# UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

## ÉCOLE DOCTORALE : SCIENCES DE LA VIE, DE LA SANTÉ ET DE L'ENVIRONNEMENT
## FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES

**Année :** 2021 **N° d'ordre :** 202123

## THÈSE DE DOCTORAT

Mention : **BIOLOGIE, PHYSIOLOGIE ET PATHOLOGIE VÉGÉTALES**

Spécialité : **Écologie et Agroforesterie**

# DYNAMIQUE SAISONNIERE ET INTERANNUELLE DE LA STRATE HERBACÉE DES PARCOURS SAHÉLIENS DU SENEGAL (CRZ-DAHRA, NORD-SÉNÉGAL)

Thèse présentée et soutenue publiquement le 13 novembre 2021 par

**Ousmane DIATTA**

devant le jury composé de

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Président :** | Kandioura | **NOBA** | Professeur titulaire | UCAD |
| **Rapporteurs :** | Mame Samba | **MBAYE** | Professeur titulaire | UCAD |
| | Oumar | **SY** | Professeur titulaire | UASZ |
| | Mbaye | **DIOP** | Maître de recherches | ISRA |
| **Examinateurs :** | Aboubacry | **KANE** | Maître de conférences | UCAD |
| | Simon | **TAUGOURDEAU** | Chargé de recherches | CIRAD |
| | Ousmane | **NDIAYE** | Chargé de recherches | ISRA |
| **Directeur de thèse :** | Daouda | **NGOM** | Professeur titulaire | UCAD |

# DÉDICACES

*A mon oncle Sidya DIATTA et sa femme Diané DIÉDHIOU.*

*A ma mère Sophie SAGNA.*

*A la mémoire de mon père Guèye, de ses frères Ousmane et Souleymane et de ma sœur Adama.*

# REMERCIEMENTS

À la fin de ces années de formation à la recherche, j'ai le devoir de remercier :

L'Université Assane Seck de Ziguinchor et l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar pour la formation reçue.

Les membres du comité de thèse qui n'ont ménagé aucun effort pour le bon déroulement de ce travail. Votre réactivité incessante m'a permis d'être toujours à jour sur le calendrier de cette thèse. Je ne pouvais espérer une meilleure équipe ! Il s'agit de :

Pr Daouda Ngom : vous n'avez pas hésité une seule fois à la proposition d'être mon directeur de thèse. Un directeur de thèse ouvert, disponible, rigoureux. Je sais ce que d'autres étudiants endurent avec leurs directeurs de thèse, donc un grand merci à vous.

Dr Ousmane Ndiaye : pour toutes les charges que vous avez dû supporter pour me mettre dans de bonnes conditions de travail. Entre encadrement, travail administratif, conseils… vous avez fait plus que votre rôle d'encadrant. Chez vous je me suis senti chez moi, merci.

Dr Simon Taugourdeau : pour tout ce que vous avez fait pour moi durant ces trois années et qui dépasse le seul cadre de cette thèse. Je pense aussi aux nombreuses séances de travail que nous avons eues dans votre bureau.

Dr Sékouna Diatta : pour avoir accepté de participer à mon encadrement en thèse après que vous m'ayez encadré en master.

Le président du jury, le Professeur Kandioura Noba pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Les membres du jury pour avoir accepté de juger ce travail et siéger au jury de soutenance. Je veux nommer Pr Mame Samba Mbaye, Pr Aboubacry Kane, Pr Oumar Sy, Dr Mbaye Diop, Pr Daouda Ngom, Dr Simon Taugourdeau et Dr Ousmane Ndiaye.

Les Universités de Copenhague et Lund qui ont financé les activités de cette thèse.

Le Groupe d'Intérêt Scientifique Pôle Pastoralisme et Zones Sèches (GIS-PPZS) qui m'a permis d'avoir un cadre de travail adéquat et m'a donné l'occasion de présenter mon travail lors de ses activités.

L'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) à travers le Centre de Recherches Zootechniques de Dahra pour l'accueil et aussi l'hospitalité et la collaboration de ses agents durant les années passées là-bas ; mais également le laboratoire de chimie du Laboratoire National d'Elevage et de Recherches Vétérinaires pour l'appui.

Le directeur du Centre de Recherches Zootechniques de Dahra Sidy Mamadou Bâ pour la diligence dont il a fait preuve pour que je puisse avancer rapidement.

Dr Paulo Salgado et monsieur Laurent Bonnal pour leur appui considérable dans les aspects de qualité fourragère surtout. Vous avez donné un vrai coup de pouce à mon travail qui commençait à stagner.

Les gens qui m'ont accompagné dans l'acquisition des données, particulièrement Pathé Lô et Mamadou Diémé (Papis) pour leur disponibilité et leurs sacrifices.

Les doctorants et stagiaires du PPZS pour les échanges et les bons moments passés ensemble mais également mes promotionnaires ; je pense à Antoine Diédhiou, Ange N'goran, Sandjiry Diop, Oumarou Baldé, Cofélas Fassinou…

Mesdames Fatima Dembélé, Mariama Diop, Messieurs Moustapha Dia et Mamadou Gassama du PPZS pour l'accompagnement.

Monsieur Abdoul Aziz Camara et Dr Jules Diouf de l'herbier du département de biologie végétale pour l'appui dans la reconnaissance floristique des échantillons récoltés.

Mon oncle Abdoulaye Goudiaby et sa femme Fatou Diatta, mes tuteurs à Dakar pour leur accueil et leur soutien.

Ma petite sœur Bintou Diatta (Mami) pour son assistance et son écoute permanentes et mes amis Papa Souleymane Sambou, Boubacar Diallo et Petit Jacob Diatta.

Toute la famille de Moussa Diatta et Niakéba Diémé.

# TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACES ..... i
REMERCIEMENTS ..... ii
TABLE DES MATIÈRES ..... 1
SIGLES ET ABREVIATIONS ..... 5
LISTE DES FIGURES ..... 7
LISTE DES TABLEAUX ..... 9
LISTE DES PHOTOS ..... 9
RESUME ..... 10
ABSTRACT ..... 11
Introduction générale ..... 12
Chapitre 1 ..... 15
SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE ..... 15
1.1 Définition de concepts et notions ..... 16
1.2 Les parcours sahéliens ..... 18
1.2.1 Flore et végétation sahélienne ..... 18
1.2.2 Climat, productivité et dynamique des parcours sahéliens ..... 19
1.2.3 Facteurs déterminants de la végétation du Sahel ..... 20
1.3 La qualité nutritionnelle des fourrages ..... 21
Chapitre 2 ..... 22
PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE ..... 22
2.1 Climat, topographie et végétation du Sahel ..... 23
2.1.1 Caractéristiques climatiques ..... 23
2.1.2 Topographie et végétation ..... 23
2.2 Le Ferlo : cadre physique et humain ..... 24
2.3 Site d'étude (le Centre de Recherches Zootechniques de Dahra) ..... 25
2.3.1 Situation géographique et administrative ..... 25
2.3.2 Historique du CRZ-Dahra ..... 25
2.3.3 Occupation du sol ..... 26
2.3.4 Matériel animal ..... 27
2.3.5 Paramètres climatiques ..... 28
2.3.6 Description des sols ..... 30
2.3.7 Les ressources en eau ..... 30
2.3.8 Le couvert végétal ..... 30
2.3.9 L'agriculture ..... 31
2.3.10 Le site pâturé et les tours à flux installées ..... 31

Chapitre 3 ..... 33
RÉPONSES DE LA STRATE HERBACÉE AUX FLUCTUATIONS DE LA PLUVIOMÉTRIE EN MILIEU PATURÉ DU CRZ-DAHRA ..... 33
Introduction ..... 34
3.1 Matériel et méthodes ..... 34
3.1.1 Dispositif de collecte des données dans le site pâturé ..... 34
3.1.2 Collecte des données ..... 35
3.1.3 Paramètres de la saison des pluies ..... 36
3.1.4 Paramètres de la phytomasse herbacée ..... 37
3.1.5 Analyses statistiques ..... 37
3.2 Résultats ..... 38
3.2.1 Dynamique interannuelle de la phytomasse herbacée ..... 38
3.2.2 Corrélation pluies-phytomasse ..... 39
3.2.3 Analyse en Composantes Principales pluies-phytomasse ..... 41
3.3 Discussion ..... 44
Conclusion ..... 47
Chapitre 4 ..... 48
DYNAMIQUE ANNUELLE DE LA PHYTOMASSE HERBACÉE DISPONIBLE ET DE LA QUALITÉ DES FOURRAGES EN MILIEUX PATURÉ ET MIS EN DÉFENS ..... 48
Introduction ..... 49
4.1 Matériel et méthodes ..... 50
4.1.1 Dispositif de collecte des données ..... 50
4.1.2 Collecte des données ..... 50
4.1.3 La spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) ..... 51
4.1.4 Analyses statistiques ..... 51
4.2 Résultats ..... 52
4.2.1 Phytomasse herbacée disponible au cours de l'année ..... 52
4.2.2 Phytomasse herbacée disponible en milieux pâturé et mis en défens ..... 53
4.2.3 Teneur en matière organique des fourrages au cours de l'année ..... 54
4.2.4 Digestibilité de la matière organique au cours de l'année ..... 55
4.2.5 Digestibilité de la matière organique en milieux pâturé et mis en défens ..... 56
4.2.6 Rendement en matière organique digestible des milieux pâturé et mis en défens 57
4.2.7 Rendement des pâturages en matière sèche, matière organique et matière organique digestible ..... 58
4.2.8 Production de lait permise par la phytomasse disponible au cours de l'année dans les parcours de Dahra ..... 59
4.3 Discussion ..... 60

Conclusion ..... 67
Chapitre 5 ..... 69
DYNAMIQUE EN SAISON DES PLUIES DE PARAMÈTRES STRUCTURAUX ET PHÉNOLOGIQUES DES HERBACÉES EN MILIEUX PATURÉ ET MIS EN DÉFENS ..... 69
Introduction ..... 70
5.1 Matériel et méthodes ..... 70
5.1.1 Dispositif de collecte des données ..... 70
5.1.2 Collecte des données ..... 71
5.1.3 Analyses statistiques ..... 71
5.2 Résultats ..... 71
5.2.1 Dynamique de la phénologie ..... 71
5.2.2 Phénologie en milieux pâturé et mis en défens ..... 72
5.2.3 Dynamique de la hauteur végétative ..... 74
5.2.4 Hauteur végétative en milieux pâturé et mis en défens ..... 75
5.2.5 Dynamique de la hauteur des inflorescences ..... 76
5.2.6 Hauteur des inflorescences en milieux pâturé et mis en défens ..... 76
5.2.7 Dynamique du recouvrement ..... 78
5.2.8 Recouvrement en milieux pâturé et mis en défens ..... 78
5.3 Discussion ..... 80
Conclusion ..... 83
Chapitre 6 ..... 84
DYNAMIQUE DE LA FLORE DU COUVERT HERBACÉ EN MILIEUX PATURÉ ET MIS EN DÉFENS ..... 84
Introduction ..... 85
6.1 Matériel et méthodes ..... 85
6.1.1 Dispositif de collecte des données ..... 85
6.1.2 Collecte des données ..... 86
6.1.3 Traitement des données ..... 86
6.2 Résultats ..... 86
6.2.1 Composition floristique et richesse spécifique du CRZ de Dahra ..... 86
6.2.2 Dominance des familles au cours du cycle de vie des herbacées ..... 89
6.2.3 Contribution des espèces au cours du cycle de vie des herbacées ..... 90
6.3 Discussion ..... 91
Conclusion ..... 92
Chapitre 7 ..... 93
DISCUSSION GÉNÉRALE ..... 93
Conclusion générale ..... 97

Perspectives..... 98
Références bibliographiques ..... 99
Annexes .....iv

# SIGLES ET ABREVIATIONS

**ACP :** Analyse en Composantes Principales

**ADF :** Fibres au Détergent Acide

**ADL :** Lignine au Détergent Acide (lignine)

**APG :** Angiosperm Phylogeny Group

**ARSM :** Association pour la Réinsertion Sociale des Militaires

**BV :** Biologie Végétale (département UCAD)

**BVP :** Bonne Valeur Pastorale

**CEP :** Coefficient d'Efficacité Pluviale

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

**CNAG :** Centre National d'Amélioration Génétique

**CRZ :** Centre de Recherches Zootechniques

**DMO :** Digestibilité de la Matière Organique

**FAO :** Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

**ISFAR :** Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale

**ISRA :** Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

**LAI :** Leaf Area Index (indice de surface foliaire)

**MM :** Millimètres

**MO :** Matière organique

**MOD :** Matière Organique Digestible

**MS :** Matière Sèche

**MVP :** Moyenne Valeur Pastorale

**NDF :** Fibres au Détergent Neutre

**PPZS :** Pôle Pastoralisme et Zones Sèches

**RGR :** Relative Growth Rate (taux de croissance relatif)

**RUE :** Rain Use Efficiency (efficience d'utilisation de la pluie)

**UASZ :** Université Assane Seck de Ziguinchor

**UBT :** Unité Bovine Tropicale

**UCAD :** Université Cheikh Anta Diop

**VPB :** Valeur Pastorale Brute

# LISTE DES FIGURES

**Figure 1 :** Situation géographique et administrative du CRZ de Dahra. 25
**Figure 2 :** Plan d'occupation du sol au CRZ de Dahra (Ndiaye, 2015). 27
**Figure 3** : Description des saisons des pluies des années de mesure (2018 et 2019). 29
**Figure 4** : Dispositif de suivi de la phytomasse herbacée (site pâturé). 35
**Figure 5 :** Dynamique interannuelle de la phytomasse herbacée de 2008 à 2018. 38
**Figure 6 :** Corrélation entre pluie et phytomasse herbacée sur toute la saison (a) et sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse (b). 40
**Figure 7 :** Cercle de corrélation entre pluie et paramètres de la phytomasse sur toute la saison (a) et sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse (b). 43
**Figure 8 :** Dispositif de collecte des données. 50
**Figure 9 :** Dynamique annuelle de la phytomasse dans le site pâturé en 2018 et 2019. 52
**Figure 10 :** Effets de la mise en défens sur la phytomasse herbacée disponible en 2018 (A) et 2019 (B). 53
**Figure 11 :** Dynamique de la teneur en matière organique (MO) de la matière sèche des fourrages en 2018 et en 2019. 54
**Figure 12 :** Dynamique de la digestibilité de la matière organique (DMO) en 2018 et en 2019. 55
**Figure 13 :** Effets de la mise en défens sur la digestibilité de la matière organique (DMO) en 2018 (A) et 2019 (B). 56
**Figure 14 :** Rendement des pâturages en matière organique digestible (MOD) entre un site pâturé (p) et un site mis en défens (d) en 2018 (A) et 2019 (B). 57
**Figure 15 :** Rendement des pâturages en matière sèche (MS), en matière organique (MO) et en matière organique digestible (MOD). 58
**Figure 16 :** Estimation de la production de lait à partir du rendement en matière sèche et de la valeur nutritionnelle des parcours de Dahra. 59
**Figure 17 :** Dynamique en saison des pluies de la phénologie des herbacées dans le site pâturé en 2018 et 2019. 72
**Figure 18 :** Effets de la mise en défens sur la phénologie. 73
**Figure 19 :** Dynamique en saison des pluies de la hauteur végétative dans le site pâturé en 2018 et 2019. 74
**Figure 20 :** Effets de la mise en défens sur la hauteur végétative en 2018 (A) et 2019 (B). 75

**Figure 21 :** Dynamique en saison des pluies de la hauteur des inflorescences dans le site pâturé en 2018 et 2019. 76
**Figure 22 :** Effets de la mise en défens sur la hauteur des inflorescences en 2018 (A) et 2019 (B). 77
**Figure 23 :** Dynamique en saison des pluies du recouvrement dans le site pâturé en 2018 et 2019. 78
**Figure 24 :** Effets de la mise en défens sur le recouvrement en 2018 (A) et 2019 (B). 79
**Figure 25 :** Dominance des familles au cours du cycle de vie des herbacées dans le site pâturé en 2018 et en 2019. 89
**Figure 26 :** Contribution des espèces au cours du cycle de production des herbacées dans le site pâturé en 2018 et 2019. 90

# LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 1 :** Données de référence sur la pluviosité et la productivité au Sahel. ..... 19
**Tableau 2 :** Coefficients de corrélation (rho) et p-value du test de corrélation de Spearman entre paramètres de la saison des pluies et paramètres de la phytomasse sur toute la saison. ..... 39
**Tableau 3 :** Coefficients de corrélation (rho) et p-value du test de corrélation de Spearman entre paramètres de la saison des pluies et paramètres de la phytomasse sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse. ..... 40
**Tableau 4 :** Qualité de représentation des variables de la saison des pluies sur les dimensions de l'ACP sur toute la saison. ..... 41
**Tableau 5 :** Qualité de représentation des variables de la saison des pluies sur les dimensions de l'ACP sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse. ..... 42
**Tableau 6 :** Composition floristique du tapis herbacé du CRZ-Dahra en 2018 et 2019. . 87
**Tableau 7:** Composition et diversité floristiques en milieux pâturé et mis en défens. .... 88

# LISTE DES PHOTOS

**Photo 1 :** Tour à flux pour mesurer des aspects météorologiques (source : Ousmane Diatta, 2020). ..... 32
**Photo 2 :** Tour à flux pour mesurer des aspects liés à la végétation (source : Ousmane Diatta, 2020). ..... 32

## RESUME

**Auteur :** Ousmane DIATTA
**Année :** 2021
**Université :** Université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal)
**Titre :** Dynamique saisonnière et interannuelle de la strate herbacée des parcours sahéliens du Sénégal (CRZ-Dahra, Nord-Sénégal).

