus intéressant en termes de rendement avec 11 t/MS/ha/an (IRAT, 1980).

Il faut cependant attendre le début des années 1990 pour qu'une expérimentation sur la luzerne soit menée à basse altitude. Le cultivar Europe a montré sa supériorité en termes de rendement annuel (autour de 10 t/MS/ha/an) ainsi qu'en termes de qualité. L'étude conclut sur l'intérêt du foin de luzerne en comparaison au foin de Chloris, récolté dans les meilleures conditions (Mandret, 1994).

Cet essai a été réalisé sur une parcelle irriguée et avec des semences inoculées.

3.4 Critique méthodologique et recommandations

Au vu de l'évolution de la parcelle et de l'état de celle-ci fin octobre 2017, nous pouvons dire que l'expérimentation ne s'est pas déroulée comme prévu et que la qualité de l'implantation des différentes espèces n'est pas à la hauteur des espérances. Ces éléments ne nous ont pas permis d'effectuer les multiples séries de mesures de biomasse et de caractérisation du couvert végétal qui étaient prévues.

Les résultats directs de l'expérience sont sans aucuns doutes décevants, cependant la critique de la méthodologie et de la conduite de l'essai devraient permettre de comprendre les raisons de cet échec, mais également d'apporter des éléments intéressants pour la mise en place de nouvelles expérimentations dans des conditions similaires.

La discussion critique sur la méthodologie et la conduite de l'essai est constituée d'un ensemble de remarques et de faits qui peuvent permettre d'expliquer l'état de la parcelle, mais revient également sur des choix critiquables qui ont été faits.

3.4.1 Le pouvoir germinatif des semences

Un des facteurs impactant la réussite d'implantation d'une prairie est sans aucun doute la qualité des semences utilisées. Celle des semences de *Brachiaria decumbens*, *Chloris gayana*, *Desmodium intortum* et *Medicago sativa* récupérées auprès de l'ARP est cependant questionnable.

Le pouvoir germinatif, défini comme étant la capacité des semences à germer, baisse avec l'âge des semences, cependant, la durée de stockage de ces semences est inconnue. Sous climat chaud et humide comme à La Réunion, la baisse du pouvoir germinatif est rapide, pour les graminées fourragères cette faculté dépasse rarement un an. La baisse du pouvoir germinatif dépend également des conditions de conservation des semences. Le stockage, constaté, de ces dernières est sans doute critiquable, sacs ouverts, présence de rongeurs, aération et humidité du local. Ces éléments nous ont conduits à effectuer des tests de germination qui ont révélé le faible pouvoir germinatif de ces graines.

Bien que les densités de semis aient été réévaluées après ces tests, les conditions de terrain ne sont pas les mêmes que celles réunies lors des tests de germination. La faible implantation des espèces sur l'essai peut en partie s'expliquer par un taux de germination extrêmement bas en condition réelle.

Un des facteurs influant sur le pouvoir germinatif des espèces est le phénomène de dormance des semences, celui-ci n'a pas été pris en compte avant le semis.

Pour le *Brachiaria decumbens*, les graines ont besoin de dix à douze mois de maturation après récolte afin de lever la dormance naturellement, sans traitement (Skerman *et al.*, 1990). Le manque d'information sur la durée de stockage des graines de *Brachiaria* ne nous permet pas d'assurer que la dormance était bien levée au moment du semis. Il est possible de traiter les graines à l'acide sulfurique afin d'améliorer la germination (Shelton, 2017).

Les graines de *Chloris* ont peu de dormance, celle-ci se lève généralement trois à six mois pour atteindre son taux de germination maximum (Tropical forages, 2017a).

Les principales sources d'informations sur les espèces fourragères n'évoquent pas la dormance des graines de *Panicum maximum*. Cependant, le taux de germination peut être amélioré par un traitement à l'acide sulfurique (Usberti *et al.*, 2007).

Pour le *Desmodium intortum* une récolte mécanique permet en théorie de lever la dormance. Dans le cas contraire, il est possible d'améliorer la levée en traitant les graines à l'acide sulfurique (Tropical forages, 2017b, 2017b).

Pour le *Stylosanthes gracilis*, l'étude sur la productivité de légumineuses à La Réunion ((Fritz *et al.*, 1976) recommandait la scarification, le trempage ou le passage à l'étuve 24h à 90°C pour améliorer le taux de germination des graines.

Pour se mettre dans de meilleures dispositions il aurait été intéressant de :

- S'approvisionner en semences « neuves » pour le *Brachiaria*, *Chloris*, *Desmodium* et *Medicago*.
- Traiter les semences, cette étape semble pertinente pour améliorer le pouvoir germinatif, la levée et envisager donc une meilleure implantation des espèces.

3.4.2 L'hétérogénéité du sol et les conditions de réalisation du semis

3.4.2.1 La préparation du sol

Pour la mise en place de l'essai, il n'y a pas eu de préparation d'un lit de semence fin et homogène. En effet, le semis a été réalisé sur un sol bosselé. De plus, comme il a été souligné dans la partie méthodologie, le terrain est composé d'un sol très caillouteux, la photo ci-dessous (Figure 31) caractérise bien la densité de cailloux que l'on retrouve à la surface du sol de la parcelle.



Figure 31 Surface du sol caractéristique de la parcelle expérimentale (Photo T.Pioffret)

L'hétérogénéité de la parcelle rend difficile, lors du semis le placement des graines à la profondeur souhaitée. En effet, cailloux et mottes à la surface du sol ont tendance à soulever les disques de placement des graines du semoir, cela a pu être observé lors des semis réalisés. Il en résulte alors des graines qui sont non semées à la profondeur souhaitée ainsi qu'une variabilité dans la profondeur du semis entre les graines. Lors du semis, certaines graines se retrouvent également sous des cailloux, la germination de ces graines est alors gênée, si la plantule ne parvient pas à atteindre l'air libre cette dernière peut même mourir.

De plus, les semences ont besoin d'être humidifiées pour bien germer, pour cela il est important d'assurer un contact entre les graines et la terre. Les graines de ces espèces étant de petites tailles, un lit de semences nivelé et fin assure un contact correct entre les graines et la terre. Un mauvais contact entre la graine et le sol peut également entraîner la mort par dessiccation des jeunes plantules.

L'absence de préparation du sol pour le semis à dans notre cas été sûrement préjudiciable pour une levée correcte et régulière.

3.4.2.2 Le semis

Le plan de l'expérience tel qu'il a conçu n'avait pas prévu des zones tampons suffisamment larges pour permettre au tracteur de manœuvrer correctement en dehors de la parcelle expérimentale. Ceci a conduit le tracteur à manœuvrer ponctuellement et aléatoirement sur certaines parcelles menant à un tassement hétérogène possible de la couche superficielle du sol.



Figure 32 Déstructuration de la couche superficielle du sol dû au passage du semoir sur le sol humide, 15/10/2017 (Photo

J.Apaloo)

Le deuxième semis s'est naturellement accompagné de nouveaux passages du tracteur sur certaines parcelles expérimentales. Ce second semis s'est terminé sous la pluie, le passage des roues du tracteur et du semoir sur le sol mouillé a abîmé la couche superficielle du sol, par un marquage plus ou moins important du sol et par un « arrachage » de la couche

supérieure du sol (Figure 32). Ces éléments ne concernent cependant que quelques endroits de la parcelle.

Il est possible que le tassement du sol à certains endroits de la parcelle ait pu freiner ou empêcher le développement des plantules. En effet, le tassement du sol peut être à l'origine, entre autres, d'un mauvais développement racinaire et de phénomènes d'asphyxie racinaire.

De plus, le passage du tracteur ainsi que du semoir par temps de pluie sur les parcelles qui avait déjà été semées a pu endommager les plants de *Medicago sativa* qui étaient déjà sortis du sol à ce moment, mais également détériorer le semis précédent.

D'autres complications sont apparues également lors de la réalisation des semis. Le poids des graines de *Chloris gayana* et *Panicum maximum* étant très faible, ces dernières ont eu du mal à bien être délivrées par le semoir et à se déposer à la surface du sol. Dans le cas du second semis, des quantités importantes de graines sont également restées collées aux disques du semoir.

Les points cités ci-dessus peuvent en partie expliquer l'hétérogénéité observée des plants sur la parcelle, mais également de la faible implantation des différentes espèces.

Dans le cas où l'essai serait remis en place, il est important de faire attention aux points cités précédemment et d'envisager quelques alternatives. Quelques recommandations peuvent être faites :

- Anticiper d'éventuels délais de livraison lors de l'importation de semences d'origine étrangère
- Réaliser le semis sur un sol nivelé. Le passage du semoir sur l'ensemble de la parcelle a permis de niveler cette dernière ce qui ne devrait plus être problématique en cas de nouveau semis.
- Le semis des graines légères comme celles du *Chloris* ou du *Panicum* peut être facilité en mélangeant les graines avec du sable.
- Il faut revoir la largeur des zones tampons qui séparent les différents blocs quitte à réduire le nombre de parcelles ou leurs surfaces. Une largeur de 2,5 mètres pour les espaces qui séparent les blocs est le minimum pour permettre au tracteur de circuler sur le terrain sans avoir à rouler sur les parcelles.

3.4.3 La composition et le pH du sol

La composition minérale du sol ainsi que son pH sont des éléments qui n'ont pas été déterminés avant la mise en place de l'essai et qui sont pourtant importants pour une bonne implantation des espèces.

En effet un sol pauvre en éléments minéraux sera naturellement, limitant pour le développement des plantes.

L'étude sur la productivité de quelques légumineuses tropicales à La Réunion (Fritz *et al*, 1976) met notamment en avant les besoins importants du *Desmodium intortum* et du *Stylosanthes gracilis* en phosphore, calcium et potassium. La disponibilité de ces éléments dans le sol est cependant inconnue.

En ce qui concerne l'azote minéral, les trois années de culture précédente de *Mucuna pruriens* ont probablement enrichi le sol en azote (nodulation effective, vérifiée visuellement). Malgré tout, on ne peut pas s'appuyer sur cette hypothèse pour choisir de se passer de fertilisation minérale azotée.

De plus, le pH joue un rôle dans la capacité d'absorption des éléments minéraux par les plantes, celle-ci diminue lorsque le sol est acide. Les différentes espèces sélectionnées tolèrent également des pH plus ou moins acides (voir §2.2.2), le pH de la parcelle a pu porter préjudice à certaines de ces espèces.

Il semble impératif de réaliser les analyses de sol en amont de la mise en place de l'essai afin mettre en place une fertilisation dite « de fond » pour corriger les éventuelles carences du sol en éléments minéraux. La correction du pH semble tout aussi importante, un chaulage du sol peut s'avérer nécessaire pour permettre aux plantes d'assimiler correctement les éléments minéraux dont elles ont besoin et de se développer correctement.

3.4.4 L'inoculation des semences de fabacées

L'inoculation des semences des différentes fabacées utilisées est un élément à considérer. Ces fabacées sont d'origines étrangères et ne sont pas cultivées à La Réunion. On peut supposer raisonnablement que les populations bactériennes spécifiques à chacune des fabacées sont absentes des sols réunionnais. En l'absence des bactéries nécessaires à la formation des nodosités racinaires, les fabacées semées ne sont pas en mesure de fixer de l'azote atmosphérique et le principal avantage de ces espèces n'est pas exploité.

De plus, une faible disponibilité en azote minéral peut expliquer une implantation des légumineuses compliquée. En effet, les poacées apparaissent plus compétitives que les fabacées en situation d'azote minéral limitant, cet avantage se limite néanmoins à la phase végétative après le semis. Cela s'explique par une croissance racinaire plus rapide chez les poacées (Louarn *et al.*, 2010).

Il convient également de noter que les précédents essais sur les légumineuses à La Réunion ont systématiquement été fait avec inoculation des semences, ce qui renforce l'idée de l'importance de l'inoculation des semences des légumineuses.

3.4.5 Les conditions climatiques

Les deux semis ont été faits en pleine saison sèche. La répartition de la pluviométrie sur la période de suivi a été très inégale, se caractérisant par quelques rares jours de pluie par mois (Figure 33). Durant les mois d'août et de septembre par exemple, des durées allant jusqu'à 20 jours de sécheresse ont été relevées.

De plus, après les pluies, il a été observé que le sol s'asséchait très rapidement, en quelques heures.

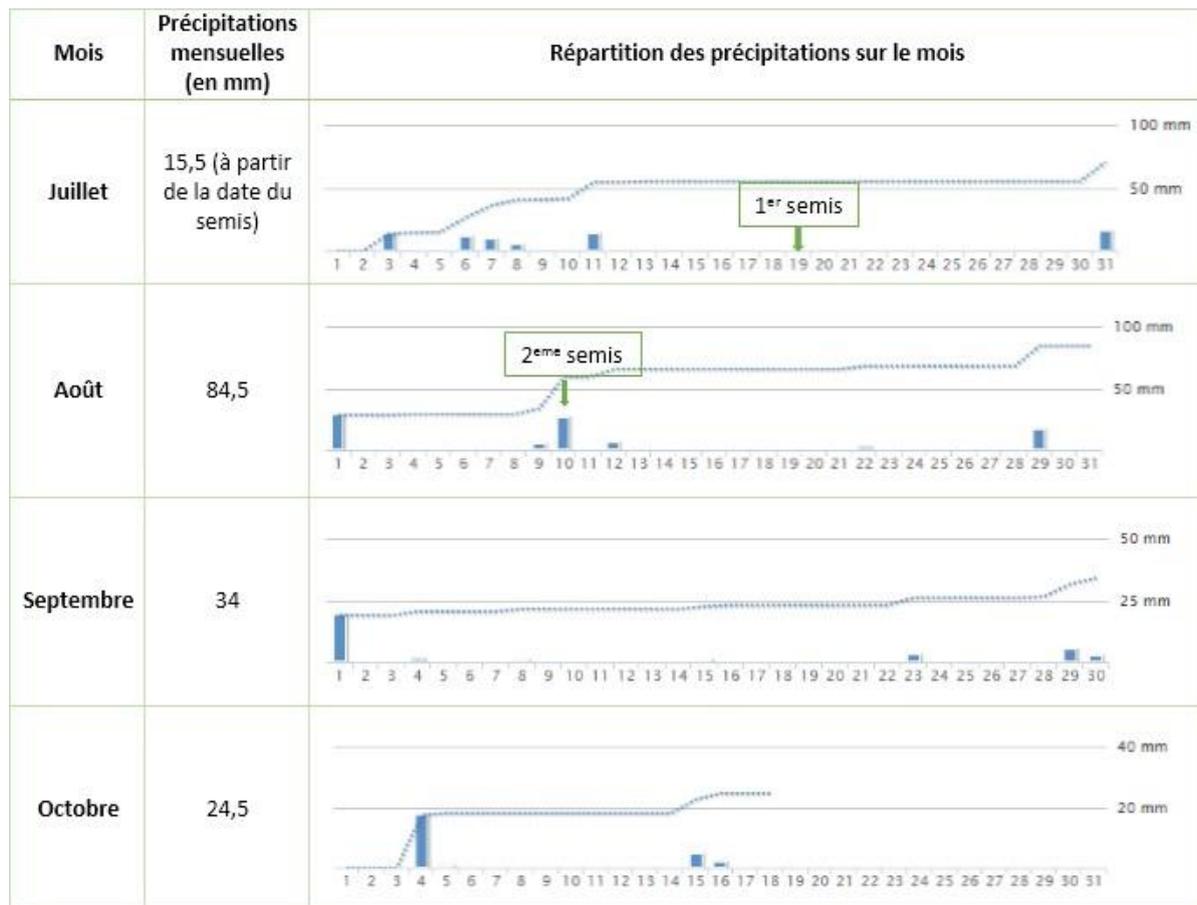


Figure 33 Répartition des précipitations sur la période de suivi de l'essai (données Météo France)

Les semis ont été dans les deux cas suivis par presque deux semaines sans pluie. Les graines ont besoin d'eau pour pouvoir germer, ces jours de sécheresse ont sans aucun doute retardé la germination des graines. De plus, l'état des graines et donc le pouvoir germinatif des semences ont pu être affectés par cette situation.