Au Sahel, la phytomasse herbacée élaborée durant la saison des pluies n'est disponible que durant une courte période après la fin de la saison des pluies. Cela fait que vers la fin de la saison sèche les éleveurs peinent à trouver suffisamment de fourrage pour nourrir leur bétail (environ 300 millions de têtes). Un tel contexte nécessite des connaissances écologiques solides pour aider à la gestion des ressources naturelles fourragères. L'objectif général est de mieux comprendre la dynamique des écosystèmes sahéliens afin de mieux prendre en charge la question de la sécurité alimentaire animale. Le Ferlo, dans le domaine sahélien sénégalais, est une zone à activité pastorale dominante. Des données collectées dans un site pâturé sur onze ans, complétées par d'autres collectées en deux ans dans le même site pâturé et un site mis en défens en saison des pluies ont été utilisées. L'analyse en composantes principales, les tests de Student et de Spearman ont été utilisés. L'indice de Shannon-Weaver a été utilisé pour apprécier la diversité spécifique. Les résultats ont montré plus de liens entre paramètres de pluie et de phytomasse sur la période qui va du début de la saison à l'apparition des pics de phytomasse. L'efficience d'utilisation de la pluie à Dahra varie de 4,8 à 12,8 $kg.mm^{-1}.ha^{-1}$. Le cycle de vie des herbacées au cours des années montre une phase où la phytomasse est faible, une de croissance jusqu'au pic et une dernière de décroissance. Le rendement moyen annuel est de 2587 kg $MS.ha^{-1}$. Cette matière sèche est de meilleure qualité nutritionnelle en saison des pluies et en milieu pâturé. En saison des pluies, cette matière sèche permettrait de nourrir tous les 10 jours 9 vaches de 250 kg de poids vif qui produiraient 84 litres de lait par ha en moyenne. La flore est riche de 61 espèces appartenant à 47 genres et 22 familles botaniques dominées par la rubiaceae *Diodella sarmentosa*. L'indice de Shannon-Weaver avoisine 3 bits. Les espèces dominantes sont *Diodella sarmentosa*, *Zornia glochidiata*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Mitracarpus hirtus* et *Enteropogon prieurii*. La hauteur végétative (31 cm) et la hauteur des inflorescences (36 cm) atteignent leur maximum en octobre. La floraison commence dès mi-juillet et est maximale en début octobre. Le recouvrement maximal (60%) est atteint en fin septembre et le maximum de phytomasse est atteint en octobre. Le rendement de matière sèche a peu varié entre l'année de saison des pluies précoce et celle de saison plus tardive en milieu pâturé. Le pic de phytomasse est plus précoce et plus faible en année de saison tardive. En milieu mis en défens, le rendement de phytomasse et la hauteur des pâturages sont plus importants en année de saison tardive. Le recouvrement se situe au même niveau tandis que la floraison, la fructification et la sénescence sont plus précoces en année de pluies tardives. La pâture baisse le recouvrement, la hauteur, la phytomasse des parcours et provoque une précocité de la floraison.


**Mots clés :** phytomasse, qualité, fourrage, dynamique, pluie, Ferlo, Sahel.

## ABSTRACT

**Author:** Ousmane DIATTA
**Year:** 2021
**University:** Cheikh Anta Diop University of Dakar (Senegal)
**Title:** Seasonnal and interannual dynamics of herbaceous stratum in the sahelian rangelands of Senegal (CRZ-Dahra, North-Senegal).

In the Sahel, the herbaceous phytomass produced during the rainy season is only available for a short period after the end of the rainy season. As a result, towards the end of the dry season, livestock keepers struggle to find enough forage to feed their livestock (approximately 300 million head). Such a context requires solid ecological knowledge to assist in the management of natural forage resources. The general objective is to better understand the dynamics of Sahelian ecosystems in order to better address the issue of animal food security. The Ferlo, in the Sahelian domain of Senegal, is an area with dominant pastoral activity. Data collected in a grazed site over eleven years, complemented by data collected in two years in the same grazed site and in a fenced site during the rainy season were used. Principal component analysis, Student and Spearman tests were used. The Shannon-Weaver index was used to assess species diversity. The results showed more relationships between rainfall and phytomass parameters over the period from the beginning of the season to the phytomass peak period. The rainfall use efficiency at Dahra varied from 4.8 to 12.8 $kg.mm^{-1}.ha^{-1}$. The life cycle of grasses over the years shows a phase where the amount of phytomass is low, a phase of growth until the peak and a last phase of decline. The average annual yield is 2587 $kgDM.ha^{-1}$. This dry matter is of better nutritional quality in the rainy season and under grazing conditions. In the rainy season, this dry matter would allow to feed 9 cows of 250 kg live weight each, every 10 days, which would produce 84 liters of milk per ha, on average. The flora is rich in 61 species belonging to 47 genera and 22 botanical families dominated by the rubiaceae *Diodella sarmentosa*. The Shannon-Weaver index is around 3 bits. The dominant species are *Diodella sarmentosa*, *Zornia glochidiata*, *Alysicarpus ovalifolius*, *Mitracarpus hirtus* and *Enteropogon prieurii*. The vegetative height (31 cm) and the inflorescences height (36 cm) reach their maximum in October. The flowering begins from mid-July and is maximum in the beginning of October. The maximum coverage (60%) is reached at the end of September and the maximum phytomass is reached in October. Dry matter yield varied little between the early and late rainy season years under grazed conditions. Phytomass peak was earlier and lower in the late rainy season year. In fenced areas, phytomass yield and pasture height are greater in late rainy season years. The coverage is at the same level while flowering, fruiting and senescence are earlier in late rainy season years. Grazing decreases the coverage, height and amount of phytomass in the rangelands and causes earlier flowering.


**Keywords:** phytomass, quality, forage, dynamics, rain, Ferlo, Sahel.

# Introduction générale

## Problématique et justification

Le Sahel est une entité biogéographique caractérisée par son climat tropical aride à semi-aride, contrôlé par la mousson du golfe de Guinée et l'harmattan (alizé) saharien. La région s'étend sur près de 6000 km des côtes atlantiques de la Mauritanie et du Sénégal à l'ouest, à celles de la Mer Rouge au Soudan à l'est. Elle est large de 400 à 600 km des confins sud du Sahara aux savanes, forêts claires et parcs agraires de la zone soudanienne (Hiernaux et Le Houérou, 2006). Cette zone a une étendue d'environ 3 millions km$^2$ (Le Houérou, 1989) et environ un quart des superficies du Sénégal, de la Mauritanie, du Mali, du Niger, du Burkina Faso et du Tchad s'y trouve.

Le régime des précipitations est soumis à une très forte variabilité spatiale avec un fort gradient nord (sec)-sud (humide) en moyenne climatique (Le Barbé et Lebel, 1997). La zone est en effet délimitée par les isohyètes 100 et 600 millimètres (mm) et les pluies sont reçues entre juillet et octobre (Le Houerou, 1989). Les sols de l'Afrique subsaharienne, sauf quelques exceptions en zones de montagne, sont majoritairement des sols pauvres peu structurés. Les sols ferralitiques tropicaux avec une forte proportion de sable caractérisent les zones semi-arides et arides du Sahel ; ils sont fragiles et sujets à l'érosion hydrique et éolienne (Descroix *et al.*, 2012).

L'irrégularité spatio-temporelle des pluies, combinée à la pauvreté des sols, induisent une végétation constituée d'une strate herbacée en majorité composée de plantes annuelles et d'une strate ligneuse peu dense dominée par des épineux (Diawara *et al.*, 2018). Cette végétation est quasi exclusivement utilisée comme fourrage par le bétail. Les caractères de ce fourrage (quantité et qualité) changent au cours des saisons et d'un endroit à l'autre (Cissé, 1986) comme pour la pluie et le rendement de phytomasse.

Au Sahel, le cheptel est constitué d'environ 292 726 136 têtes pour les ânes, les chevaux, les bovins, les ovins, les caprins et les camélidés (FAO, 2018) ; faisant de l'élevage l'activité principale de la population.

Au Sénégal, la zone appelée Ferlo constitue l'une des zones écogéographiques les plus vastes du pays et se situe dans le domaine sahélien Sénégalais (Ndiaye, 2015). Dans le nord du Sénégal, il est localisé entre 15° et 16°30 nord et entre 15° et 13° ouest. Cette région est une zone de steppes dominées par des graminées annuelles parsemées de

ligneux à épines typiques du domaine Sahélo-Soudanien (400-600 mm de pluie moyenne annuelle). La pluviométrie montre un gradient nord-sud allant de moins de 200 mm à environ 500 mm par an. Les sols sont de type dunaire sablo-limoneux à l'ouest et argilo-limoneux gravillonnaire sur cuirasse à l'est. Cette zone abrite un important cheptel de ruminants conduit selon le mode d'élevage extensif par les éleveurs (Diouf *et al*., 2005).

Le pastoralisme constitue donc au Sénégal, le principal système de production animale (ruminants) tout en étant un mode de vie caractérisé par la mobilité et l'utilisation des ressources naturelles (Wane, 2006). Durant la saison des pluies les animaux sont conduits dans les pâturages herbacés, mais en fin de saison sèche (mars-juin) les ressources herbagères deviennent rares et pauvres sur le plan nutritionnel poussant les bergers à se tourner vers les ligneux fourragers pour assurer l'alimentation de leur bétail (Ngom, 2008). Les résidus agricoles sont également utilisés par le bétail après les récoltes. L'agriculture, associée ou non à l'élevage, est marginale au nord mais se développe rapidement au sud en réponse à la saturation du bassin arachidier (Diouf *et al*., 2005).

Les ressources fourragères, aussi bien herbacées que ligneuses, sont donc indispensables pour le secteur de l'élevage au Sénégal et notamment au Ferlo où il est la principale activité socio-économique des populations (Ngom, 2008 ; Ndiaye, 2013).

Cependant, les effets de la pâture sur la dynamique de la phytomasse herbacée ont fait l'objet de peu d'études au Sahel (Diawara *et al*., 2018), avec comme corollaire une mauvaise compréhension de la dynamique de cette phytomasse durant la saison des pluies (Taugourdeau *et al*., 2017) et en saison sèche.

C'est dans ce cadre que s'inscrivent ces travaux de recherche qui visent à contribuer à une meilleure connaissance des parcours sahéliens, précisément la dynamique de la phytomasse herbacée disponible et sa qualité nutritionnelle durant la saison des pluies et la saison sèche en abordant aussi les effets de la pâture et de la pluviométrie sur cette dynamique.

## Objectifs et questions de recherche

Cette étude vise à mieux comprendre la dynamique des écosystèmes sahéliens afin de mieux prendre en charge la question de la sécurité alimentaire animale.

Les objectifs spécifiques sont de :

- Déterminer la réponse de la phytomasse herbacée à la fluctuation de la pluviométrie ;
- Caractériser la dynamique de la flore, des paramètres structuraux, phénologiques, de phytomasse disponible et sa qualité nutritionnelle ;
- Évaluer les effets de la pluviométrie et de la pâture sur les paramètres suivis.

Avec ces objectifs, nous tenterons de répondre aux questions suivantes :

- Les pluies après le pic de phytomasse sont-elles utiles pour la production des herbacées ?
- Comment évoluent au cours de l'année la phytomasse herbacée disponible et sa qualité nutritionnelle, la structure et la phénologie des herbacées ?
- Quels sont les effets de la fluctuation de paramètres pluviométriques et de la pâture sur la strate herbacée ?

Le mémoire est structuré en 7 chapitres dont le premier est une synthèse bibliographique sur le thème étudié et le deuxième présente les caractéristiques biophysiques et socio-économiques de la zone d'étude. Au troisième chapitre est mise en évidence la réponse de la strate herbacée à la fluctuation de la pluviométrie. La dynamique de phytomasse herbacée disponible et sa qualité nutritionnelle sont traitées au chapitre 4. Les paramètres structuraux et phénologiques des herbacées sont présentés au chapitre 5. Les aspects liés à la flore sont traités au chapitre 6. Le chapitre 7 fait une analyse globale des résultats.

**Chapitre 1**

# SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1.1 Définition de concepts et notions

**Phytomasse**

Terme désignant, comme le mot biomasse, la masse totale de matière vivante présente à un niveau trophique donné dans un écosystème ou correspondant à celle de la population d'une espèce donnée dans une communauté (Ramade, 2008).

**Dynamique**

Le terme « dynamique » désigne une transformation endogène ou exogène provoquant des modifications adaptatives dans un système écologique (Ramade, 2008).

**Pastoralisme**

Le terme se réfère aux modes de conduite des troupeaux sur pâturage naturel, et donc, aux systèmes où l'élevage est pratiqué de manière extensive avec peu ou pas de complémentation et sans pratique de cultures fourragères. Il concerne des troupeaux composés de différentes espèces (bovins, ovins, caprins, camelins, ânes, chevaux) ou monospécifiques. Il se caractérise par son mode d'alimentation reposant sur une utilisation extensive des pâturages naturels et nécessitant des déplacements d'amplitude variable (Wane, 2006).

**Eleveur transhumant**

Lorsqu'en plus du pastoralisme, certains éleveurs se déplacent avec leur bétail sur des distances courtes à moyennes (à l'intérieur de la communauté) ou longues (entre régions) à la recherche de pâturage disponible, ceux-ci sont appelés transhumants.

**Effet**

C'est ce qui est produit par une cause ; la conséquence, le résultat, la suite. En matière de perturbation, on parle d'effet lorsque la perturbation induit une modification de comportement ne conduisant pas à une augmentation de la mortalité de l'individu et de sa progéniture. L'effet sera dit significatif et devient synonyme d'impact, dans le cas contraire selon Triplet (2015).

**Fourrage**

Désigne les divers végétaux cultivés ou naturels qui servent de nourriture aux herbivores d'après Ramade (1993). C'est la matière végétale constituée par la partie aérienne de certaines plantes servant d'alimentation aux animaux (Larousse).

**Matière organique**

En biologie, la matière organique est l'ensemble des matières issues des êtres vivants et de leur décomposition. Sa partie digestible permet de fournir de l'énergie à son consommateur (Seck, 1993), laquelle énergie lui permet de satisfaire ses besoins d'entretien et de production. Dans notre contexte, il s'agit de la matière organique des végétaux.

**Mise en défens**

La mise en défens se rapporte à l'acte de protéger un espace face à une menace ou une dégradation (pâture, fréquentation...). Elle constitue un mode de restauration passive fondé sur la résilience des habitats. Le cas échéant, elle vient compléter des techniques de restauration actives (semis, transplantation de mottes, reprofilage de dune…) selon Bioret *et al*., (2009).

**Steppe**

La steppe est une végétation formée essentiellement de plantes herbacées annuelles de petite taille (graminées surtout) avec quelques graminées vivaces (pérennes) dispersées et des plantes ligneuses (Penning de Vries et Djitèye, 1982).

**Savane**

La savane est une formation herbeuse comportant une strate herbacée supérieure continue d'au moins 80 cm de hauteur (Penning de Vries et Djitèye, 1982), parsemée d'arbres et d'arbustes.

**Qualité nutritionnelle (d'un fourrage)**

La valeur alimentaire mesure l'aptitude d'un aliment à couvrir les besoins nutritionnels liés à l'entretien de l'animal (fonctions vitales) et aux productions. Ses multiples critères d'appréciation sont relatifs aux besoins en énergie, protéines, minéraux, vitamines etc. Les fourrages de bonne qualité présentent un taux élevé de substances nutritives, ingérées dans une large mesure par le ruminant ; l'inverse est vrai pour les fourrages de mauvaise qualité (Ketelaars, 1991). La valeur alimentaire d'un fourrage associe donc sa valeur nutritive qui traduit sa concentration en nutriments et son aptitude à être ingéré (Roberge et Toutain, 1999).

**Capacité de charge**

Parfois charge animale ou charge dans ce document, elle renvoie à l'intensité de perturbation qu'un écosystème est capable de supporter sans se dégrader durablement. La notion de capacité de charge est également utilisée dans le domaine du pastoralisme. La capacité de charge d'un pâturage est le nombre d'Unités de Bétail Tropical (UBT) qu'on peut y faire vivre de manière durable. Pour son évaluation, on part généralement de l'hypothèse que le bétail a besoin d'ingérer chaque jour la matière sèche correspondant à 2,5% de son poids vif. Ainsi, pour une UBT de 250 kg, ce sont 6,25 kg de matière sèche par jour qui sont nécessaires (Baumer, 1997; Ngom, 2013). Comme outil de gestion, le concept de capacité de charge implique une maîtrise parfaite des paramètres de production, notamment pour l'alimentation du bétail. Or, l'extrême variabilité des ressources en milieu sahélien ne peut autoriser une telle maîtrise, et donc, l'instauration d'équilibres durables (Thébaud *et al*., 1995).

## 1.2 Les parcours sahéliens

### 1.2.1 *Flore et végétation sahélienne*

Dans leur description de la végétation du Ferlo, Bille et Poupon (1974) indiquent que la majorité des plantes herbacées effectuent leur cycle de végétation en deux à trois mois en raison du climat subdésertique. La flore est pauvre (presque que des thérophytes) et comporte environ deux tiers de plantes annuelles. Les graminées constituent un tiers des espèces et certaines d'entre elles sont rares ou ne croissent que certaines années. Il existe aussi un certain étagement des dates de fructification des plantes herbacées, à la fois entre des espèces différentes et à l'intérieur d'une même espèce. Néanmoins, il ne faut pas perdre de vue le fait que toutes les espèces ont un cycle court.

Les types de végétation ont été décrits par Penning de Vries et Djitèye (1982). Savanes et steppes sont présentes sous diverses variantes mais aussi des prairies aquatiques se situent souvent aux alentours des grands fleuves tels que le Niger et le Sénégal. Le Sahel est cependant la zone des steppes à épineux.

Concernant la flore, les espèces végétales rencontrées au Sahel présentent des caractères hautement adaptés à l'aridité du milieu et à la brièveté de la période humide. La biologie des plantes est caractéristique de la périodicité très marquée de la végétation. Les adaptations sont de plusieurs ordres : chute des feuilles ou de tout l'appareil végétatif

aérien, modifications morphologiques et anatomiques, développement du système racinaire, réduction du cycle de développement.

Traitant de la variation de la composition floristique entre 1964 et 2011 à Dahra, Ndiaye (2015) signale une baisse significative de la richesse spécifique en 2011. L'indice de similarité de Jaccard a révélé une faible similitude de la flore de la station du CRZ pour ces deux périodes. L'auteur trouve que les graminées et les légumineuses sont les groupes dominants en ce qui concerne la contribution des types morphobiologiques au recouvrement à Dahra. Les courbes de fréquence des espèces de 1964 et 2011 révèlent une hétérogénéité du milieu. L'indice de diversité de Shannon et l'indice de régularité de Pielou révèlent une diversité plus importante en 1964 comparée à 2011. La régularité nous indique une bonne représentation des espèces rencontrées dans la station pour les deux périodes confirmant l'hétérogénéité de cet écosystème.

### 1.2.2 *Climat, productivité et dynamique des parcours sahéliens*

Barral *et al*., (1983) ont étudié la variabilité de la production herbacée au fil des années et celle du couvert ligneux pour voir la situation après les aménagements en hydraulique pastorale au Ferlo. Concernant le couvert herbacé, des espèces à affinités soudaniennes (zone plus humide) semblent avoir régressé. Certaines espèces se sont réfugiées dans des zones plus favorables et pourraient recoloniser le terrain perdu tandis que d'autres plutôt saharo-sahéliennes semblent avoir profité de la sècheresse.

La production des pâturages herbacés a été étudiée par plusieurs auteurs (Akpo, 1990 ; Boutrais, 1994 ; Tracol, 2004 ; Bechir et Mopate, 2015 ; Khalid *et al.,* 2015 ; Ndiaye *et al.,* 2015b). La plupart rappelle que la disponibilité du fourrage varie dans le temps et dans l'espace et qu'elle est tributaire de la pluviosité et du type de sol.

Le Tableau 1 est une synthèse des conclusions de Boudet (1975) sur la productivité de la phytomasse au Sahel.

**Tableau 1 :** Données de référence sur la pluviosité et la productivité au Sahel.

| Zones | Pluviosité (mm) | Productivité moyenne annuelle (kg. ha$^{-1}$) | Type de sol |
|---|---|---|---|
| Sahel subdésertique | <200 | 400 | Dune de sable |
| | | 500 | Pénéplaine sableuse et limoneuse |
| Sahel type | 200-400 | 1000 | Dune |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 2000-3000 | Creux inter dunaires |
| Bordure sahélo-soudanienne | 400-600 | 1500 | Dunes |

Il existe cependant d'autres subdivisions du Sahel avec des zones nommées différemment parfois, rendant de ce fait les frontières du Sahel imprécises. En témoigne la subdivision en climats saharo-sahélien (100-200 mm de pluviosité moyenne annuelle), sahélien (200-400 mm) et soudano-sahélien (400-600 mm), avec aux marges deux zones intermédiaires sahélo-soudanienne (600-800 mm) et saharo-sahélienne (50-150 mm) faite par Le Houerou (1989).

Concernant la production nette réelle, Bille et Poupon (1974) donnent les valeurs 349 $kg.ha^{-1}$ en août ; 391 $kg.ha^{-1}$ en septembre et 76 $kg.ha^{-1}$ en octobre soit 816 $kg.ha^{-1}$ en 1970 dans le Sahel sénégalais.

Ndiaye (2015) qui comparait la phytomasse herbacée à Dahra indique une baisse significative de 860 $kg.ha^{-1}$ en 2011 par rapport à 1964.

Les travaux de Le Houerou et Hoste (1977) concernant une synthèse de l'ensemble des données disponibles pour les pays sahéliens indiquent qu'en zone sahélienne et soudanienne, chaque millimètre de pluie produit environ 2 kg de matière sèche consommable par hectare.

### 1.2.3 *Facteurs déterminants de la végétation du Sahel*

Penning de Vries et Djitèye (1982) ont établi les facteurs déterminants de la végétation du Sahel à savoir la pluviosité, le substrat et la topographie et l'exploitation :

**La pluviosité**, facteur climatique principal, est utilisée pour définir les zones climatiques et corrélativement les zones de végétation. Ces zones de végétation orientées est-ouest se superposent au gradient pluviométrique nord-sud. Barral *et al.*, (1983) constatent une corrélation plus forte entre pluie utile et production ($R^2$=0,8 au moins) qu'entre pluie saisonnière et production ($R^2$=0,5). Ndiaye (2015) note une corrélation positive entre phytomasse herbacée et pluviosité avec un coefficient de corrélation égal à 0,62. Pour ce qui est de la dynamique de la phytomasse, Penning de Vries et Djitèye (1982) notent une considération de la végétation d'un point de vue statique dans les descriptions précédentes et rappellent cependant qu'elle a subi des variations très importantes qui sont dues à la pluviosité et à l'exploitation par le bétail. L'importance et la répartition des

pluies, la durée de la période pendant laquelle la régularité des pluies permet une croissance continue des herbes ainsi que l'exploitation par le bétail semblent influencer l'évolution de la végétation.

**Le substrat et la topographie** influencent fortement l'action de la pluviosité. Les dunes, mais surtout les affleurements rocheux et les cuirasses fossiles forment les parties élevées alors que les dépressions argilo-limoneuses forment les parties basses. Entre ces deux extrêmes s'étalent des pentes dont le sol a une texture limoneuse ou sablo-limoneuse. La topographie et la texture du sol conditionnent la quantité d'eau en fin de compte disponible pour l'activité de la végétation.

**L'exploitation des pâturages :** la pression exercée par l'homme sur les ressources végétales est certainement le facteur d'évolution le plus déterminant au Sahel. L'homme détruit la végétation spontanée pour installer des zones de culture et ces zones s'étendent rapidement. Le nord-Sahel est considéré comme une zone à vocation pastorale en raison des aléas que l'agriculture y rencontre. La pression de pâture est très forte là où l'eau d'abreuvement ne fait pas défaut.

## 1.3 La qualité nutritionnelle des fourrages

L'influence de l'alimentation s'étend à chaque aspect de la productivité bovine : vitesse de croissance, fécondité, production de lait et mortalité (Breman et Ridder, 1991). Selon Ndiaye (2015) dont l'étude a été faite au CRZ de Dahra, la dynamique de la valeur pastorale indique que la valeur pastorale brute (VPB) du couvert herbacé varie entre 57,8% (1979) et 76% (1981). La variation de l'indice spécifique de qualité indique une prédominance des espèces à moyenne valeur pastorale (MVP) suivies par celles de bonne valeur pastorale (BVP) et de faible valeur pastorale de 1975 à 1981. Ngom *et al*., (2012) traitant de la qualité pastorale des ressources herbagères de la réserve de biosphère du Ferlo ont trouvé une valeur pastorale brute de 67,2%. Akpo et Grouzis (2000) précisent qu'au nord du Sénégal, les espèces de bonne valeur pastorale sont rares sous l'arbre ou contribuent très faiblement au tapis herbacé lorsqu'elles existent et que l'indice global de qualité des parcours est nettement plus élevé dans les milieux découverts que sous couvert en raison de la large dominance des graminées.

**Chapitre 2**

# PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

## 2.1 Climat, topographie et végétation du Sahel

### 2.1.1 *Caractéristiques climatiques*

La pluviosité moyenne au Sahel varie de 100 mm à la frontière du désert à 600 mm à la limite sud du Sahel en contact avec la zone soudanienne (Le Houerou, 1980) ; inférieure à 500 millimètres selon Poupon (1980). Le Sahel est probablement la grande zone écologique au monde dont la température moyenne annuelle est la plus élevée (28-30 °C). Elle y est très voisine de celle du Sahara méridional (Hiernaux et Le Houérou, 2006). La moyenne annuelle minimale étant entre 18 et 20 °C et la moyenne maximale entre 35 et 38 °C (Le Houerou, 1989). Les pâturages recevant entre 200 et 450 mm de pluviosité annuelle sont traditionnellement exploités par la transhumance (Boudet, 1972).

Les études d'évapotranspiration en zone sahélienne ont montré qu'elle peut être assez variable d'une année à l'autre dans une même station mais que cette variation se produit surtout pendant la période humide suivant l'abondance ou la rareté des pluies. Elle croît vers le nord en même temps que les précipitations décroissent.

### 2.1.2 *Topographie et végétation*

Le Sahel présente du point de vue topographique une succession de dunes de sable et de dépressions limono-argileuses séparées par des pentes faibles et des pénéplaines sableuses ou limoneuses (Penning de Vries et Djitèye, 1982).

Les formations de savanes, brousses et steppes sont caractéristiques des régions influencées par les climats sahéliens et soudaniens. Ces climats singularisés par leur saison sèche de longue durée induisent ces formations qui se sont adaptées à la sévérité des conditions climatiques. Ces paysages sont très diversifiés, de la steppe arbustive à la steppe boisée, il en va de même pour les paysages de savanes (Ruster, 2009). Le Sahel est le domaine des steppes à épineux. Vers le sud, en zone soudano-sahélienne et soudanienne, la savane remplace la steppe. La savane est essentiellement le domaine des graminées vivaces de grande taille parsemé d'arbres et d'arbustes (Penning de Vries et Djitèye, 1982). La savane arbustive-arborée, et la steppe arbustive-arborée y sont les principales classes de végétation majoritaires d'après Cissé *et al*., (2015). La végétation sahélienne se caractérise donc par une forte hétérogénéité. Les facteurs déterminant cette hétérogénéité relèvent essentiellement de l'eau d'une part et d'autre part de facteurs liés surtout à l'action des troupeaux en raison de l'importance dans cette zone des activités

pastorales (Akpo *et al.*, 1995). La végétation au Sahel est constituée d'une strate herbacée principalement composée de plantes annuelles et d'une strate ligneuse peu dense dominée par des épineux (Diawara *et al.*, 2018). Selon Penning de Vries et Djitèye (1982), la végétation sahélienne se diversifie en fonction des variations topographiques observées. Les dunes de sable à faible pouvoir de rétention et les pentes au niveau desquelles le ruissellement est important ont une végétation ouverte. La strate ligneuse est moins développée, tandis que la strate herbacée peut être importante sur sable. Les ligneux forment des peuplements parfois denses dans les dépressions. Des graminées pérennes y sont également rencontrées.

## 2.2 Le Ferlo : cadre physique et humain

Le Ferlo encore appelé zone sylvopastorale est la plus vaste des six zones agroécologiques du Sénégal. Dans le nord du pays, il est localisé entre 15° et 16°30 nord et entre 15° et 13° ouest. Il couvre d'après Gueye (2002) une superficie de 54380 km$^2$ soit 27,64% du territoire national. La zone sylvopastorale se situe immédiatement au sud de la vallée du fleuve et occupe une partie du domaine sahélien et sahélo-soudanien. Elle s'étend administrativement sur les régions de Saint-Louis, Louga, Tambacounda et Matam.

La composition ethnique de la population du Ferlo fait état d'une majorité de Peuls suivis des Wolofs. Les Toucouleurs, les Sarakolés, les Maures et dernièrement les Sérères commencent à prendre place dans la composition de cette population. La population du département de Linguère (abritant la commune de Dahra), à l'instar de la région nord du Sénégal, est essentiellement constituée de jeunes de moins de 20 ans (Ndiaye, 2015).

Au Ferlo, l'élevage est la principale activité socio-économique des populations (Ngom, 2008). Cette zone abrite un important cheptel de ruminants conduit selon le mode d'élevage extensif des éleveurs transhumants (Diouf *et al.*, 2005). Même si l'agriculture connaît quelques avancées surtout au cours de ces dernières années, le pastoralisme reste le mode d'exploitation de l'espace qui domine dans toute la zone sylvopastorale. La cueillette est une activité très ancienne dans cette partie du Sénégal. Elle nécessite peu d'investissement financier comparée à l'agriculture par exemple. Les produits de la cueillette exploités à l'échelle nationale concernent principalement les fruits, la gomme, les gousses, les feuilles et les écorces. Dans le bassin versant du Ferlo, l'activité de la cueillette concerne essentiellement l'exploitation de la gomme arabique obtenue par la saignée du gommier *Acacia senegal*. L'essentiel de la production vient des régions de Louga, Saint-Louis et Matam (Ndiaye, 2013).

## 2.3 Site d'étude (le Centre de Recherches Zootechniques de Dahra)

### 2.3.1 *Situation géographique et administrative*

La commune de Dahra, entre 15°20 de latitude nord et 15°29 de longitude ouest, est localisée dans la moitié nord du Sénégal dans le département de Linguère, région de Louga et dans la partie ouest du Ferlo central. C'est une zone à activité pastorale prédominante. Le Centre de Recherches Zootechniques (CRZ) de Dahra se retrouve ainsi dans le Sahel sénégalais (Figure 1) en zone sylvopastorale. Ce centre de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) est situé à la limite sud du Ferlo-sableux et couvre une superficie de 6800 ha (Cornet et Rambal, 1981).

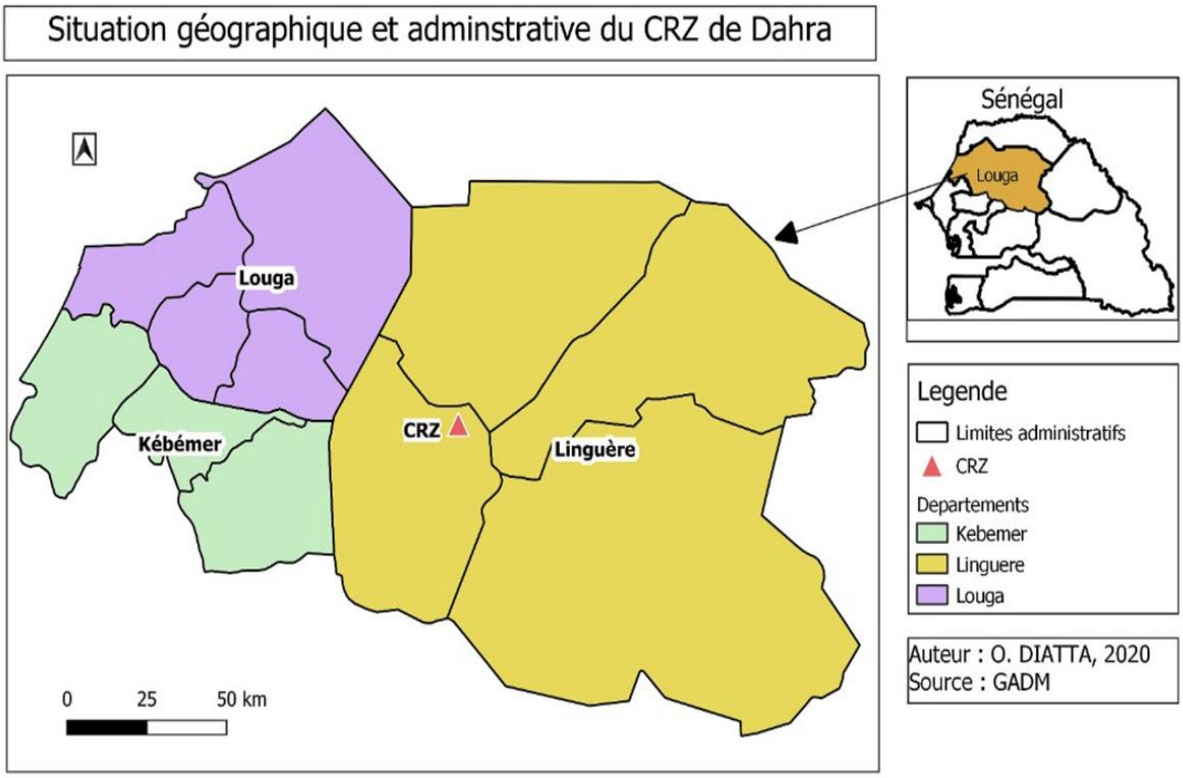


**Figure 1 :** Situation géographique et administrative du CRZ de Dahra.

### 2.3.2 *Historique du CRZ-Dahra*

Le CRZ est créé en 1950 et est divisé en deux parties (Figure 2) : la petite concession de 900 ha qui abrite les bâtiments techniques, administratifs et les logements du personnel et la grande concession de 5900 ha qui constituait jusqu'au début des années 90 la zone de pâturage extensif comprenant 19 parcelles (Sow *et al.*, 1988). Son périmètre est de 42 kilomètres (Ndiaye, 2015). Actuellement l'objectif est de contribuer à l'amélioration de la

sécurité alimentaire des populations de la zone sylvopastorale par l'augmentation de la productivité des productions animales et la gestion durable des ressources naturelles. Le centre qui ne logeait que les activités de l'ISRA, héberge actuellement des structures comme :

- Asiyla Gum : liée à l'ISRA par un contrat, elle exploite des plantations de gommiers ;
- Le Centre National d'Amélioration Génétique (CNAG) : implanté dans le cadre d'un projet, l'ISRA devrait l'accompagner dans ses activités (méthodologie, suivi zootechnique et sanitaire des Zébus brésiliens, suivi des métisses issues des inséminations faites par le CNAG, mise en place d'un schéma d'amélioration génétique etc.) dans le cadre d'un protocole d'accord ;
- Le Haras : le haras comme le CNAG sont gérés par le ministère de l'élevage et n'a pour l'instant pas de programme conjoint avec l'ISRA ;
- L'Agence pour la Réinsertion Sociale des Militaires (ARSM) : liée à l'ISRA par un contrat, des parcelles lui sont cédées pour des activités agricoles.