Les températures minimales et maximales pour la période l'essai sont disponible en Annexe 11. Les températures maximales et minimales sont restées proches des normales pendant la période de suivi de l'essai. Malgré tout, les températures plus fraîches pendant cette saison ont pu limiter la germination et le développement des poacées tropicales (ces dernières ont une productivité plus élevée en saison des pluies).

Les dates tardives de semis apparaissent problématiques pour l'implantation d'un essai fourrager à La Réunion. Les températures plus fraîches ainsi que la faible pluviométrie sont contraignantes pour l'implantation des espèces.

Le semis aurait dû se faire entre mars et juin pour profiter de la plus forte pluviométrie, mais également des températures plus élevées. La mise en place des essais précédents sur les légumineuses à La Réunion sur le littoral Ouest va aussi dans ce sens (Fritz *et al*, 1976; Bigot *et al*, 1991).

Afin de ne pas être contraint par les conditions pluviométriques, l'installation d'un système d'irrigation pendant la mise en place de l'essai aurait été pertinente. L'étude sur l'introduction et le comportement de légumineuses fourragères à La Réunion (Bigot *et al*, 1991) et l'étude

sur la luzerne à La Réunion (Mandret, 1994) font état des faibles pluviométries de la zone et les essais menés conduits avec une irrigation d'appoint.

3.4.6 Le choix des espèces

Le choix du *Brachiaria decumbens* qui a été en culture durant les trois dernières années sur la parcelle expérimentale apparaît impertinent. Malgré le travail du sol et un désherbage chimique avant l'implantation des essais, il était prévisible de s'attendre à un développement de l'espèce *Brachiaria* sur les parcelles où il n'a pas été semé. Cela est alors problématique sur plusieurs points. Tout d'abord, le *Brachiaria* s'est développé avant même que les autres espèces germent et ne sortent, étouffant alors les autres espèces, de plus les parcelles concernées par des associations avec *Brachiaria* sont naturellement favorisées par le précédent cultural.

La mauvaise implantation de *Chloris gayana* ne remet pas en cause l'intérêt de l'espèce qui est une poacée déjà très répandue dans les bas de l'île et qui présente des rendements intéressants. Il en est de même pour le *Panicum maximum* qui pousse très bien dans les conditions de l'île.

Au vu de certaines conclusions des études précédentes traitant du comportement de certaines légumineuses à La Réunion, il est intéressant de discuter du choix des différentes fabacées.

Stylosanthes gracilis est une espèce qui est intéressante pour sa productivité cependant il a été mis en évidence l'irrégularité intra-annuelle de sa production, la croissance de l'espèce est « nulle » pendant la saison sèche. La régularité de la production au cours de l'année ainsi que la capacité de l'espèce à produire en saison sèche pour lutter contre le déficit chronique fourrager étaient un critère principal du choix des espèces fabacées. Le choix de mettre à l'essai *Stylosanthes gracilis* est peu pertinent pour répondre au problème du déficit fourrager.

Le choix du *Desmodium intortum* reste lui tout à fait pertinent, l'espèce a montré de bons résultats en terme de productivité, régularité de la production intra-annuelle et rapidité d'implantation dans les précédentes études. Cette espèce semble cependant sensible aux périodes de sécheresse ce qui pourrait être une limite pour la culture de cette espèce.

Le choix de *Medicago sativa* reste également pertinent, l'espèce semble avoir un intérêt en termes de productivité et de qualité dans le contexte réunionnais.

Dans le choix des fabacées, il peut aussi être intéressant de s'intéresser à la variété Tinaroo de la *Glycine wightii* qui a montré des résultats encourageants sur les précédents essais menés à La Réunion.

Conclusion

L'objectif principal de cette expérimentation était d'évaluer l'intérêt de différentes associations de culture poacée-fabacée sur la zone littorale Ouest de l'île. Ce travail devait permettre de juger la pertinence de ces associations sur des critères de productivité et de qualité fourragère.

Cependant, le développement du *Desmodium intortum* et du *Stylosanthes gracilis* a été lent, il y a eu absence de levée pour le *Panicum maximum*, le développement de *Medicago sativa* a décliné et l'implantation générale des espèces étaient très faibles et hétérogènes. Ces éléments ont rendu les mesures de biomasse irréalisables ou impertinentes. Les mesures et les résultats liés à la caractérisation du couvert végétal sont apparus peu pertinents au vu de l'envahissement général de la parcelle par du *Brachiaria*. Trois mois après sa mise en place, l'expérimentation s'avère peu exploitable et par conséquent décevante.

Afin d'obtenir des résultats de qualité et d'envisager de tirer des conclusions pertinentes relatives à l'objectif de l'essai, il est indispensable de réaliser ce dernier dans les meilleures conditions possible. Cependant, l'essai mis en place a souffert d'un défaut de préparation, on peut penser notamment à l'approvisionnement tardif en semences, au choix de *Brachiaria decumbens* comme espèce sélectionnée, à l'absence d'analyses de sols préalables et de fertilisation de fond potentiellement nécessaire, etc.

Un autre point qui est capital est le travail bibliographique sur les essais précédents qui ont été menés à La Réunion sur les mêmes thématiques. La disponibilité de ces études a été tardive, la connaissance de celles-ci s'avère pourtant essentielle dans le cas de la mise en place d'un essai comme le nôtre. La connaissance de ces études rend par exemple discutable le choix du *Stylosanthes gracilis* dans le cadre de cette expérimentation. Malgré cela, l'essai conduit s'inscrit tout de même dans la continuité des essais préalablement menés sur les légumineuses à La Réunion, à la seule différence que ces essais ont jusque-là été réalisés en culture pure.

Les résultats de cette expérimentation tels qu'ils sont ne remettent pas en cause la pertinence de conduire des expérimentations agronomiques sur les cultures fourragères multi-espèces à La Réunion. Des travaux sur ces derniers méritent d'être menés pour améliorer les systèmes fourragers actuels.

Bibliographie

- ADEME** 2015. Cultiver des légumineuses pour réduire l'utilisation d'intrants de synthèse
- AGRESTE**. 2015. La protection du foncier agricole à La Réunion. [On-line]. [06/2017]. URL : < http://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Protection-foncier-La-Reunion_cle8a8933.pdf >.
- Barbet-Massin V., Grimaud P., Michon A., Thomas P.** 2004. Guide technique pour la création, la gestion et la valorisation des prairies à la Réunion. Plaine des Cafres : UAFP et CIRAD, 99 p.
- Belesi Katula H.** 2009. Inventaire et description des fabaceae arbres (mimosoidae et faboidae) de Kinshasa et ses environs. [On-line]. [09/2017]. URL : < http://www.memoireonline.com/02/12/5298/m_Inventaire-et-description-des-fabaceae-arbres-mimosoidae-et-faboidae--de-Kinshasa-et-ses-environs1.html >.
- Bigot A., Fontaine O.** 1991. Introduction et comportement des légumineuses fourragères à la Réunion (1989-1990). Maison-Alfort : CIRAD-IEMVT, 15p.
- Blanfort V., Salgado P., Fontaine O.** 2014. Les prairies permanentes en altitude à la Réunion, océan Indien: Etude de cas n° 3. [On-line]. [06/2017]. URL : < http://agritrop.cirad.fr/574700/1/document_574700.pdf >.
- BRL ingénierie.** 2017. Etude prospective sur la production fourragère à La Réunion. [On-line]. Saint-Pierre. [09/2017].
- Brunschwig P., Lancelot R., Zanella G.** 2009. Expertise sur la mortalité des bovins laitiers à la Réunion. [On-line]. [06/2017]. URL : <http://agritrop.cirad.fr/550465/1/document_550465.pdf>
- Cailleaux H.** 2012. Amélioration génétique. *Caprins et porcins*. [On-line]. (1) 30 : 5. [06/2017]. URL : < <http://www.reunion.chambagri.fr/IMG/pdf/LAR30.pdf> >.
- Choisis J.P., Grimaud P., Lassalle C.** 2009. Pratiques d'élevage dans les exploitations bovines allaitantes conduites sur pâturage dans les Hauts de la Réunion. *INRA Productions Animales*. [On-line]. 22 (4) : 345-354. [06/2017]. URL : < <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01412317/document> >.
- Comité de Bassin de La Réunion.** 2010. Présentation du district hydrographique. [On-line]. [05/2017]. URL : < <http://www.comitedebassin-reunion.fr/climatologie-a7.html> >.
- Daget P., Poissonet J.** 2010. Analyse de la végétation: Interprétation structurel des observations. [On-line]. [07/2017]. URL : < <https://umr-selmet.cirad.fr/FichiersComplementaires/Prairies%20et%20paturages.pdf> >.
- Dagnelie P.** 2012. Principes d'expérimentation : planification des expériences et analyse de leurs résultats. [On-line]. Université de Liège, 413 p. [07/2017]. URL : < <http://www.dagnelie.be/docpdf/ex2012.pdf> >
- Fages F.** 2017. Diagnostic du coût des fourrages à La Réunion. [On-line]. [09/2017].