### 2.3.3 *Occupation du sol*

Le centre a pour vocation la recherche sur les productions animales. L'élevage extensif constitue donc le principal mode d'exploitation de l'espace. Celui-ci est associé à des activités agricoles et de sylviculture en partenariat avec certains centres de l'ISRA, l'ARSM et la population locale, permettant ainsi la sécurisation d'une partie du domaine (Ndiaye, 2015).

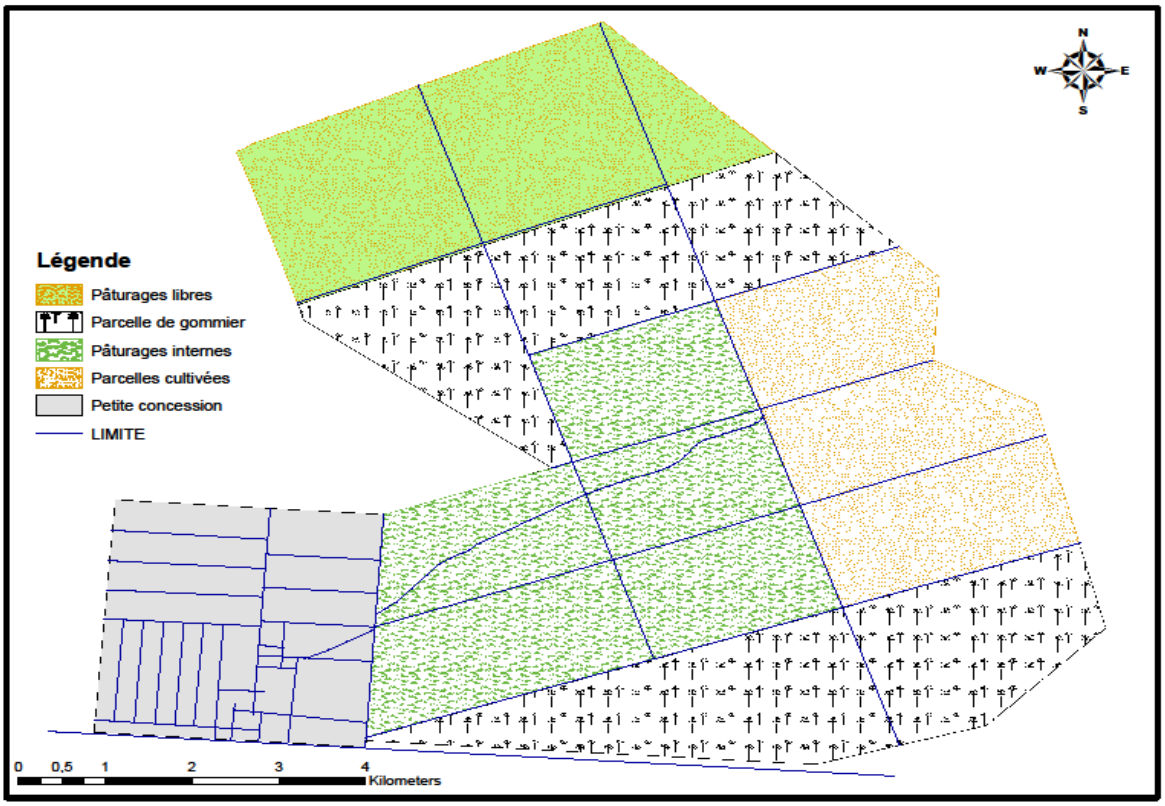


**Figure 2 :** Plan d'occupation du sol au CRZ de Dahra (Ndiaye, 2015).

### 2.3.4 *Matériel animal*

Le cheptel bovin du centre qui était de 653 têtes en 1966 est passé à 2203 têtes en 1984 grâce à l'introduction de nouvelles races (Guzérat, Pakistanais) destinées aux éleveurs du milieu réel ; les Gobras étant au nombre de 882 têtes. Cet effectif est ensuite passé à 561 têtes en 1987. Les valeurs les plus faibles sont enregistrées en 2010 avec pas plus de 222 têtes. Cette baisse serait due aux réformes et aux cessions d'animaux effectuées en 1984. Ces réformes et cessions se sont accentuées en 1987 à cause de la diminution du personnel du CRZ suite aux politiques d'ajustement structurel rattachant le centre à celui de Bambey (région de Diourbel) dont la vocation est agricole (Ndiaye, 2015).

L'inventaire du cheptel du CRZ-Dahra au 31 décembre 2019 a montré que l'effectif des animaux est de cent vingt-six (126) sujets dont 51 vaches, 31 génisses, 16 velles, 05 taureaux, 07 taurillons et 16 veaux (Diouf, 2019).

Au départ seuls les animaux appartenant au centre étaient autorisés à pâturer dans son enceinte. Mais, depuis 1990, une partie du Centre de Recherches Zootechniques de Dahra accueille dans un de ses secteurs des troupeaux venant de l'extérieur tout en garantissant un isolement par rapport à son effectif. Donc une partie du centre a une gestion similaire

au reste de la zone pastorale du Ferlo. Cette situation augmente la charge animale sur les parcours et n'est pas sans conséquences sur la production et la qualité de ces derniers (Ndiaye, 2015).

### 2.3.5 *Paramètres climatiques*

**Température :** les températures sont souvent liées à l'état de l'humidité relative, de la durée d'insolation et de l'évaporation, mais aussi des précipitations (Sarr, 2009). Mais elles peuvent être influencées par la circulation atmosphérique générale, l'altitude, la proximité de courants marins ou bien la continentalité (Le Houérou *et al.*, 1993). Dans la zone intertropicale les températures varient peu à l'échelle annuelle (Sarr, 2009). À Louga, la température annuelle moyenne est de 27 °C avec des minima de 23 °C en janvier et des maxima de 30 °C entre septembre et octobre (Aranyossy *et al.*, 1993).

**Pluviométrie :** les précipitations sont concentrées en une brève période humide de 3 mois. Août et septembre sont les mois les plus pluvieux et leur comportement influence les fluctuations de la pluie entre les années (Sarr, 2009). Le centre présente une pluviosité moyenne de 371,67 mm sur une période de 50 ans (1964-2013). Cette pluviosité s'étend entre fin juin et début octobre avec un cumul moyen mensuel de 35,95 mm. La pluviosité présente de très fortes irrégularités dans la répartition et une grande variabilité quantitative d'une année à l'autre (Ndiaye, 2015).

La position géographique du CRZ de Dahra fait qu'il y règne un climat sahélien (Ruster, 2009).

**Description de la saison des pluies des deux années de suivi :** les saisons des pluies des deux années de mesure sont présentées à la Figure 3.

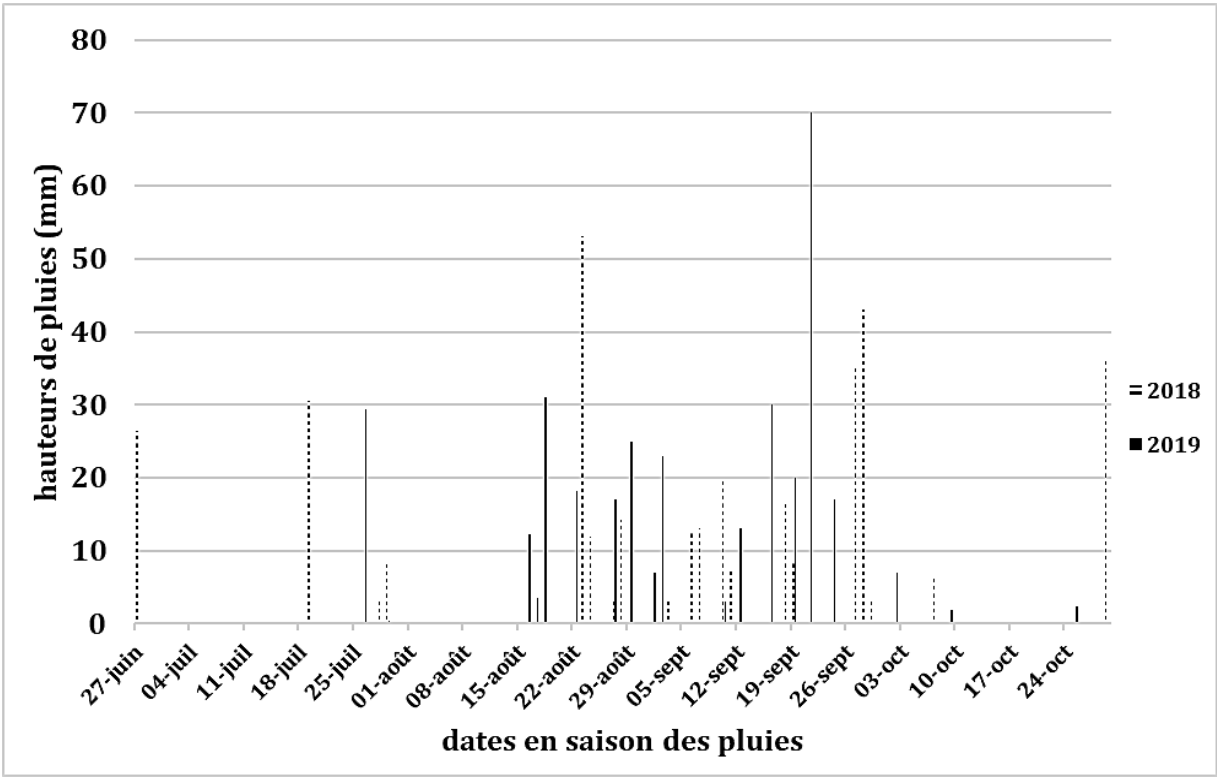


**Figure 3** : Description des saisons des pluies des années de mesure (2018 et 2019).

Le suivi de la végétation en 2018 et en 2019 a démarré 10 jours après la première pluie. À la deuxième année de mesure, le démarrage de la saison des pluies a accusé un retard d'environ un mois (25 juillet 2019) en comparaison à la première année (27 juin 2018). En conséquence, la saison 2019 a été plus courte. Pour les deux années, de grands écarts (pauses pluviométriques) entre les dates de pluie sont visibles en début (jusqu'à mi-août) et en fin de saison. Les pluies sont alors reçues en nombre et en quantité plus importants sur la période allant de mi-août à fin septembre.

Il y a eu plus de pauses pluviométriques en début de saison en 2018 qu'en 2019. La distribution des pluies dans le temps apparait meilleure en 2019 avec des écarts relativement plus réguliers entre dates de pluie sur la période mi-août à fin septembre.

Les deux années comptent presque le même nombre de jours de pluie (21 et 20 respectivement) et des quantités totales de pluie reçue proches, soit 356 mm en 2018 et 331 mm en 2019.

**Evaporation, vent et insolation :** De manière générale, au cours de l'année, les variations mensuelles d'évaporation sont caractéristiques de la saisonnalité au Ferlo : les valeurs fortes de l'évaporation se situent en saison sèche et les valeurs faibles en saison pluvieuse. Cependant, les valeurs mensuelles les plus fortes diffèrent d'une station à une autre. À la

station de Linguère, les mois de mars et d'avril regroupent les fortes valeurs avec respectivement 401 et 385 mm. Les valeurs les plus faibles sont toutes localisées entre les mois d'août et de septembre (Sarr, 2009).

Le vent souffle en moyenne avec une vitesse de 1,45±0,25 $m.s^{-1}$. Celle-ci est maximale en juin (1,81±0,16 $m.s^{-1}$) et minimale en octobre (1,02±0,09 $m.s^{-1}$).

L'insolation moyenne est de 8,24±0,93 $heures.jour^{-1}$ avec un maximum de 8,80±0,68 $heures.jour^{-1}$ en mai et un minimum de 7,66±0,94 $heures.jour^{-1}$ en septembre (Ndiaye, 2015).

### 2.3.6 *Description des sols*

Les sols du centre peuvent être regroupés en trois grands ensembles pédologiques selon leurs propriétés physiques et chimiques (Casenave et Valentin, 1989) :

- Formations sablonneuses d'origine éolienne, qui sont dominantes ;
- Formations détritiques sur grès ou latérite ;
- Formations fluviatiles ou lacustres.

### 2.3.7 *Les ressources en eau*

- **Les forages**

Le centre dispose de deux forages dont l'un situé en extensif (forage de Diéry à 6 km de la bouverie) et l'autre dans la petite concession. Ils assurent l'alimentation en eau des animaux du centre, des populations environnantes et de leur bétail (Ndiaye, 2015).

- **Les eaux de surface**

Les eaux superficielles regroupent les vallées fossiles et les mares. L'écoulement des eaux des vallées fossiles et des mares varie en fonction de la quantité de pluies tombées.

### 2.3.8 *Le couvert végétal*

La physionomie de la végétation à Dahra est passée d'une savane arborée à arbustive dans les années 60 à une steppe à épineux actuellement. Selon le type de sol et la pluviosité, Ndiaye (2015) identifie la végétation suivante au CRZ de Dahra :

- Sur **dune de sable**, le tapis herbacé est abondant et se compose principalement de graminées annuelles, la strate ligneuse y est peu développée ;

- Dans les **dépressions**, le peuplement ligneux est dense, la végétation herbacée est surtout représentée par des graminées pérennes.

### 2.3.9 *L'agriculture*

L'agriculture est essentiellement pluviale et repose sur des spéculations telles que l'arachide, le niébé et le sésame. Dans les années 90 cette activité n'était pas très développée dans le centre et occupait une superficie n'excédant pas 4 hectares. À partir de 2004 avec l'arrivée de l'ISRA de Saint-Louis pour la production de semences et l'Association pour la Réinsertion Sociale des Militaires cette superficie a dépassé les 200 ha (Ndiaye, 2015).

### 2.3.10 *Le site pâturé et les tours à flux installées*

Un site expérimental est installé au nord du centre dans sa partie pâturée à environ 6 kilomètres de la petite concession. C'est une parcelle de 750 x 750 mètres divisée en 9 sous parcelles dont celle centrale abrite deux tours à flux (photos 1 et 2). Deux transects perpendiculaires (au centre du site) de 1000 mètres de long comptant chacun 14 points de mesure de la phytomasse herbacée y sont installés. Ces points sont distants de 120 mètres à l'extérieur de la sous parcelle centrale et de 50 mètres à l'intérieur de celle-ci, de sorte que sur chaque transect, 8 des 14 points de mesure se retrouvent dans la sous parcelle centrale. Ces écartements entre les points de mesure permettent d'avoir plus de points à mesurer à proximité des tours à flux afin d'avoir suffisamment de mesures réelles pour calibrer les mesures prises automatiquement par les tours.

Les tours mesurent entre autres des gaz ($CO_2$, $H_2O$, $N_2$), l'eau du sol, le rayonnement solaire, la vitesse du vent, la phytomasse herbacée, la température, etc.

Cette parcelle expérimentale est installée et gérée par une équipe de chercheurs de l'université de Copenhague et de l'université de Lund depuis 2001 en collaboration avec le CRZ de Dahra.

**Photo 1 :** Tour à flux pour mesurer des aspects météorologiques (source : Ousmane Diatta, 2020).

**Photo 2 :** Tour à flux pour mesurer des aspects liés à la végétation (source : Ousmane Diatta, 2020).

**Chapitre 3**

# RÉPONSES DE LA STRATE HERBACÉE AUX FLUCTUATIONS DE LA PLUVIOMÉTRIE EN MILIEU PATURÉ DU CRZ-DAHRA

## Introduction

Les variations des facteurs du milieu et les réponses des espèces végétales sous l'influence de ces variations induisent de fortes fluctuations de la végétation au Sahel. Ainsi, la durée de la période de régularité des pluies est un aspect essentiel dans la variation de la phytomasse (Penning de Vries et Djitèye, 1982).

Il apparait dans nombre d'études que la quantité de pluie est un des éléments majeurs qui déterminent la production de phytomasse (Penning de Vries et Djitèye, 1982 ; Cissé, 1986 ; Tracol, 2004 ; Ndiaye, 2015 ; Taugourdeau *et al*., 2017). Cependant Ndiaye *et al*., (2015) ont observé que certaines années moins pluvieuses affichent des phytomasses supérieures à celles d'autres années de pluviométrie plus élevée à Matam (nord-est Sénégal). Des études se sont ainsi intéressées à divers paramètres de la pluviométrie. D'après Salack *et al*., (2012), les épisodes intra saisonniers de « jour sans pluie » ou pauses pluviométriques sont des événements néfastes pour le système agricole au Sahel ouest-africain. Sané *et al*., (2008) ont étudié des aspects tels le nombre de jours pluvieux, la durée de la saison pluvieuse, et la fréquence des épisodes secs au cours de l'hivernage.