- Federer W.T.** 1977. Sampling, Blocking, and Model Considerations for Split Plot and Split Block Designs. *Biometrical Journal*. [On-line]. **19** (3) : 181-200. [07/2017].
- Fritz J., Loynet G.** 1976. Productivité de quelques légumineuses fourragères tropicales à La Réunion. *Fourrages*. [On-line]. (65) : 101-109. [09/2017]. URL : < <http://www.afpf-asso.fr/index/action/page/id/33/title/Les-articles/article/605> >.
- Gastal F., Julier B., Surault F., Litrico I., Durand J.L., Dénoue D., Ghesquière M., Sampoux J.P.** 2012. Intérêt des prairies cultivées multiespèces dans le contexte des systèmes de polyculture-élevage. *Innovations Agronomiques*. [On-line]. (22) : 169-183. [07/2017].
- Girault B.** 2003. Analyse de l'évolution de la végétation prairiale de l'île de La Réunion - Relation avec les pratiques de l'élevage. [On-line]. Montpellier : Université Montpellier II. [07/2017].
- Grimaud P., Thomas P.** 2002. Diversité des rations à base de graminées et gestion des prairies en élevage bovin sur l'île de la Réunion. *Fourrages*. [On-line]. **169** : 65-78. [07/2017].
- Husson O., Michellon R., Moussa N., Charpentier H.** 2012. Kikuyu, Pennisetum clandestinum. [On-line] (Manuel pratique du semis direct à Madagascar vol 3). [08/2017]. URL : < <http://www.supagro.fr/ress-pepites/ingenierieprobleme/res/kikuyu.pdf> >.
- IRAT.** 1980. Productions fourragères. [On-line]. Saint-Denis : CIRAD. Rapport annuel 1980. [07/2017].
- Julier B.** 2010. Diversité intra-spécifique et performance des cultures fourragères pérennes.. *Le sélectionneur Français*. [On-line]. **61** : 85-96. [09/2017]. URL : < <http://www.selectionneurs.asso.fr/bulletin/downloadintervention?id=12> >.
- Knoden D.** 2017. Les alternatives offertes par les légumineuses. [On-line]. Fourrages actualités. 20 septembre 2007. [10/2017]. URL : < http://www.fourragesmieux.be/Documents_telechargeables/Les_alternatives_offertes_par_les_legumineuses.pdf >.
- Le Chatelier D., Joya R., Martinet Y.** 2016. Les légumineuses, alliées d'une agriculture écologiquement intensive. L'exemple de la luzerne. *Pollution atmosphérique*. [On-line]. 220-222. [08/2017]. URL : < <http://lodel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/docannexe/file/5743/lechatelier.pdf> >
- Lefèvre D.** 1974. La situation économique de la Réunion au début du VI^e Plan. *Annales de Géographie*. [On-line]. **83** (457) : 319-349. [06/2017].
- Leung J.** 2015. La production de viande bovine à La Réunion. [05/2017]. URL : < http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/41045/1/agr_RE_2015_96.pdf >.
- Louarn G., Corre-Hellou G., Fustec J., Pelzer E., Julier B., Litrico I., Hinsinger P., Lecomte C.** 2010. Déterminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilité des associations graminées-légumineuses. *Innovations Agronomiques*. [On-line]. **11** : 79-99. [06/2017].

- Madrid A.** 2015. Etude des performances de légumineuses à graines selon leur mode d'insertion dans les systèmes de culture en Midi-Pyrénées : Suivi d'un observatoire de parcelles de lentille, d'association lentille-blé, et de soja. [On-line]. [06/2017].
- Mandret G.** 1994. La luzerne à la Réunion. [On-line]. Saint-Pierre : CIRAD. Rapport annuelle 1993. [09/2017].
- Mandret G.** 1996. Carences minérales des prairies sur andosol à la Réunion. *Fourrages*. [On-line]. (146) : 141-148. [05/2017].
- Mandret G., Hassoun P., Paillat J.-M., Tillard E., Blanfort V.** 2000. L'élevage bovin à la Réunion : Synthèse de quinze ans de recherche. Montpellier : CIRAD, 391 p.
- Météo France** 2017a. Climat de La Réunion. [On-line]. [05/2017]. URL : <<http://www.meteofrance.re/climat/description-du-climat> >.
- Météo France** 2017b. L'enneigement sur l'île de La Réunion. [On-line]. [05/2017]. URL : <<http://www.meteofrance.re/climat/pedagogie> >.
- Morlon P., Sigaud F.** 2010. Signification des rendements - Les Mots de l'agronomie. [On-line]. [06/2017]. URL : <http://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Signification_des_rendements >.
- Peeters A.** 2017a. *Bromus catharticus*. [On-line]. [08/2017]. URL : <<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/gbase/data/pf000426.htm> >.
- Peeters A.** 2017b. *Lolium multiflorum*. [On-line]. [08/2017]. URL : <<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/gbase/data/pf000448.htm> >.
- Peeters A.** 2017c. *Dactylis glomerata*. [On-line]. [08/2017]. URL : <<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/gbase/data/pf000431.htm> >.
- Peeters A.** 2017d. *Chloris gayana*. [On-line]. [08/2017]. URL : <<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/gbase/data/pf000199.htm> >.
- Roinsard N.** 2013. Soixante ans de départementalisation à La Réunion : une sociologie des mutations de l'organisation sociale et de la structure de classe en contexte postcolonial. *Asylon(s)*. [On-line]. (11). [06/2017]. URL : <<http://www.reseau-terra.eu/article1278.html> >.
- Schneider A., Huyghe C.** 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables. [On-line]. Quae, 197 p. [07/2017]. URL : <<http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/legumineuses-ouvrage-quaе-2015.pdf> >.
- Shelton M.** 2017. *Brachiaria decumbens*. [On-line]. [08/2017]. URL : <<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/gbase/data/pf000188.htm> >.
- Skerman P.J., Riveros F.** 1990. Tropical Grasses. [On-line]. Food & Agriculture Org, 900 p. [06/2017].
- Tropical forages** 2017a. *Pennisetum purpureum* [On-line]. [08/2017]. URL : <http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Pennisetum_purpureum.htm >.

- Tropical forages** 2017a. *Chloris gayana*. [On-line]. [09/2017]. URL : <
http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Chloris_gayana.htm >.
- Tropical forages** 2017b. *Desmodium intortum*. [On-line]. [08/2017]. URL : <
http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Desmodium_intortum.htm>.
- Tropical forages** 2017b. *Stylosanthes guianensis*. [On-line]. [09/2017]. URL : <
http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Stylosanthes_guianensis_var_guianensis.htm >.
- Usberti R., Martins L.** 2007. Sulphuric acid scarification effects on *Brachiaria brizantha*, *B. humidicola* and *Panicum maximum* seed dormancy release. [On-line]. *Revista Brasileira de Sementes*. **29** (2) : 143-147. [09/2017].

Annexes

Table des annexes

Annexe 1.	Synthèse bibliographique sur différentes poacées.....	58
Annexe 2.	Synthèse bibliographique sur différentes fabacées.....	59
Annexe 3.	Disposition de l'ensemble des traitements sur la parcelle expérimentale	61
Annexe 4.	Matériels pour le prélèvement et la détermination du rendement	62
Annexe 5.	Matériels pour la détermination de la qualité alimentaire.....	62
Annexe 6.	Matériels pour la mesure de l'enherbement.....	62
Annexe 7.	Définitions et méthode pour l'identification des stades de végétations	63
Annexe 8.	Script R, travail préliminaire à l'analyse des données.....	64
Annexe 9.	Script R, exemple de l'analyse des données de rendement	66
Annexe 10.	Résultats de fréquence spécifique.....	69
Annexe 11.	Relevés des températures pour la période de l'essai, à la Station de Ligne-Paradis (d'après Météo France).....	71

Annexe 1. Synthèse bibliographique sur différentes poacées

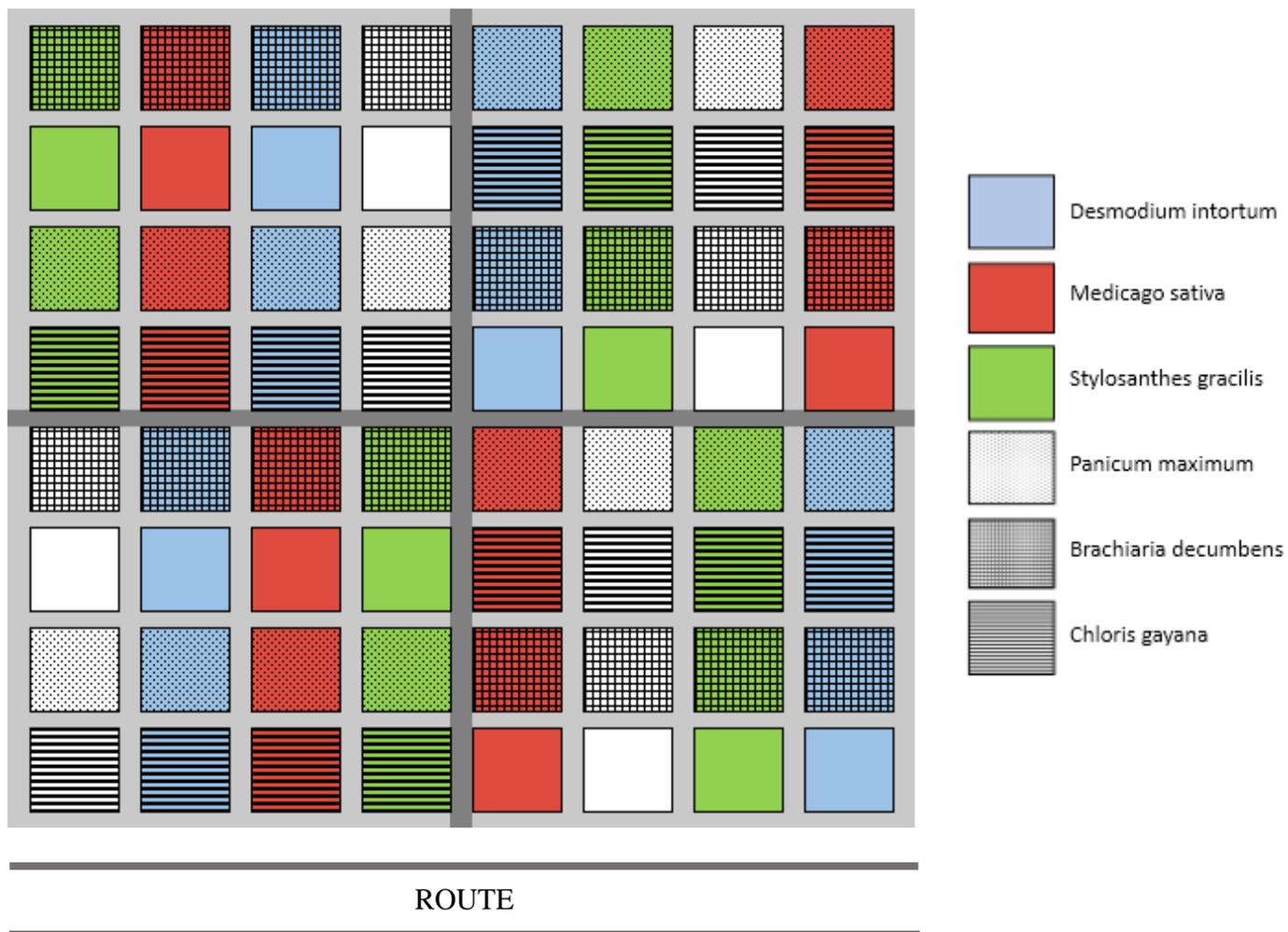
"	pH	Ensoleillement	Temperature	Pluviométrie annuelle (mm)	Type de sol préféré	Altitude	Annuelle/Perenne	Rdt moyen (t MS/ha/an)	Fauche/pature	VA	Vitesse	Association	Implantation
Chloris gayana	Min: 4,5 Idéal : 5.5 / 7.5 Max: 10	Pleine lumière	Min: 16,5 Idéale: 25/30 Survie de 5°C à 50°C	Min: 310 Idéale : 650-750 Max: 4030 Tolérance à la sécheresse, peut survivre à 6 mois de saison sèche et 15 jours d'inondation	Idéal: Sol drainant, bien structuré, fertile Tolère: sol sableux pauvre Sol très argileux alcalin Sol salin	De 0m à 1000m en région subtropicale	Pérenne	De 10 à 16	Fauche : Une par mois Pature: A partir de la seconde année d'implantation. Eviter les longues durées et les fréquences importantes	Haute qualité à 4 semaines à partir de la coupe Qualité qui décroît rapidement au-delà Protéine brute: 17% à 3% de la matière sèche de la feuille	Couverture totale du sol 3 mois après semis en condition favorable	<i>Medicago sativa</i> <i>Stylosanthes gracilis</i>	Seed coating ou mélange avec du sable pour faciliter la semi Profondeur des semis : <2cm Gémination possible en période sèche à condition que le sol soit humide
Panicum maximum	Tolérance aux sols aux pH faibles	Idéal: 30% d'ombre Pousse bien en pleine lumière	Idéale: 19-23	Idéale : >1000 Sensible aux inondations et aux périodes sèches de plus de 4 à 5 mois	Idéal: Sol drainant, humide et fertile Intolérant au sol salin	de 0 à plus de 2000m	Pérenne	jusqu'à 30	Fauche: Bien adaptée (taille à 60/90cm), pas en dessous de 30cm Pature: Fréquente mais pas en dessous de 35cm	Protéine brute: 6-25% IVDMD: 64% (2semaines de repousse) - 50% (8 semaines)	Rapide	<i>Chloris gayana</i> <i>Stylosanthes gracilis</i>	Profondeur des semis: <1cm
Brachiaria decumbens	Min: 3.5	Tolérance à l'ombre	Idéale: 30-35	Min: 1000 Idéale : 1500 Max: 3000 Tolérance à une saison sèche de 4 ou 5 mois et à de faible inondation	Tolérance à de nombreux types de sols incluant les peu fertiles Sensible à la salinité et au sols peu drainants	De 0m à 1750m	Pérenne	10	Pature en rotation et 10 tête/ha maximum recommandé	Relativement élevée, fortement dépendante de la fertilité du sol 50-80% digestibilité Protéine brute: 9-20%	Rapide 3 mois maximum pour obtenir un couvert dense	Pauvre en terme de compatibilité avec de nombreux légumes <i>Stylosanthes gracilis</i>	Profondeur des semis: <1cm 2-4kg/ha puis léger hersage et roulage
Sorghum perennial	Min: 5 Idéal : Max: 8.5	Pleine lumière	Tolérance de légère gelée	Min: Idéale : 500 - 800 Max:	Idéal: Sol argileux à loam, fertile Tolérance à la salinité Sensible au sol trop peu drainant		Pérenne	4 à 10	Pature : tolérant à un pâturage fréquent (quand la longueur de la tige est comprise entre 15 et 50cm) Sensible au pietinement		Croissance rapide	<i>Medicago sativa</i> <i>Lablab purpureus</i>	Facile