D'une étude à l'autre, les paramètres décrivant la saison des pluies sont différents. L'objectif de ce chapitre est de voir quels paramètres de la saison des pluies influencent la phytomasse herbacée. Pour décrire la saison des pluies, les événements pluvieux ont été pris en compte sur deux périodes : l'ensemble de la saison des pluies et uniquement les évènements de pluies avant le pic de phytomasse. L'hypothèse étant que les évènements de pluies après ce pic n'influencent plus la croissance des herbacées et par conséquent ne sont pas importants pour la phytomasse.

## 3.1 Matériel et méthodes

### 3.1.1 *Dispositif de collecte des données dans le site pâturé*

Les données de phytomasse utilisées sont issues du suivi saisonnier allant de 2008 à 2018 dans la zone de libre pâturage du centre, dans sa partie nord.

Les mesures sont faites le long de deux transects perpendiculaires de 1000 mètres tous les dix jours (Figure 4). Elles commencent dix jours après la première pluie suffisante pour observer des levées et s'arrêtent à la fin de la saison des pluies (fin du mois d'octobre). Sur chaque transect, 14 points de collecte ont été prédéfinis. Les transects sont installés dans une parcelle de 750 mètres de côté divisé en 9 carrés. À l'intérieur de la

sous parcelle centrale, les points de collecte sont distants de 50 mètres et à l'extérieur de 120 mètres. Cela, pour permettre d'avoir assez de données effectivement mesurées pour la calibration des données mesurées par la tour à flux.

Une tour à flux située au centre de la parcelle centrale est installée par l'université de Copenhague en collaboration avec l'université de Lund pour effectuer différentes mesures de paramètres climatiques et de phytomasse qui ont besoin d'être calibrées avec des mesures directes.

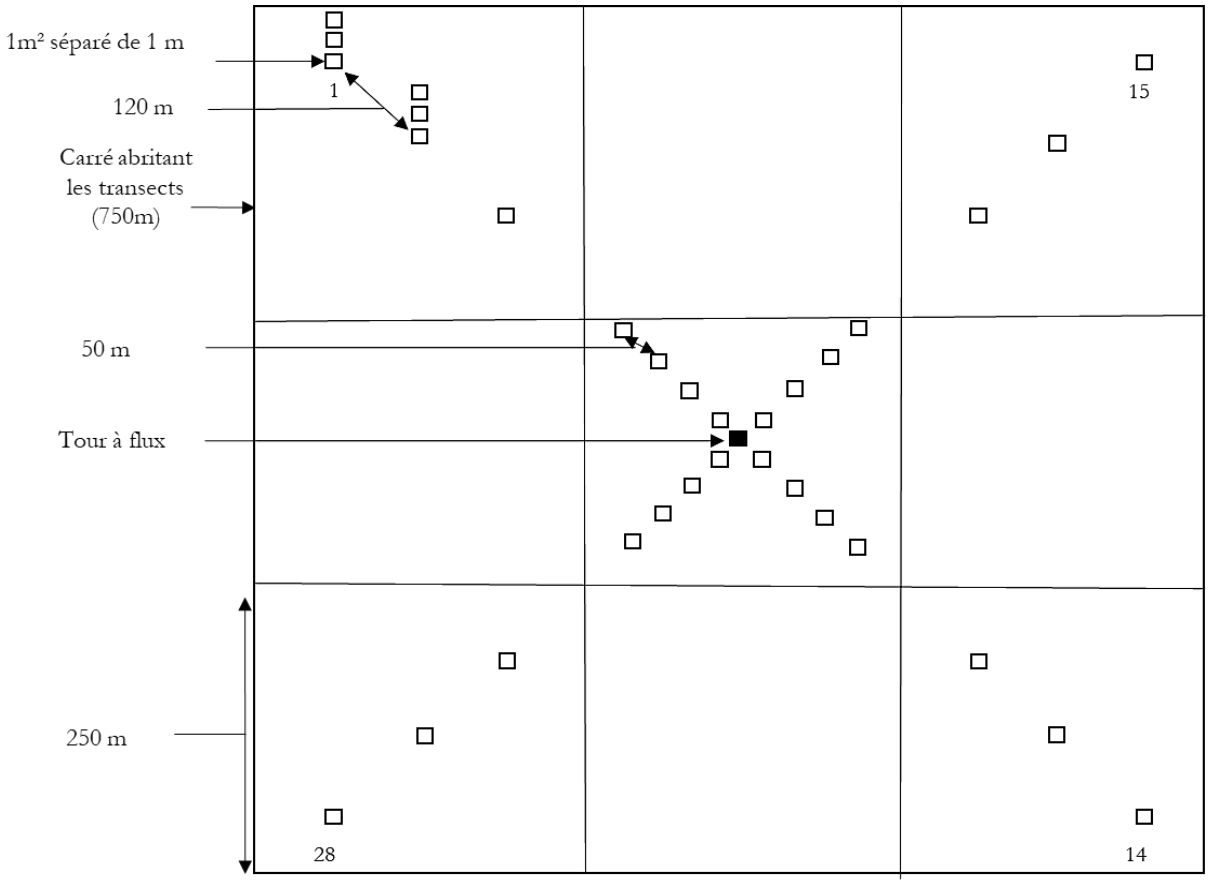


**Figure 4** : Dispositif de suivi de la phytomasse herbacée (site pâturé).

### 3.1.2 *Collecte des données*

Pour évaluer la phytomasse herbacée, la méthode de la récolte intégrale de Levang et Grouzis (1980) a été utilisée. Elle consiste à récolter toute la matière végétale (coupe à ras du sol) à l'aide d'une cisaille. Les carrés de prélèvement ont une surface de 1 $m^2$. Pour effectuer la mesure suivante sur un point, une distance de 1 mètre est laissée (Figure 4). Vingt-huit (28) échantillons sont donc prélevés à chaque date de mesure. La matière fraîche obtenue est pesée sur le terrain à l'aide d'un peson. La teneur en matière sèche est

déterminée sur 28 échantillons après passage à l'étuve à 60 °C jusqu'à l'obtention du poids constant.

Des données de pluies journalières du centre relevées par les chercheurs de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) sur la période 2008-2018 ont aussi été mises à notre disposition.

### 3.1.3 *Paramètres de la saison des pluies*

Stern *et al.*, (2006) indiquent qu'une des taches préliminaires lors de l'examen des périodes sèches est de définir ce qui doit être considéré comme un jour sans pluie. Il a donc fallu adopter un seuil de quantité de pluie journalière en dessous duquel un jour est considéré comme sec. Ces auteurs soulignent que selon les applications, différents seuils peuvent être appliqués. Un seuil de 0,1 mm.jour$^{-1}$ qui est le même que celui qu'ont recommandé Salack *et al.*, (2012) a été utilisé, il permet de prendre en considération presque toutes les pluies observées au sol.

À partir des données de pluies, un certain nombre de variables ont été définies pour décrire la saison :

**Début saison** (deb.saison) : c'est la date à laquelle la première pluie, suffisante pour déclencher les premières levées a été enregistrée. Les années sont ensuite classées en fonction de leur date : la plus précoce porte le numéro 1 et la plus tardive le numéro le plus grand.

**Fréquence des pluies journalières** (freq.pluie) : elle est calculée en faisant le ratio entre le nombre de jours de pluie et la longueur de la saison (en nombre de jours) porté en pourcentage.

**Jours sans pluie** (jrs.sans.pluie) : il s'agit du total de jours sans aucune pluie pendant la saison des pluies.

**Longueur de la saison des pluies** (long.saison) : en nombre de jours, c'est la période qui va du premier jour de pluie au dernier.

**Variance des pluies journalières** (moy.variance) : pour une année elle est égale à :

$$\frac{1}{N}\sum(xi - \bar{x})^2$$

Cette variance renseigne sur l'importance de la différence de quantité des pluies journalières.

N=quantité totale de pluie ; xi=quantité de pluie du jour *i* ; $\bar{x}$=la quantité moyenne de pluie journalière.

**Nombre de jours de pluie** (nbr.jrs.pluies) : c'est le nombre de jours pendant lesquels une pluie d'une quantité au moins égale à 0,1 mm a été enregistrée.

**Nombre de pauses pluviométriques** (nbr.pauses) : le nombre d'épisodes sans pluie séparant les jours de pluie.

**Plus longue pause** (plus.long.pause) : la séquence la plus longue en nombre de jours sans pluie.

**Total des pluies** (tot.pluies) : c'est la quantité totale de pluie enregistrée au cours de la saison des pluies en mm.

Ces variables ont donc été calculées pour l'ensemble de la saison et uniquement sur la période entre le début de la saison et la date où le maximum de phytomasse a été mesuré.

### 3.1.4 *Paramètres de la phytomasse herbacée*

Pour décrire la dynamique de la phytomasse, plusieurs variables permettant sa caractérisation ont été définies.

**Pic de phytomasse** (pic phyto) : c'est la plus grande quantité moyenne de phytomasse des dates de mesure.

**Maximum de taux de croissance (max rgr)** : c'est le plus grand taux de croissance de la phytomasse aux dates de mesure. Sa formule selon Hoffmann et Poorter (2002) est :

$$r = \frac{\ln(w2) - \ln(w1)}{t2 - t1}$$

Avec r (ou rgr) = taux de croissance relatif ; w1 = phytomasse sèche au temps 1 (en grammes) ; w2 = phytomasse sèche au temps 2 (en grammes) ; t1 = temps 1 (en jours) ; t2 = temps 2 (en jours).

**Efficience d'utilisation de la pluie (RUE)** : l'efficience d'utilisation de la pluie est définie comme le rapport entre la production primaire nette et les quantités de précipitations (Dardel *et al.*, 2014).

### 3.1.5 *Analyses statistiques*

Le test de corrélation de Spearman, entre les variables de la saison des pluies et celles de la phytomasse, a été utilisé. Une analyse en composante principale (ACP) entre ces mêmes paramètres a été effectuée en considérant les variables de la phytomasse comme supplémentaires.

Les liens entre les paramètres sont étudiés sur toute la saison et sur la période qui va du début de la saison jusqu'à la date d'apparition du pic de phytomasse. Ces deux calculs

devraient permettre de déduire la meilleure période à considérer pour étudier l'influence de la saison des pluies sur la phytomasse herbacée.

## 3.2 Résultats

### 3.2.1 *Dynamique interannuelle de la phytomasse herbacée*

La dynamique saisonnière de la phytomasse herbacée a été suivie de 2008 à 2018 (Figure 5).

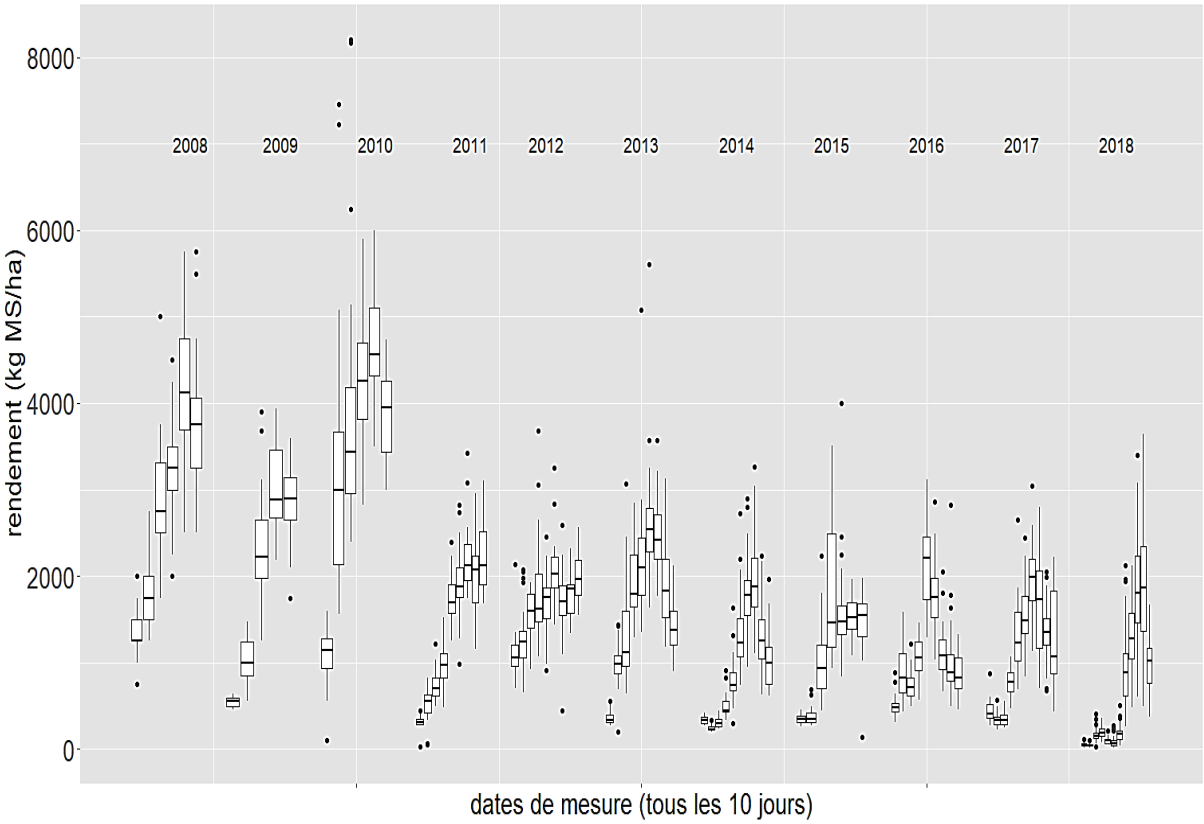


**Figure 5 :** Dynamique interannuelle de la phytomasse herbacée de 2008 à 2018.

La phytomasse disponible présente la même évolution au cours des années : elle commence à un niveau donné, évolue pour atteindre son pic et entame une phase de décroissance. La plupart des années démarre avec une phytomasse faible (moins de 500 kg MS.ha$^{-1}$) contrairement à 2008, 2010 et 2012 qui démarrent avec une quantité supérieure à 1000 kg MS.ha$^{-1}$. La phytomasse annuelle disponible ne dépasse pas souvent 2500 kg MS.ha$^{-1}$ sauf pour 2008, 2009 et 2010 pour lesquelles les pics dépassent 3000 kg MS.ha$^{-1}$. Les données de 2011 ne permettent pas d'observer la phase de décroissance qui devrait faire apparaitre en même temps le pic de phytomasse.

### 3.2.2 *Corrélation pluies-phytomasse*

**Sur toute la saison :**

Les coefficients de corrélation de Spearman (rho) et les p-value issus des tests entre paramètres de la saison des pluies et paramètres de la phytomasse pris sur toute la saison sont contenus dans le Tableau 2.

Il a été considéré qu'il y a corrélation lorsque la p-value est inférieure à 0,05%. Il y a tendance à la corrélation lorsque la p-value est comprise dans l'intervalle [0,05-0,1%].

**Tableau 2 :** Coefficients de corrélation (rho) et p-value du test de corrélation de Spearman entre paramètres de la saison des pluies et paramètres de la phytomasse sur toute la saison.

| | Pic de phytomasse (Pic phyto) | | Maximum de taux de croissance (Max rgr) | | Efficience d'utilisation de la pluie (RUE) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | p-value | rho | p-value | rho | p-value | rho |
| deb.saison | 0,55 | -0,2 | 0,61 | 0,17 | 0,79 | 0,08 |
| plus.long.pause | *0,09* | -0,52 | *0,14* | 0,46 | 0,75 | 0,1 |
| nbr.jrs.pluies | 0,48 | 0,23 | 0,78 | -0,09 | 0,82 | -0,07 |
| tot.pluies | **0,04** | 0,62 | 0,53 | -0,2 | 0,67 | -0,14 |
| nbr.pauses | 0,23 | 0,39 | 0,23 | -0,38 | 0,69 | -0,13 |
| jrs.sans.pluie | 0,73 | -0,11 | 0,55 | 0,2 | 0,3 | 0,34 |
| long.saison | 0,92 | 0,03 | 0,46 | 0,24 | 0,27 | 0,36 |
| moy.variance | 0,75 | 0,1 | 0,55 | -0,2 | 0,98 | -0,01 |
| freq.pluie | 0,29 | 0,34 | 0,5 | -0,22 | 0,45 | -0,25 |

Les coefficients de corrélation (rho) issus du Tableau 2 ont été utilisés pour faire la Figure 6a.

**Sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse :**

Les coefficients de corrélation et les p-value du test de corrélation de Spearman entre paramètres de la saison des pluies et paramètres de la phytomasse pris sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse sont présentés dans le Tableau 3.

**Tableau 3 :** Coefficients de corrélation (rho) et p-value du test de corrélation de Spearman entre paramètres de la saison des pluies et paramètres de la phytomasse sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse.

| | Pic de phytomasse (Pic phyto) | | Maximum de taux de croissance (Max rgr) | | Efficience d'utilisation de la pluie (RUE) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | p-value | rho | p-value | rho | p-value | rho |
| deb.saison | 0,55 | -0,2 | 0,61 | 0,17 | 0,31 | -0,33 |
| plus.long.pause | *0,09* | -0,53 | *0,11* | 0,5 | 0,56 | 0,19 |
| nbr.jrs.pluies | *0,16* | 0,44 | 0,53 | -0,21 | 0,96 | -0,01 |
| tot.pluies | **0,02** | 0,68 | 0,26 | -0,37 | 0,27 | -0,36 |
| nbr.pauses | **0,01** | 0,73 | **0,02** | -0,65 | 0,77 | -0,09 |
| jrs.sans.pluie | 0,85 | -0,06 | 0,98 | 0,004 | 0,33 | -0,32 |
| long.saison | 0,97 | 0,01 | 0,68 | -0,13 | 0,22 | -0,39 |
| moy.variance | 0,69 | 0,13 | 0,5 | -0,22 | 0,2 | -0,41 |
| freq.puie | 0,9 | -0,04 | 0,61 | 0,17 | 0,53 | 0,21 |

Les coefficients de corrélation (rho) issus du Tableau 3 ont été utilisés pour faire la Figure 6b.