Annexe 2. Synthèse bibliographique sur différentes fabacées

	pH	Ensoleillement	Temperature	Pluviométrie annuelle (mm)	Type de sol préféré	Altitude	Annuelle/Perenne	Rdt moyen (t MS/ha/an)	Fauche/pature	VA	Vitesse	Association	Implantation
Lablab purpureus	Min: 4.5 Max: 7.5	Intolérant à l'ombrage fort et modéré	Min: 18 Max: 35 Tolérance aux faibles et fortes températures	Min: 650 Max: 2500-3000	Tolère: Nombreux types de sols, de sableux à très argileux quand le sol est bien drainant Sensible à la salinité et au sol trop peu drainant	De 0m à 2000m	Annuelle ou perenne à courte durée de vie (3ans maximum)	6	Fauche: Oui Pature: Sensible au pâturage fréquent, premier pâturage environ 10 semaines après semis		Rapide, peut fournir du fourrage en moins de 3 mois	<i>Sorghum</i> <i>Panicum maximum</i>	Profondeur de semi: 3-10cm
Desmodium intortum	Idéal: >5	Bonne tolérance à l'ombre	Idéale: 22-33	Min: 900 Max: >3000 Tolérance aux inondations et ruissellement	Idéal: fertile modérée Tolère: sol sableux, loam léger à moyennement argileux Intolérance à la salinité, forte concentration en Al et Mn	de 0 à 2500m	Pérenne	12 à 19	Pâture: sensible aux pâturages fréquents. T dr 3 à 12 semaines Fauchable	Teneur en protéine élevée 52 à 56% de digestibilité (in vitro) sur des jeunes repousses	Lent à germer Croissance vigoureuse et se répand rapidement	<i>Panicum maximum</i>	Préférable d'inoculer les graines avec des rhizobium. Sur-semis difficile à cause de la lente germination
Medicago sativa	Idéal : 6.5-7.5	Pleine lumière	Idéale: 25	Min: 200 Idéale : 600-1200 Max: 2500 Sensible aux inondations	Idéal: Sol profond et drainant, sableux à modérément argileux Sensible au sol trop peu drainant	De 0m à 2400m	Pérenne	16 à 20 (référence France et USA)	Fauche: Jusqu'à 12 par an Pature: Sensible, préférable en rotation avec 5 à 6 semaines de tdr	Taux de protéine et calcium élevée par rapport aux autres fourrages Energie métabolisable et taux de phosphore faible Taux de fibre faible		<i>Panicum maximum</i> <i>Chloris gayana</i>	Profondeur de semi: 1/1,5cm
Vigna unguiculata	Min: 4	Tolérance modérée à l'ombre	Idéale: 25-35	Idéale : 750-1100 Tolérance à la sécheresse Sensible à l'excès d'eau	Idéal: sol à texture lourde et alcalin Sensible à la salinité et au sol trop peu drainant	<2000m	Annuelle	Partie végétative: 3-10 en 8 à 12 semaines Grain: 0.25 à 4	Fauche: Oui Pature: sensible au piétinement et au pâturage trop fréquent	Forte valeur nutritive Protéine brute : 14-21% sur feuillage vert, 6-8% sur les résidus de culture et 18-26% sur les grains	Rapide		Semis à 3-5cm de profondeur. Germination rapide si l'humidité du sol et la température est bonne

"	pH	Ensoleillement	Temperature	Pluviométrie annuelle (mm)	Type de sol préféré	Altitude	Annuelle/Perenne	Rdt moyen (t MS/ha/an)	Fauche/pature	VA	Vitesse	Association	Implantation
Mucuna pruriens	Min: < 5 Max: 8	Pleine lumière	Idéale: 19-27	Min: 400 Idéale : 1000-2500 Tolérance à la sécheresse Sensible aux inondations	Idéal: sol drainant à texture faible légèrement acide Tolère: sols sableux à argileux	Ideal: 0m à 1600m	Annuelle, parfois bisannuelle	5 à 12		Protéine brute: 11-23% sur le feuillage, 20-35% pour le grain Composition en K, Mg, Ca et Fe élevée Digestibilité du feuillage 60-65%,	Rapide	Très vigoureux, à tendance à prendre le dessus sur les espèces associées	Ne nécessite pas un important travail du sol Semé à 3-7cm de profondeur en général
Stylosanthes gracilis	Min: 4 Max: 8.3	Pleine lumière	Min: 15 Idéale: 23-27	Min: 700 Idéale : 1000-2500 Max: 5000	Idéal: sol bien drainant, sols sableux à légèrement argileux Tolère: sols non fertiles Sensible à la salinité	De 0m à 2000m	Pérenne	5 à 20	Fauche : 2 à 3 mois d'intervalle Pature : Sensible au paturage fréquent (minimum 6 à 8 semaines après semis).	Protéine brute: 12-20% IVDMD: 52-60% 0.2-0.6% de phosphore, 0.6-1.6% de calcium		<i>Chloris gayana</i> <i>Brachiaria spp</i> <i>Panicum maximum</i>	Très facile Profondeur de semi: en surface, ne pas enterrer

Annexe 3. Disposition de l'ensemble des traitements sur la parcelle expérimentale



Annexe 4. Matériels pour le prélèvement et la détermination du rendement

- Cadre métallique carré de 0,5m de côté
- Balance de terrain
- Balance de laboratoire
- Étiquettes
- Sacs étanches et liens
- Glacière et pains de glace
- Sac de transport
- Cahier et stylo

Annexe 5. Matériels pour la détermination de la qualité alimentaire

- Broyeur
- Étuve
- Sécateur
- Spectrophotomètre
- Ordinateur

Annexe 6. Matériels pour la mesure de l'enherbement

- Cadre à trois segments de 0,5m de côté
- Décamètre
- Cahier et stylo

Annexe 7. Définitions et méthode pour l'identification des stades de végétations

Graminées fourragères et prairies permanentes au premier cycle de végétation

Stade « feuillu » : la base de l'épi de la graminée, ou des graminées les plus représentatives (prairies permanentes), est située dans la gaine à une hauteur inférieure à 7 cm au-dessus du plateau de tallage.

Stade « épi à 10 cm » ou stade « pâturage » (prairies permanentes) : la base de l'épi est située dans la gaine à une hauteur comprise entre 7 et 10 cm au-dessus du plateau de tallage.

Stade « début épiaison » : apparition des épis hors de la gaine ; en pratique, de 5 à 10 % des plantes examinées sur une ligne de 1 mètre ont leurs épis sortis de la gaine.

Stade « épiaison » : 50 % des plantes examinées sur une ligne de 1 mètre ont leurs épis sortis de la gaine.

Stade « fin épiaison » : 90 % des plantes examinées sur une ligne de 1 mètre ont leurs épis sortis de la gaine.

Stade « début floraison » : de 5 à 10 % des plantes ont leurs étamines sorties.

Stade « fin floraison » : la majeure partie des plantes ont leurs étamines sorties.

Légumineuses fourragères

Stade « végétatif » : absence totale de boutons floraux.

Stade « début bourgeonnement » : apparition des boutons floraux ; en pratique de 5 à 10 % des tiges examinées sur une ligne de 1 mètre ont des boutons floraux à leur extrémité.

Stade « bourgeonnement » : 50 % des tiges examinées sur une ligne de 1 mètre ont des boutons floraux à leur extrémité.

Stade « début floraison » : de 5 à 10 % des tiges examinées sur une ligne de 1 mètre ont au moins une fleur épanouie.

Formation des gousses (féveroles) : apparition des fructifications et début de la formation de la graine.

Stade « maturité de la graine » : la graine, bien ferme, devient difficile à couper avec l'ongle.