La Figure 6 présente les diagrammes en barre faits à partir des coefficients de corrélation de Spearman entre paramètres sur toute la saison (a) et sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse (b)

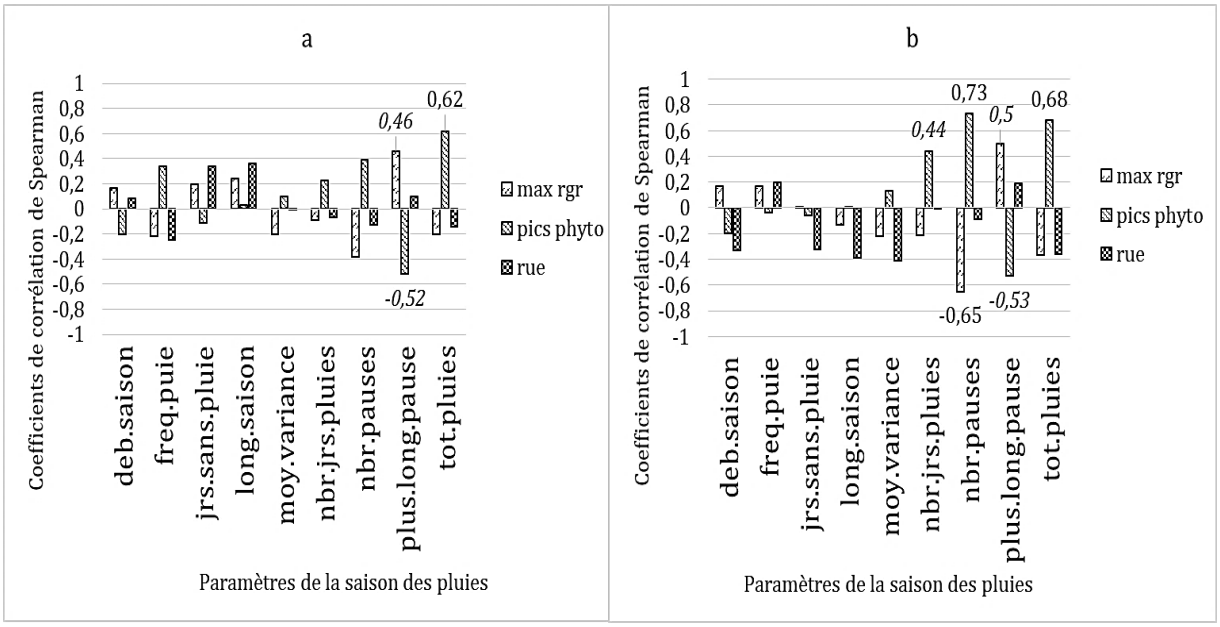


**Figure 6 :** Corrélation entre pluie et phytomasse herbacée sur toute la saison (a) et sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse (b).

La Figure 6a montre que seul le total de pluie est corrélé (p-value=0,04) positivement à la phytomasse disponible. La plus longue pause tend à être positivement corrélée à la vitesse de croissance et négativement à la phytomasse disponible.

La Figure 6b révèle que la phytomasse disponible est corrélée positivement au total de pluie (p-value=0,02) et au nombre de pauses pluviométriques (p-value=0,01). Cette phytomasse tend à la corrélation positive avec le nombre de jours de pluie et à la corrélation négative avec la plus longue pause.

La vitesse de croissance est négativement corrélée (p-value=0,02) au nombre de pauses et tend à être positivement corrélée à la plus longue pause.

Le total de pluie garde le même lien positif avec la phytomasse disponible mais ce lien est plus fort lorsque la quantité de pluie est calculée uniquement entre le début de la saison des pluies et le pic de phytomasse. La plus longue pause a la même tendance positive avec la vitesse de croissance et négative avec la phytomasse disponible. Aussi, elle garde presque les mêmes tendances sur toute la saison que sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse. Le nombre de pauses et le nombre de jours de pluie n'agissent que lorsque les critères décrivant la saison des pluies sont pris sur la période qui s'arrête aux pics.

### 3.2.3 *Analyse en Composantes Principales pluies-phytomasse*

**Sur toute la saison :**

La qualité de représentation (déterminée par les cosinus carrés) des variables sur les dimensions est illustrée par le Tableau 4. Ce tableau permet de voir que toutes les variables sont mieux représentées sur les dimensions 1 et 2 qui seront par conséquent utilisées pour la représentation graphique.

**Tableau 4 :** Qualité de représentation des variables de la saison des pluies sur les dimensions de l'ACP sur toute la saison.

| | Dim.1 | Dim.2 | Dim.3 | Dim.4 | Dim.5 |
|---|---|---|---|---|---|
| deb.saison | 0,131 | **0,532** | 0,132 | 0,103 | 0,094 |
| plus.long.pause | **0,766** | 0,058 | 0,006 | 0,016 | 0,118 |
| nbr.jrs.pluies | **0,541** | 0,339 | 0,005 | 0,101 | 0,005 |
| tot.pluies | **0,544** | 0,018 | 0,387 | 0,026 | 0,013 |
| nbr.pauses | **0,630** | 0,247 | 0,001 | 0,038 | 0,041 |
| jrs.sans.pluie | 0,448 | **0,501** | 0,034 | 0,002 | 0,005 |
| long.saison | 0,198 | **0,745** | 0,041 | 0,001 | 0,002 |
| var.moy.pluie | 0,002 | **0,868** | 0,035 | 0,032 | 0,029 |
| freq.puie | **0,888** | 0,006 | 0,006 | 0,075 | 0,019 |

**Sur la période qui s'arrête à l'apparition du pic de phytomasse :**

Les cosinus carrés sont présentés dans le Tableau 5. Ce tableau montre que presque toutes les variables sont mieux représentées sur les dimensions 1 et 2. Les variables début saison et variance moyenne des pluies journalières ont une meilleure qualité de représentation sur la dimension 3. Les deux premières dimensions seront utilisées pour la représentation graphique.

**Tableau 5 :** Qualité de représentation des variables de la saison des pluies sur les dimensions de l'ACP sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse.

| | Dim.1 | Dim.2 | Dim.3 | Dim.4 | Dim.5 |
|---|---|---|---|---|---|
| deb.saison | 0,303 | 0,022 | **4,211e-01** | 0,150 | 0,102 |
| plus.long.pause | 0,108 | **0,475** | 2,196e-01 | 0,151 | 0,027 |
| nbr.jrs.pluies | **0,722** | 0,122 | 1,479e-02 | 0,129 | 0,0003 |
| tot.pluies | **0,605** | 0,012 | 3,1e-01 | 0,042 | 0,015 |
| nbr.pauses | **0,877** | 0,0002 | 3,995e-02 | 0,033 | 0,031 |
| jrs.sans.pluie | 0,189 | **0,801** | 2,276e-04 | 0,001 | 0,0002 |
| long.saison | 0,343 | **0,645** | 7,351e-05 | 0,001 | 0,0003 |
| var.moy.pluie | 0,103 | 0,003 | **7,909e-01** | 0,005 | 0,094 |
| freq.puie | 0,020 | **0,894** | 4,136e-02 | 0,029 | 0,009 |

Les cercles de corrélation entre paramètres sur toute la saison (a) et sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse (b) sont représentés à la Figure 7.

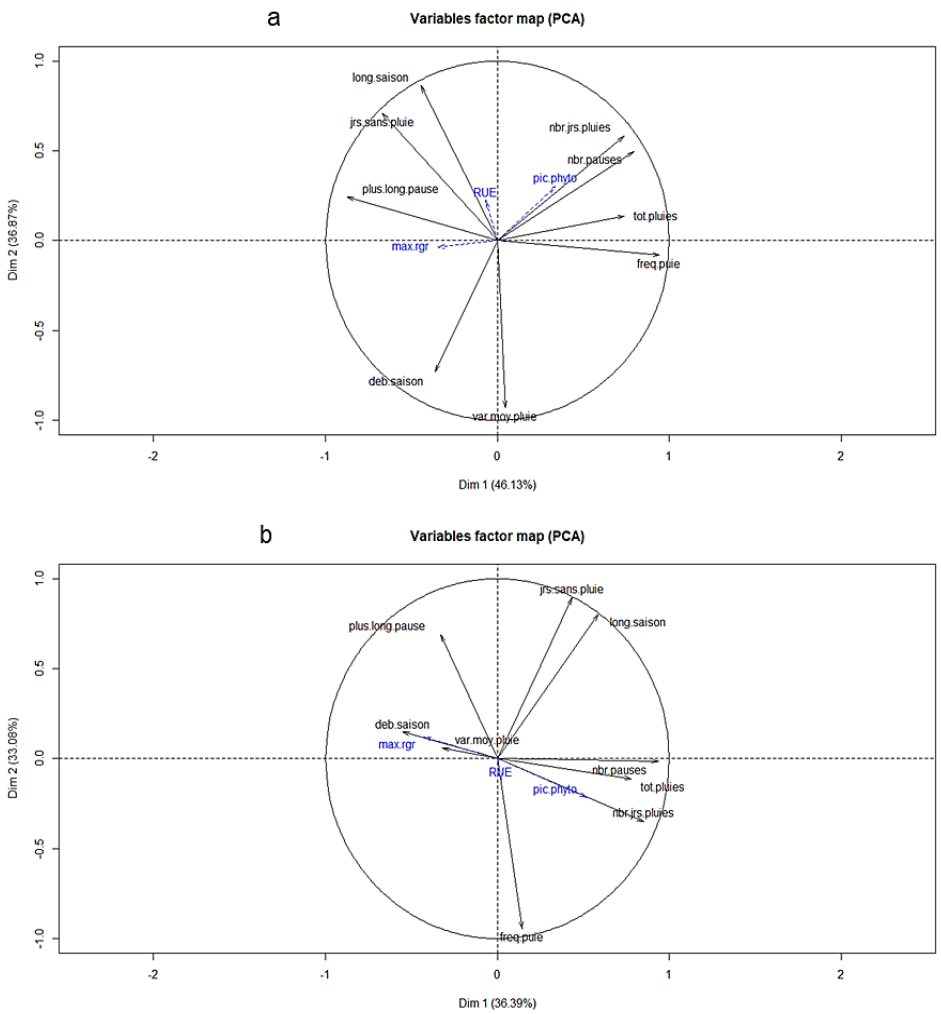


**Figure 7 :** Cercle de corrélation entre pluie et paramètres de la phytomasse sur toute la saison (a) et sur la période qui s'arrête aux pics de phytomasse (b).

La Figure 7a montre que les deux dimensions portent 83% de l'information de départ soit 46,13% pour la dimension 1 et 36,87% pour la dimension 2.

Il en ressort que la phytomasse disponible est corrélée positivement avec le nombre de jours de pluie, le nombre de pauses, le total et la fréquence des pluies. La corrélation est négative entre phytomasse disponible et la plus longue pause et le début tardif de la saison. La longueur de la saison et le nombre de jours sans pluie n'ont pas de lien avec la phytomasse disponible.

Les paramètres sans lien et ceux liés négativement avec la phytomasse disponible sont positivement liés à la vitesse de croissance. Cette vitesse de croissance est négativement corrélée à la phytomasse disponible et ne présente pas de liens avec la variance des pluies journalières.

Les flèches de l'efficience d'utilisation de la pluie sont trop courtes pour être prises en compte dans l'analyse.

La Figure 7b montre que l'information portée par les deux dimensions est de 69,47% avec 36,39% portée par la dimension 1 et 33,08% portée par la dimension 2.
Sur cette période, la phytomasse disponible est liée positivement au nombre de jours de pluie, au total de pluie, au nombre de pauses et à la fréquence des pluies journalières.
La phytomasse disponible est négativement liée à la plus longue pause et n'affiche pas de lien avec la longueur de la saison et les jours sans pluie.
L'efficience d'utilisation de la pluie ne peut être analysée à cause de la taille très courte de sa flèche.
La vitesse de croissance est liée positivement à la plus longue pause et négativement à la phytomasse disponible.
Considérant les deux périodes étudiées, le nombre de jours de pluie, la quantité totale de pluie, le nombre de pauses et la fréquence des pluies restent positifs à la phytomasse disponible. Cette dernière est négative seulement avec la plus longue pause lorsqu'elle est calculée sur la période qui s'arrête aux pics. Toujours sur cette même période, la vitesse de croissance est positive avec seulement la plus longue pause.

## 3.3 Discussion

Ce chapitre avait pour objectif de montrer les liens entre les paramètres de la saison des pluies et la phytomasse herbacée. La quantité totale de pluie est positivement liée à la phytomasse disponible sur les deux périodes considérées. Ces résultats corroborent ceux d'autres études réalisées au Sahel (Penning de Vries et Djitèye, 1982 ; Cissé, 1986 ; Tracol, 2004 ; Ndiaye, 2015 ; Taugourdeau *et al*., 2017). D'après Hiernaux et Le Houérou (2006), la distribution des précipitations au cours de la saison des pluies et leur redistribution par ruissellement à la surface des sols sont les facteurs prépondérants de la diversité du couvert végétal et de sa production. Pierre *et al*., (2011) rajoutent que dans la région semi-aride du Sahel, le facteur le plus limitant pour la croissance des plantes est la teneur en eau dans la zone d'enracinement. Le déficit hydrique constitue l'un des facteurs limitants de la production agricole en zone sahélienne (Son et Compaore, 2011).

Les résultats ont également révélé une corrélation positive entre le nombre de pauses, le nombre de jours de pluie et la phytomasse herbacée disponible. Le nombre de pauses

semble être plus élevé les années où le nombre de jours de pluie est élevé. En effet, beaucoup de pauses pluviométriques sur une saison signifient qu'il a plu régulièrement et des pluies régulières ne peuvent que booster la phytomasse herbacée. Le fait que le lien soit plus fort pour le nombre de pauses que pour la quantité totale de pluie montre l'importance de la distribution temporelle des pluies dans l'élaboration de matière végétale. C'est d'ailleurs ce que soulignent Penning de Vries et Djitèye (1982) selon qui, en dehors d'une augmentation dans la hauteur des pluies c'est surtout l'intensification de la fréquence des pluies qui est importante. La répartition et la régularité des précipitations sont des paramètres assez importants pour la production de phytomasse des parcours, plus que la somme des précipitations dans l'année (Taugourdeau *et al*., 2017). D'après Cissé (2016), le cumul de pluie et les pauses de pluie dont la durée est comprise entre 5 et 7 jours affectent plus le maximum de LAI (végétation).

Plus de liens se sont créés sur la période qui va du début de la saison des pluies jusqu'au pic de phytomasse parce que le maximum de pluie est reçu sur cette période. D'après les conclusions de Cissé *et al*., (2015), le cumul des précipitations sur la période de croissance (juin à septembre) montre des corrélations élevées et significatives.

Plus le début de la saison est tardif, moins la phytomasse est élevée. Ce résultat ne confirme pas celui de Cissé *et al*., (2015) qui n'ont pas observé d'impact de l'avance/retard par rapport à la moyenne sur la date du maximum de végétation ni sur sa valeur. Cissé (2016)rapporte aussi que la date de début de la saison des pluies n'a pas d'impact sur le maximum de croissance de la végétation. En revanche, d'après Cornet (1981) et Cissé (1986), la plupart des espèces sont susceptibles de raccourcir leur cycle et d'assurer une fructification malgré un développement très réduit. Ce raccourcissement de cycle explique la baisse de la phytomasse qui est produite. De façon générale, les pluies précoces ou tardives induisent soit la perte d'une partie des jeunes plantes, soit un retard dans la germination. Donc lorsque les pluies sont précoces, les jeunes plantes qui survivront aux longues pauses auront eu un temps de croissance plus long que quand les pluies sont tardives. Ce qui fait que la phytomasse produite au maximum de végétation sera plus élevée pour une année de saison des pluies précoce.

Une forte vitesse de croissance est obtenue quand la différence de phytomasse entre deux points est importante. Cette situation s'obtient quand les deux périodes sont séparées par

des pauses assez longues ou bien par des quantités de pluies bien différentes. Ce sont ces situations que semblent décrire la plus longue pause, les jours sans pluie, le début tardif de la saison, la longueur de la saison.

Le nombre de pauses impacte négativement la vitesse de croissance pour les données de pluviométrie calculée entre le début et le pic de phytomasse. Cette période se compose d'une première phase durant laquelle les pauses sont habituellement longues suivie d'une phase de régularité des pluies. La vitesse de croissance est souvent plus élevée sur la transition entre ces deux phases et entre les points séparés par les plus longues pauses. Donc s'il y a plusieurs pauses, il y en aura moins de longues et la transition entre les deux phases évoquées peut être plus courte. Cela peut expliquer le fait que plus il y a de pauses pluviométriques, moins la vitesse de croissance est élevée. Selon Salack *et al*., (2012), les pauses entre 8 et 14 jours et celles supérieures ou égales à 15 jours apparaissent entre mai et septembre, ce qui fait que l'influence du nombre de pauses sur la vitesse de croissance n'apparait que sur la période qui va jusqu'au pic de phytomasse.