Annexe 8. Script R, travail préliminaire à l'analyse des données

Packages

```
Library(agricolae)
```

```
Library(GAD)
```

```
Library(ggplot2)
```

```
Library(RcmdR)
```

```
Library(Readxl)
```

Importer la base de données

```
donnees <- read_excel("C:/... /nomdufichier.xlsx")
```

Convertir certains facteurs quantitatifs en facteur qualitatif

```
donnees$date=as.factor(donnees$date)
```

```
donnees$poacee=as.factor(donnees$poacee)
```

```
donnees$fabacee=as.factor(donnees$fabacee)
```

```
donnees$block=as.factor(donnees$block)
```

Renommer les modalités des facteurs Poacée et Fabacée

```
levels(donnees$poacee) <- factor(c("B.decumbens", "C.gayana", "Témoins p-",  
"P.maximum"))
```

```
levels(donnees$fabacee) <- factor(c("D.intortum", "M.sativa", "Témoins f-", "S.gracilis"))
```

Créer les sous base de données

#1. Données par poacée

```
brachiaria <- subset(donnees, poacee == "B.decumbens")
```

```
chloris <- subset(donnees, poacee == "C.gayana")
```

```
panicum <- subset(donnees, poacee == "P.maximum")
```

#2. Données par fabacée

```
desmodium <- subset(donnees, fabacee == "D.intortum")
```

```
medicago <- subset(donnees, fabacee == "M.sativa")
```

```
stylosanthes <- subset(donnees, fabacee == "S.gracilis")
```

#3. Données par date de mesure

```
date1 <- subset(donnees, date == "1")
```

```
date2 <- subset(donnees, date == "2")
```

```
date3 <- subset(donnees, date == "3")
```

```
date4 <- subset(donnees, date == "4")
```

#4. Données par date de mesure et par espèce

```
chloris_date1 <- subset(chloris, date == "1")
```

```
desmodium_date2 <- subset(desmodium, date == "2")
```

```
...
```

Annexe 9. Script R, exemple de l'analyse des données de rendement

#1. Résumé des données de rendement en fonction du mélange considéré et de la date de mesure

```
numSummary(donnees[, "rendement"],  
groups=donnees$poacee:donnees$fabacee:donnees$date, statistics=c("mean", "sd"))
```

Ou

```
numSummary(donnees[, "rendement"],  
groups=donnees$fabacee:donnees$poacee:donnees$date, statistics=c("mean", "sd"))
```

#2. Représentation graphique des rendements moyens pour l'ensemble des mélanges

```
Graphique_Rendement <- ggplot(data=donnees, aes(x=date, y=rendement, color=fabacee,  
shape=poacee))
```

```
Graphique_Rendement +
```

```
facet_grid(poacee~fabacee) +
```

```
labs(x="Date", y="Rendement (Kg de MS/ha)", title="Rendement moyens des différents  
mélanges en fonction des dates de mesure") +
```

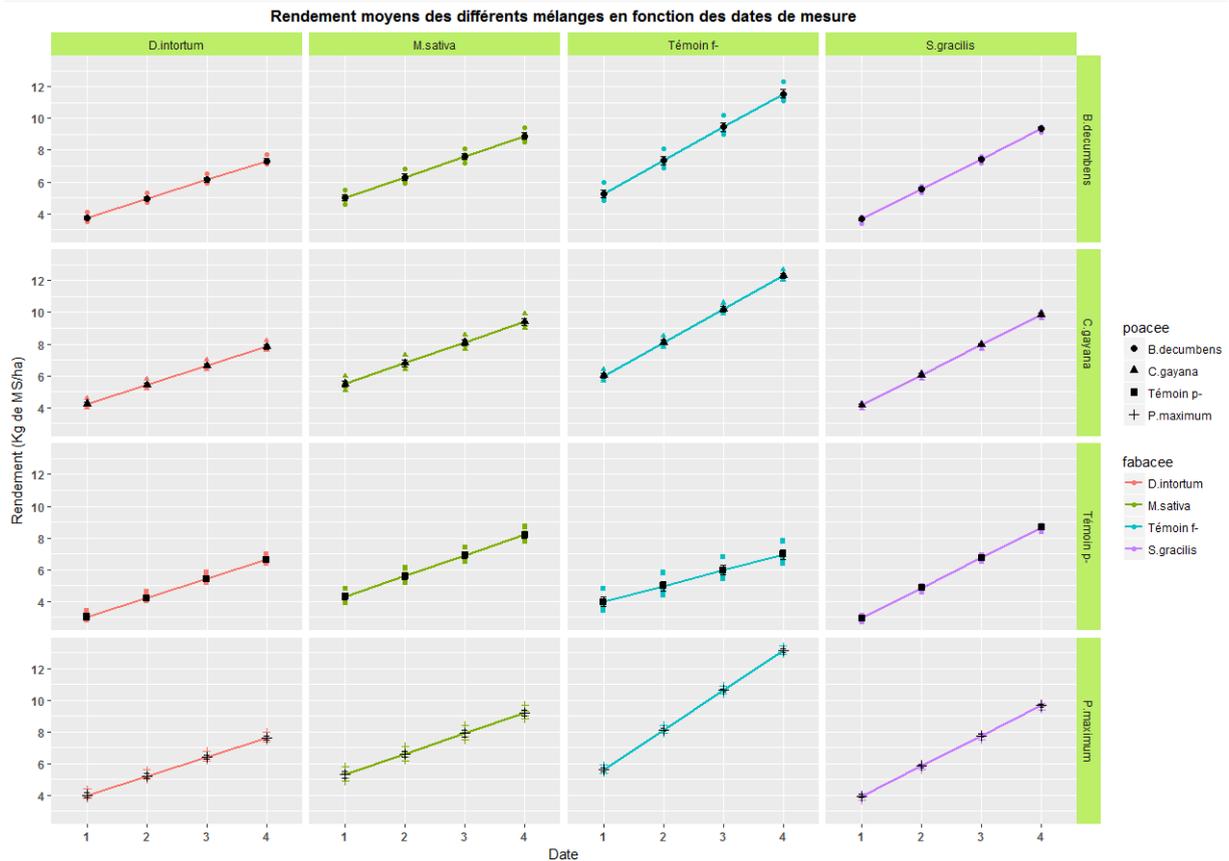
```
geom_point(size=1.5) +
```

```
stat_summary(aes(x=date, y=rendement), geom="errorbar", fun.data="mean_se",  
fun.args=list(mult=1), size=.5, color="black", width=.1) +
```

```
stat_summary(fun.y=mean, geom="line", size=1, group=1) +
```

```
stat_summary(fun.y = "mean", colour = "black", size = 2.2, geom = "point") +
```

```
theme(axis.text.x = element_text(face="bold"), axis.text.y = element_text(face="bold"),  
strip.background=element_rect(fill = "darkolivegreen2"), plot.title = element_text(hjust = 0.5,  
face = "bold"))
```



#3. Représentation graphique des rendements moyens pour les mélanges associés à une poacée donnée

```
Graphique_Rendement_Chloris <- ggplot(data=chloris, aes(x=date, y=rendement, =fabacee,
shape=poacee, group=interaction(poacee,fabacee)))
```

```
Graphique_Rendement_Chloris +
```