L'efficience d'utilisation de la pluie à Dahra varie de 4,8 à 12,8 kg $MS.mm^{-1}.ha^{-1}$. Elle est plus élevée que celle trouvée par Hiernaux et Le Houérou (2006) qui est en moyenne de 3 kg $MS.mm^{-1}.ha^{-1}.an^{-1}$ pour la strate herbacée au Sahel. Le Houérou (2005) a montré que, le coefficient d'efficacité pluviale (CEP ou RUE) semblait beaucoup plus sensible à la dynamique de la végétation et au fonctionnement des écosystèmes qu'à la saisonnalité des précipitations. Il conclue que les écosystèmes en bon état dynamique, correspondant à des végétations peu dégradées, réhabilitées ou restaurées montrent des CEP de l'ordre de 4 à 8 kg $MS.mm^{-1}.ha^{-1}$. Inversement, les végétations dégradées par un surpâturage intense et prolongé, combinées ou non avec d'autres pratiques destructives telles que la culture épisodique, la collecte abusive du bois de feu et les feux de brousse, aboutissent à des CEP inférieurs à l'unité. Les travaux de Le Houerou et Hoste (1977) indiquent qu'en zone sahélienne et soudanienne, chaque millimètre de pluie produit en moyenne 2 kg de matière sèche consommable par hectare.

Les résultats ont aussi montré trois phases dans l'évolution de la phytomasse au cours des années. Une première phase où l'herbe est de faible quantité, une deuxième où elle croît jusqu'à son maximum et une dernière où elle décroît. Grouzis (1992) divise la période pluvieuse en trois phases : établissement du couvert herbacé ; croissance, fleurissement

et fructification ; dessèchement et disséminement des diaspores. Nos résultats semblent correspondre à ces phases.

La phytomasse annuelle est en moyenne de 2587 kg MS.ha$^{-1}$. Ce résultat corrobore celui trouvé par Akpo (1998) au Ferlo qui varie entre 2310 et 4360 kg MS.ha$^{-1}$ et ceux de Ngom *et al.*, (2012) qui ont trouvé 3300 kg MS.ha$^{-1}$ dans la réserve de biosphère du Ferlo. Penning de Vries et Djitèye (1982) parlent d'une phytomasse faible d'une manière générale au Sahel, de 1000 à 3000 kg MS.ha$^{-1}$. Ndiaye (2015) évoque une phytomasse herbacée qui varie en moyenne de 450 (1979) à 1880 kg MS.ha$^{-1}$ (1988) à Dahra.

## Conclusion

Les pluies qui tombent après le pic de phytomasse ne sont pas à prendre en compte dans une étude qui cherche à établir les liens entre saison des pluies et phytomasse herbacée disponible. Il est donc plus opportun de considérer la période qui va du début de la saison des pluies jusqu'au pic de phytomasse pour étudier les liens entre les paramètres de la saison des pluies et ceux de la phytomasse herbacée.

Des pluies précoces entrainent un pic de phytomasse plus élevé alors que des pluies tardives permettent d'obtenir le pic plus tôt en milieu pâturé.

L'efficience d'utilisation de la pluie ne dépend pas des paramètres de la saison des pluies définis dans cette étude. Elle devrait être étudiée en lien avec d'autres paramètres qui ne sont pas pris en compte dans ce travail.

Une meilleure connaissance des relations pluie-phytomasse herbacée est d'une grande importance pour une meilleure compréhension de la dynamique des herbacées en milieu sahélien.

**Chapitre 4**

# DYNAMIQUE ANNUELLE DE LA PHYTOMASSE HERBACÉE DISPONIBLE ET DE LA QUALITÉ DES FOURRAGES EN MILIEUX PATURÉ ET MIS EN DÉFENS

## Introduction

Déterminer la dynamique de la phytomasse disponible dans les parcours est essentielle dans une zone à vocation sylvopastorale. De cette phytomasse dépend l'élevage pastoral, activité principale de la population au Sahel, tant pour les fonctions d'entretien que de production. Les parcours herbacés sont surtout sollicités pour leur fourrage en saison des pluies car en fin de saison sèche les éleveurs se tournent vers les ligneux pour nourrir leur bétail (Ngom, 2008) du fait de la disparition de la strate herbacée. Ces ligneux sont en fait une source de fourrage non négligeable sollicités pour leurs feuilles, leurs fruits et leurs gousses surtout pendant la période de soudure. Durant cette période située en fin de saison sèche, le bétail peine à trouver du fourrage herbacé sur les parcours. Les arbres arrivent à jouer ce rôle du fait qu'ils constituent au Sahel la principale source de fourrage aérien vert en toute saison d'après Sarr *et al.*, (2013).

Cependant, une quantité de phytomasse, même suffisante, n'est pas le seul facteur important pour l'alimentation des animaux. Encore faudrait-il que cette offre de phytomasse soit d'une assez bonne qualité nutritionnelle pour pouvoir jouer le rôle qui est le sien au niveau de l'animal. Les fourrages consommés par les animaux devraient leur apporter à terme les protéines et l'énergie nécessaires à leur entretien et leur production (lait, viande, travail…). Cette énergie et cette matière minérale sont principalement tirées de la digestion de la matière organique des fourrages.

Après avoir traité de la réaction de la phytomasse herbacée à la fluctuation de paramètres climatiques au chapitre 3, il s'agit dans ce chapitre de voir la dynamique de la phytomasse et de la qualité des fourrages produits par la strate herbacée au cours de l'année. Ce sera l'occasion de voir si phytomasse disponible et qualité nutritionnelle des fourrages évoluent de la même manière ou pas, et de déterminer les périodes de meilleure disponibilité et de meilleure qualité fourragère. Ces deux données (phytomasse disponible et qualité nutritionnelle) sont également très importantes dans la gestion des pâturages en ce sens qu'elles pourraient permettre de mieux décider des meilleurs moments de fauche pour constituer des réserves de fourrage pour la période de soudure.

## 4.1 Matériel et méthodes

### 4.1.1 *Dispositif de collecte des données*

Pour l'étude de la dynamique de la phytomasse herbacée disponible et sa qualité nutritionnelle, les mêmes mesures ont été faites durant la saison des pluies et en saison sèche dans un site pâturé et un site mis en défens pour pouvoir comparer les données et voir si la mise en défens a eu des effets sur les paramètres étudiés (Figure 8).

Le site pâturé est une parcelle de 750 mètres de côté divisé en 9 sous parcelles dont celle au centre abrite une tour à flux. À l'intérieur de la sous parcelle centrale, les points de collecte sont distants de 50 mètres et à l'extérieur de 120 mètres. Deux transects perpendiculaires de 1000 mètres y sont installés.

Le site mis en défens est une parcelle de 300 mètres de côté avec deux transects perpendiculaires de 300 mètres. Chaque transect compte 14 points de collecte distants de 21,5 mètres.

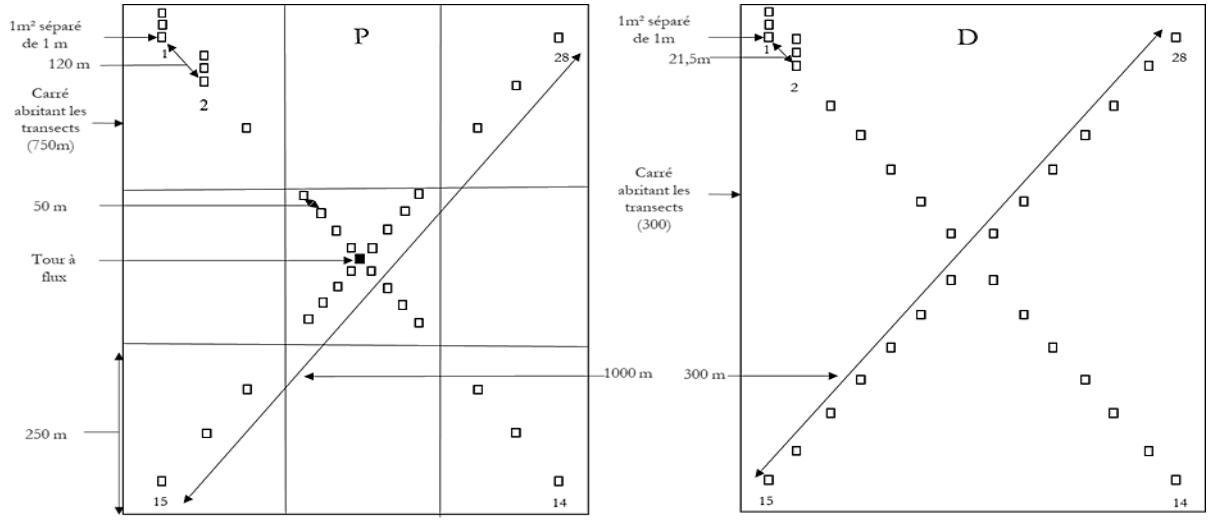


**Figure 8 :** Dispositif de collecte des données.

### 4.1.2 *Collecte des données*

Les mesures ont commencé dix jours après la première pluie et se sont arrêtées au moment où il n'y a presque plus d'herbe sur le site. Le pas de temps est de dix jours en saison des pluies et de 30 jours en saison sèche. Au total, vingt-huit (28) points sont collectés à chaque date de mesure dans chaque site. Entre deux dates de mesure, une distance de 1 mètre est laissée sur chaque point.

Les mesures ont concerné :

- Le poids frais de la phytomasse par coupe au ras de sol ;
- Le poids sec de la phytomasse après passage à l'étuve à 65 °C jusqu'à obtention d'un poids constant ;
- La prédiction, par spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR), de la matière organique et sa digestibilité après broyage des échantillons secs.

### 4.1.3 *La spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR)*

La SPIR est une technique analytique basée sur l'absorption de la lumière par la matière organique des échantillons. Les longueurs d'onde dans le proche infrarouge du spectre lumineux (800-2500 nanomètres) interagissent avec les liaisons chimiques entre les atomes des molécules organiques (carbone, azote, hydrogène…). L'absorption de la lumière est donc liée à la quantité de liaisons chimiques dans l'échantillon et à leurs interactions, donc in fine à la composition chimique. Celle-ci peut donc être estimée par la simple mesure de l'absorption de lumière infrarouge. Cette mesure se réalise avec un spectromètre, soit en transmission (la lumière passe à travers un échantillon fin ou transparent), soit en réflexion (la lumière est réfléchie par un échantillon plus épais ou opaque).

La SPIR nécessite une phase d'étalonnage qui lie le spectre infrarouge aux résultats des mesures faites au laboratoire par des méthodes de référence (composition chimique, valeur nutritive...). L'étalonnage doit être réalisé pour chacun des produits et chacune des composantes chimiques que l'on souhaite prédire par la suite.

La contamination assez courante des échantillons par des minéraux externes (sable, terre…) modifie les résultats de composition chimique et les valeurs d'absorption spectrale.

Bien que la SPIR soit basée sur la réponse des liaisons chimiques, les spectres peuvent parfois être mis en relation avec des propriétés plus complexes des échantillons, grâce aux relations entre ces propriétés et des caractéristiques chimiques (ou physico-chimiques) des échantillons. Ce qui permet notamment de prédire parfois avec succès des valeurs nutritives agrégatives, comme des valeurs énergétiques ou de digestibilité (Bastianelli *et al*., 2018).

### 4.1.4 *Analyses statistiques*

Le test de Student a été utilisé pour comparer les valeurs prises par les paramètres entre les deux sites et entre les deux années à chaque date de mesure.

## 4.2 Résultats

### 4.2.1 *Phytomasse herbacée disponible au cours de l'année*

La Figure 9 présente la dynamique annuelle de la phytomasse herbacée disponible dans le site pâturé en 2018 et 2019.

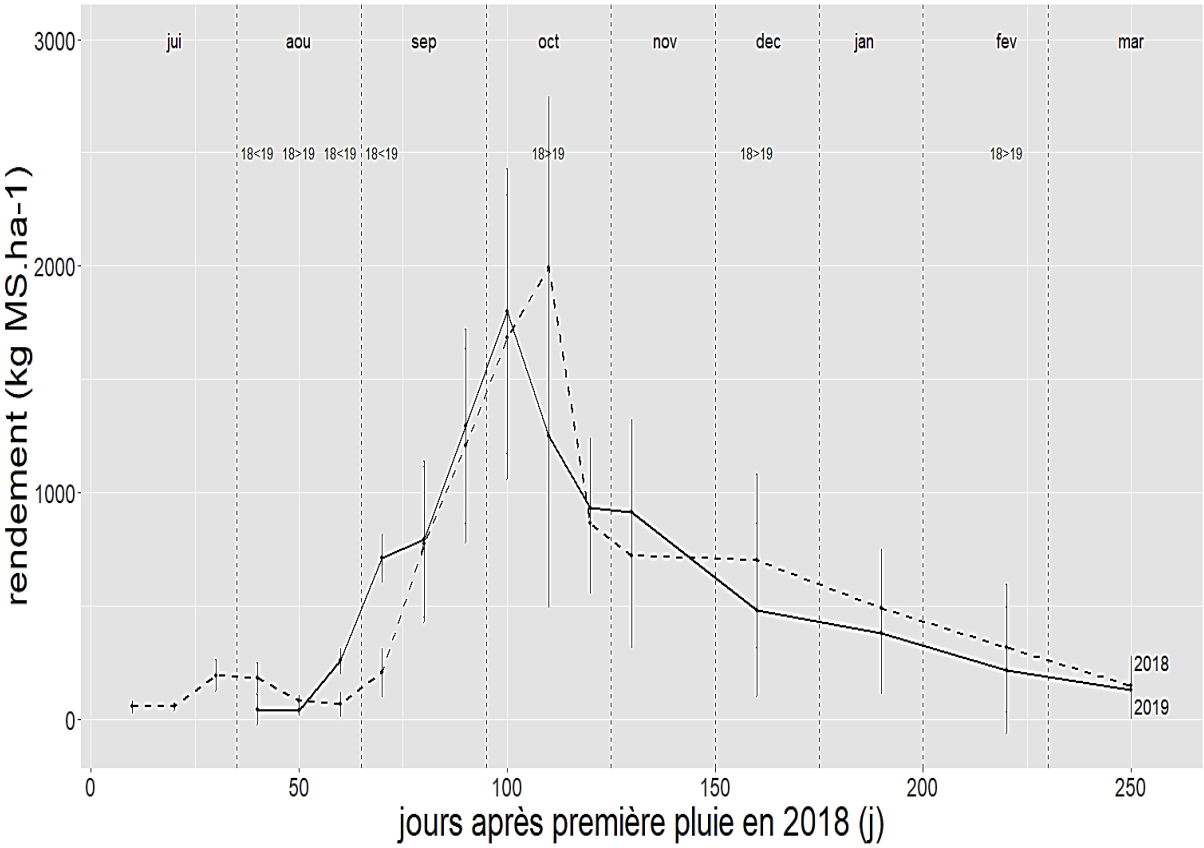


**Figure 9 :** Dynamique annuelle de la phytomasse dans le site pâturé en 2018 et 2019.

Les barres d'erreur représentent les écarts types ; les données de 2018 et 2019 ont été mises de sorte qu'elles correspondent aux mêmes dates calendaires.

En 2019, la germination et l'installation se sont faites en un temps très court par rapport à 2018. La croissance a démarré 30 jours après germination-installation en 2019 et 80 jours après ces phases en 2018. Jusqu'au début du mois de septembre, la phytomasse est inférieure en 2018 dans le site pâturé. Pour le reste de la saison et d'un point de vue statistique, le niveau de phytomasse varie peu entre les deux années avec quelques rares fois des différences significatives en faveur de 2018.

Le pic de phytomasse disponible de 1800 kg MS.ha$^{-1}$ est atteint plus tôt en 2019 et reste inférieur à celui de 1992,5 kg MS.ha$^{-1}$ en 2018.

### 4.2.2 *Phytomasse herbacée disponible en milieux pâturé et mis en défens*

A la Figure 10 est présentée l'évolution comparée de la phytomasse herbacée disponible entre le site pâturé et le site mis en défens au cours de l'année en 2018 et en 2019. En 2018, sur la période qui va jusqu'au pic de phytomasse (mois d'octobre), la phytomasse disponible est égale entre les deux sites de façon globale. Il existe néanmoins quelques variations qui se traduisent par une phytomasse disponible parfois supérieure dans un site et parfois dans l'autre.

Au cours de la saison sèche, il y a moins de phytomasse dans le site pâturé globalement. Les maxima de phytomasse disponible sont très proches entre les deux sites, avoisinant les 2000 kg MS.ha$^{-1}$.