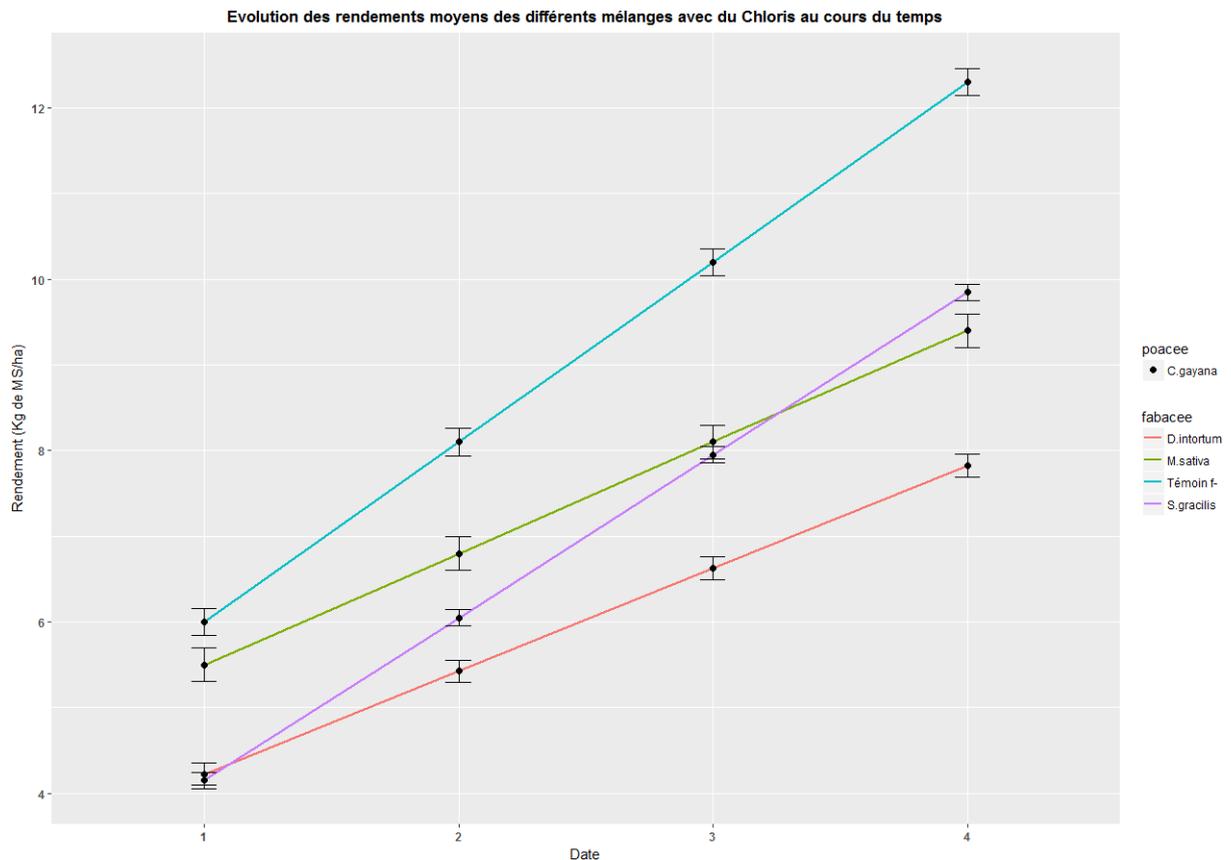
```
labs(x="Date", y="Rendement (Kg de MS/ha)", title="Evolution des rendements moyens des
différents mélanges avec du Chloris au cours du temps") +
```

```
stat_summary(fun.y=mean, geom="line", size=1) +
```

```
stat_summary(fun.y = "mean", colour = "black", size = 2.2, geom = "point") +
```

```
stat_summary(aes(x=date, y=rendement), geom="errorbar", fun.data="mean_se",
fun.args=list(mult=1), size=.5, color="black", width=.1) +
```

```
theme(axis.text.x = element_text(face="bold"), axis.text.y = element_text(face="bold"),
strip.background=element_rect(fill = "darkolivegreen2"), plot.title = element_text(hjust = 0.5,
face = "bold"))
```



#4. Analyse des données, exemple pour la première série de mesure (date 1)

#4.1 ANOVA

```
ANOVA_rendement <- aov(rendement ~ poacee*fabacee + block, data=date1)
summary(ANOVA_rendement)
```

#4.2. Vérifications des hypothèses relatives à l'utilisation de l'ANOVA

Normalité dans la distribution des résidus : `shapiro.test(ANOVA_rendement$residuals)`

Homoscedasticité : `LeveneTest(ANOVA_rendement)`

#4.3 Test de comparaisons multiples

```
Comparaison_date1 <- with(date1, interaction(poacee, fabacee))
```

```
ANOVA_comparaison <- aov(rendement ~ comparaison_date1, data=date1)
```

```
Test_HSD_Date1 <- HSD.test(modell1, "comparaison", group = T)
```

```
Test_HSD_Date1
```

Annexe 10. Résultats de fréquence spécifique

Mélange	Brachiaria	Stylosanthes	Adventices
BS	24,7	14,8	5,6
	25,3	5,6	20,4
	0,0	11,1	20,4
	11,4	1,9	13,0
Moyenne	15,3	8,3	14,8
Ecart-moyen	9,6	4,6	5,6

Mélange	Brachiaria	Medicago	Adventices
BM	41,4	5,6	11,1
	6,7	0,0	7,4
	10,3	0,0	7,4
	22,5	7,4	11,1
Moyenne	20,2	3,2	9,3
Ecart-moyen	11,7	3,2	1,9

Mélange	Brachiaria	Desmodium	Adventices
BD	41,4	14,8	7,4
	27,1	9,3	16,7
	21,4	11,1	5,6
	24,4	7,4	13,0
Moyenne	28,6	10,6	10,6
Ecart-moyen	6,4	2,3	4,2

Mélange	Brachiaria	Adventices
B	48,8	24,1
	32,7	16,7
	26,9	11,1
	31,8	18,5
Moyenne	35,0	17,6
Ecart-moyen	6,9	3,7

Mélange	Chloris	Stylosanthes	Adventices	Brachiaria
CS	3,7	11,1	75,9	59,3
	5,6	5,6	53,7	22,2
	7,4	14,8	79,6	57,4
	11,1	5,6	68,5	55,6
Moyenne	6,9	9,3	69,4	48,6
Ecart-moyen	2,3	3,7	8,3	13,2

Mélange	Chloris	Medicago	Adventices	Brachiaria
CM	0,0	5,6	68,5	61,1
	11,1	5,6	38,9	33,3
	16,7	5,6	79,6	75,9
	22,2	5,6	61,1	51,9
Moyenne	12,5	5,6	62,0	55,6
Ecart-moyen	6,9	0,0	12,0	13,0

Mélange	Chloris	Desmodium	Adventices	Brachiaria
CD	0,0	13,0	63,0	42,6
	3,7	3,7	83,3	72,2
	29,6	5,6	90,7	85,3
	14,8	7,4	66,7	55,6
Moyenne	12,0	7,4	75,9	63,9
Ecart-moyen	10,2	2,8	11,1	14,8

Mélange	Chloris	Adventices	Brachiaria
C	14,8	64,8	35,2
	16,7	53,7	33,3
	27,8	55,6	46,3
	33,3	87,0	72,2
Moyenne	23,1	65,3	46,8
Ecart-moyen	7,4	10,9	12,7

Mélange	Panicum	Stylosanthes	Adventices	Brachiaria
PS	0,0	11,1	68,5	35,2
	0,0	5,6	46,3	27,8
	0,0	3,7	64,8	53,7
	0,0	9,3	46,3	25,9
Moyenne	0,0	7,4	56,5	35,7
Ecart-moyen	0,0	2,8	10,2	9,0

	Panicum	Medicago	Adventices	Brachiaria
PM	0,0	5,6	72,2	61,1
	0,0	3,7	50,0	40,7
	0,0	0,0	87,0	72,2
	0,0	0,0	88,9	74,4
Moyenne	0,0	2,3	74,5	62,1
Ecart-moyen	0,0	2,3	13,4	11,2

	Panicum	Desmodium	Adventices	Brachiaria
PD	0,0	11,1	64,8	35,2
	0,0	0,0	79,6	68,5
	0,0	3,7	72,2	66,7
	0,0	9,3	79,6	59,3
Moyenne	0,0	6,0	74,1	57,4
Ecart-moyen	0,0	4,2	5,6	11,1

	Panicum	Adventices	Brachiaria
P	0,0	29,6	5,6
	0,0	17,9	13,0
	0,0	56,5	40,7
	0,0	83,3	59,3
Moyenne	0,0	46,8	29,7
Ecart-moyen	0,0	23,1	20,4

Mélange	Desmodium	Adventices	Brachiaria
D	24,1	83,3	75,9
	22,2	75,9	50
	20,4	81,5	75,9
	7,4	85,2	81,5
Moyenne	18,5	81,5	70,8
Ecart-moyen	5,6	2,8	10,4

	Medicago	Adventices	Brachiaria
M	3,7	85,2	77,8
	7,4	72,2	53,7
	3,7	85,2	70,4
	7,4	98,1	87
Moyenne	5,6	85,2	72,2
Ecart-moyen	1,9	6,5	10,2

	Stylosanthes	Adventices	Brachiaria
S	13,0	37,0	29,6
	18,5	74,1	42,6
	7,4	81,5	70,4
	11,1	70,4	53,7
Moyenne	12,5	65,7	49,1
Ecart-moyen	3,2	14,4	13,0

	Adventices	Brachiaria
T	90,7	51,9
	66,7	31,5
	37,0	27,8
	77,8	53,7
Moyenne	68,1	41,2
Ecart-moyen	16,2	11,6