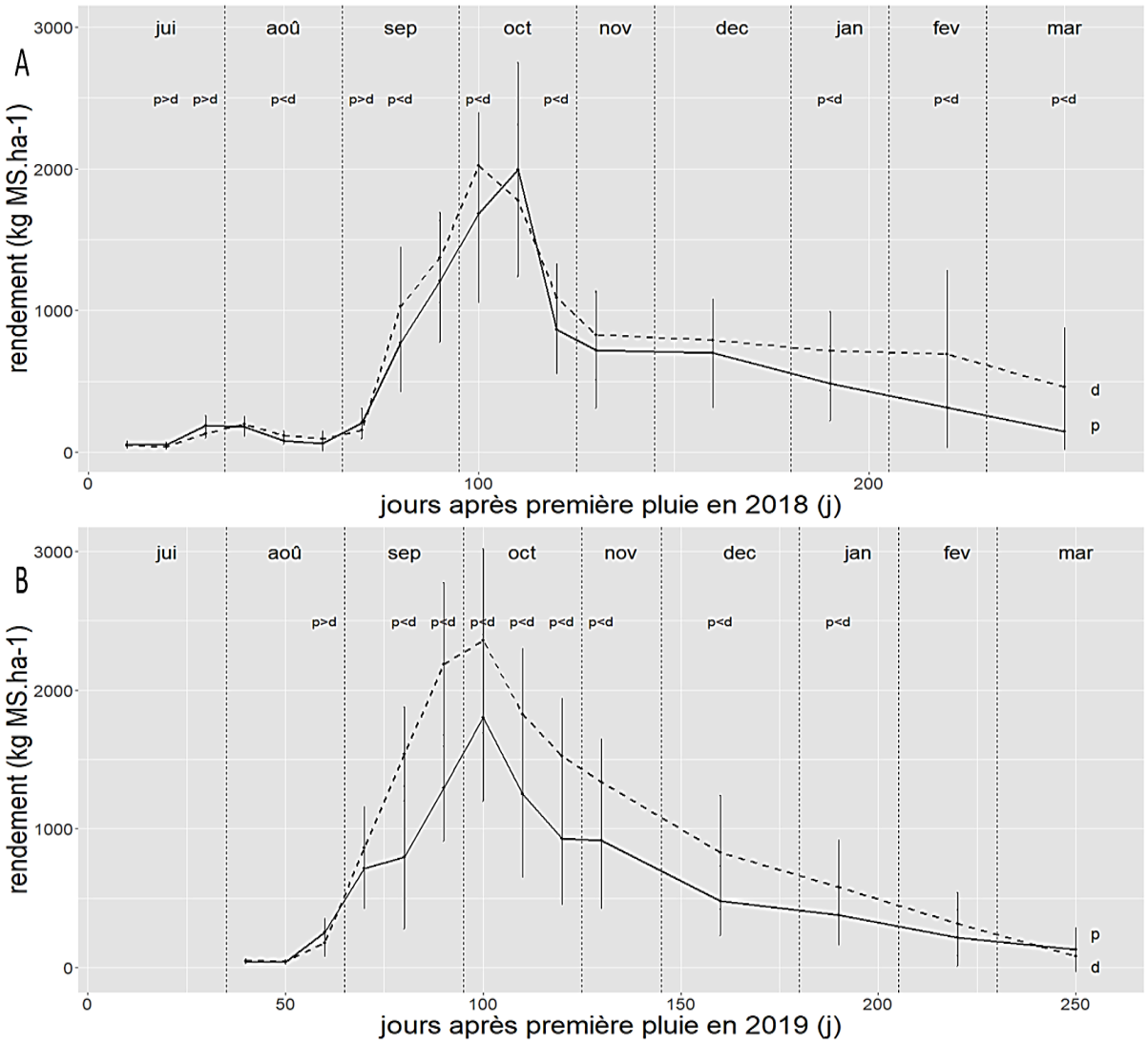


**Figure 10 :** Effets de la mise en défens sur la phytomasse herbacée disponible en 2018 (A) et 2019 (B).

p = site pâturé, d = site mis en défens ; les barres d'erreur représentent les écarts types.

Contrairement à 2018 où la phytomasse a peu varié peu entre les deux sites, cette phytomasse est dans l'ensemble inférieure dans le site pâturé en 2019. Les pics de phytomasse ont été atteints à la même date (début octobre) mais le pic du site pâturé de 1800 kg MS.ha$^{-1}$ est en dessous de celui du site mis en défens qui est de 2357 kg MS.ha$^{-1}$.

### 4.2.3 *Teneur en matière organique des fourrages au cours de l'année*

La Figure 11 présente la teneur en matière organique des fourrages au cours de la saison des pluies et de la saison sèche.

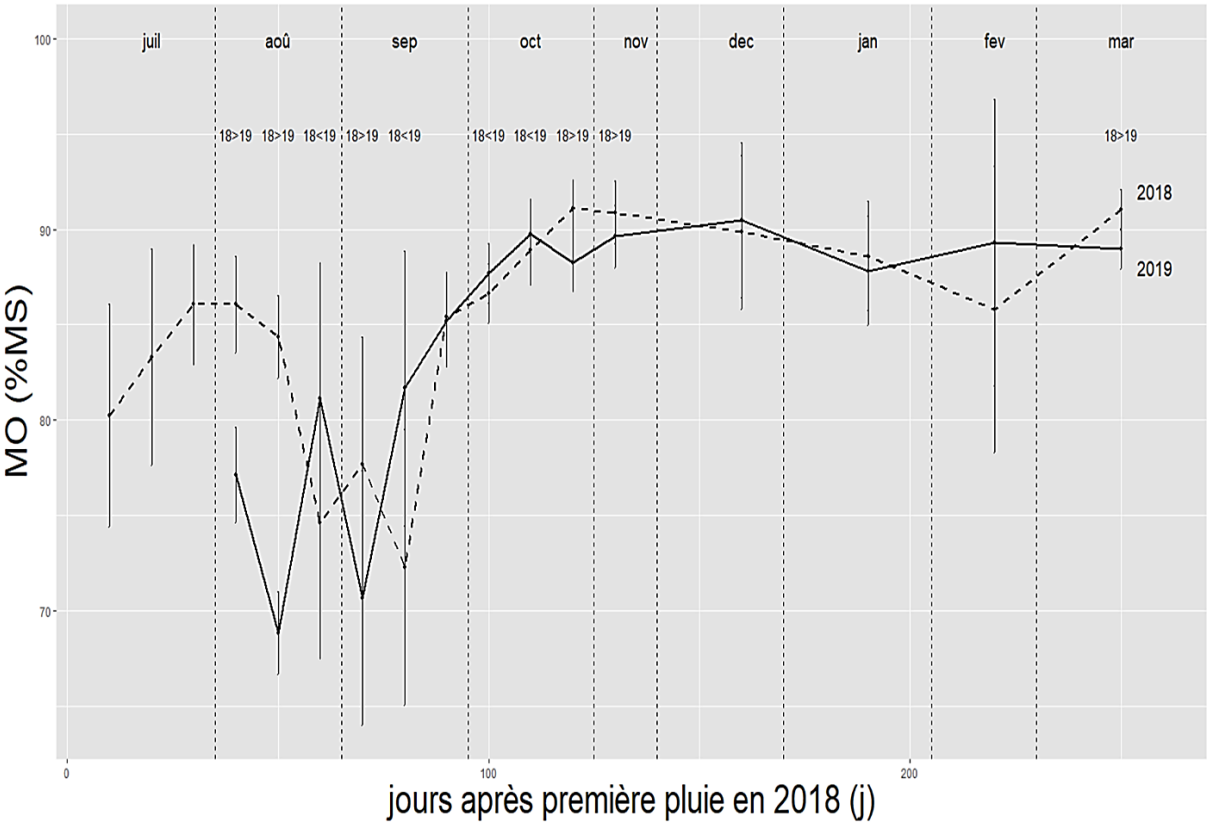


**Figure 11 :** Dynamique de la teneur en matière organique (MO) de la matière sèche des fourrages en 2018 et en 2019.

Les barres d'erreur représentent les écarts types et les données de 2018 et 2019 ont été mises de sorte qu'elles correspondent aux mêmes dates calendaires.

Au cours de l'année, les fourrages présentent une teneur en matière organique plus élevée en saison sèche (novembre à mars) par rapport à la saison des pluies (juillet à octobre) en milieu pâturé. La moyenne en saison sèche se situe autour de 90% alors qu'elle est d'environ 80% en saison des pluies. Nous remarquons en saison des pluies une certaine variabilité (diminution et augmentation) de la teneur en matière organique sur la même

année et également entre nos deux années de suivi (2018 et 2019). En saison sèche, la teneur en matière organique des fourrages ne varie que très peu (en intra et inter-année).

### 4.2.4 *Digestibilité de la matière organique au cours de l'année*

La dynamique de la digestibilité de la matière organique au cours de l'année est présentée à la Figure 12.

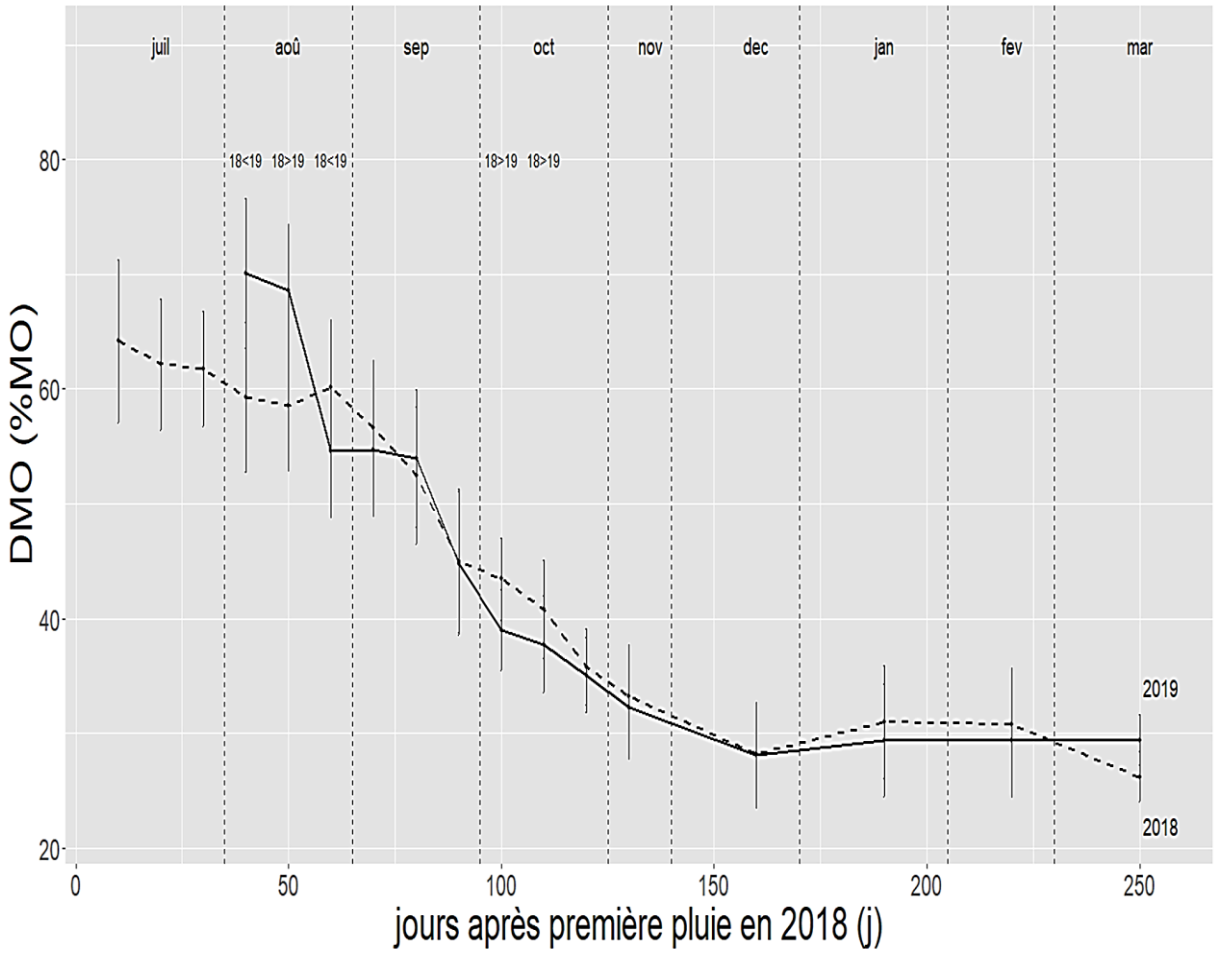


**Figure 12 :** Dynamique de la digestibilité de la matière organique (DMO) en 2018 et en 2019. Les barres d'erreur représentent les écarts types et les données de 2018 et 2019 ont été mises de sorte qu'elles correspondent aux mêmes dates calendaires.

La digestibilité de la matière organique en milieu pâturé diminue de manière régulière au cours de la saison des pluies et reste plus ou moins stable au cours de la saison sèche. Les valeurs moyennes du taux de digestibilité de la matière organique sont de 52% et 30% pour la saison des pluies et la saison sèche, respectivement.

Entre les deux années, cette digestibilité de la matière organique varie peu malgré des différences significatives notées parfois, en saison des pluies.

### 4.2.5 *Digestibilité de la matière organique en milieux pâturé et mis en défens*

La digestibilité de la matière organique en milieux pâturé et mis en défens lors des années de mesure est présentée à la Figure 13.

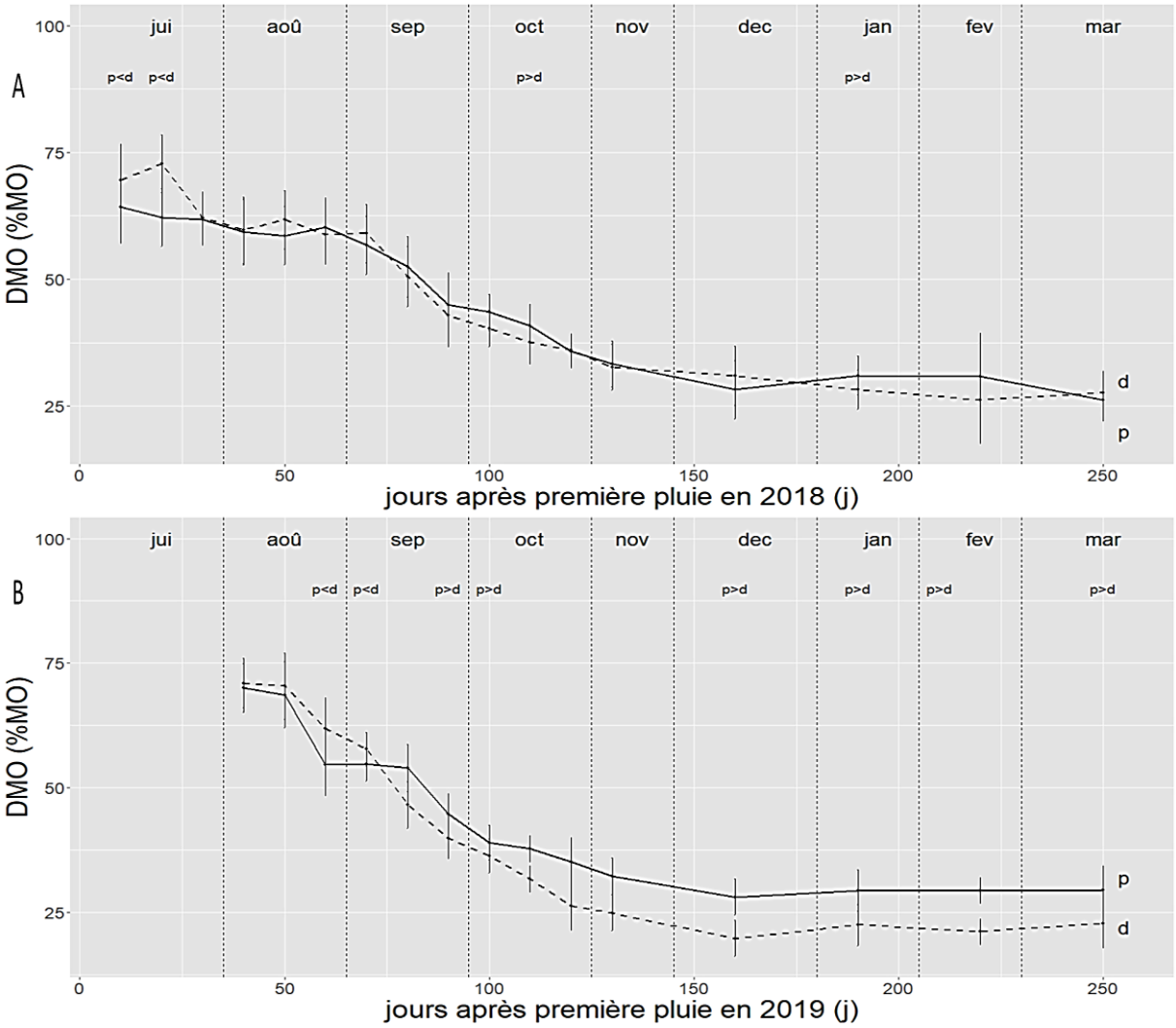


**Figure 13 :** Effets de la mise en défens sur la digestibilité de la matière organique (DMO) en 2018 (A) et 2019 (B).

p = site pâturé, d = site mis en défens ; les barres d'erreur représentent les écarts types.

Entre le milieu pâturé et le milieu mis en défens, la digestibilité de la matière organique a peu varié au cours de l'année à saison des pluies précoce (2018). Cependant, au cours de l'année où la saison des pluies a été tardive (2019), le fourrage présente une digestibilité de sa matière organique plus élevée dans le milieu pâturé par rapport à celle observée dans le milieu mis en défens en saison des pluies comme en saison sèche.

### 4.2.6 *Rendement en matière organique digestible des milieux pâturé et mis en défens*

La Figure 14 représente la quantité de matière organique digestible (MOD) des parcours de Dahra au cours de l'année.

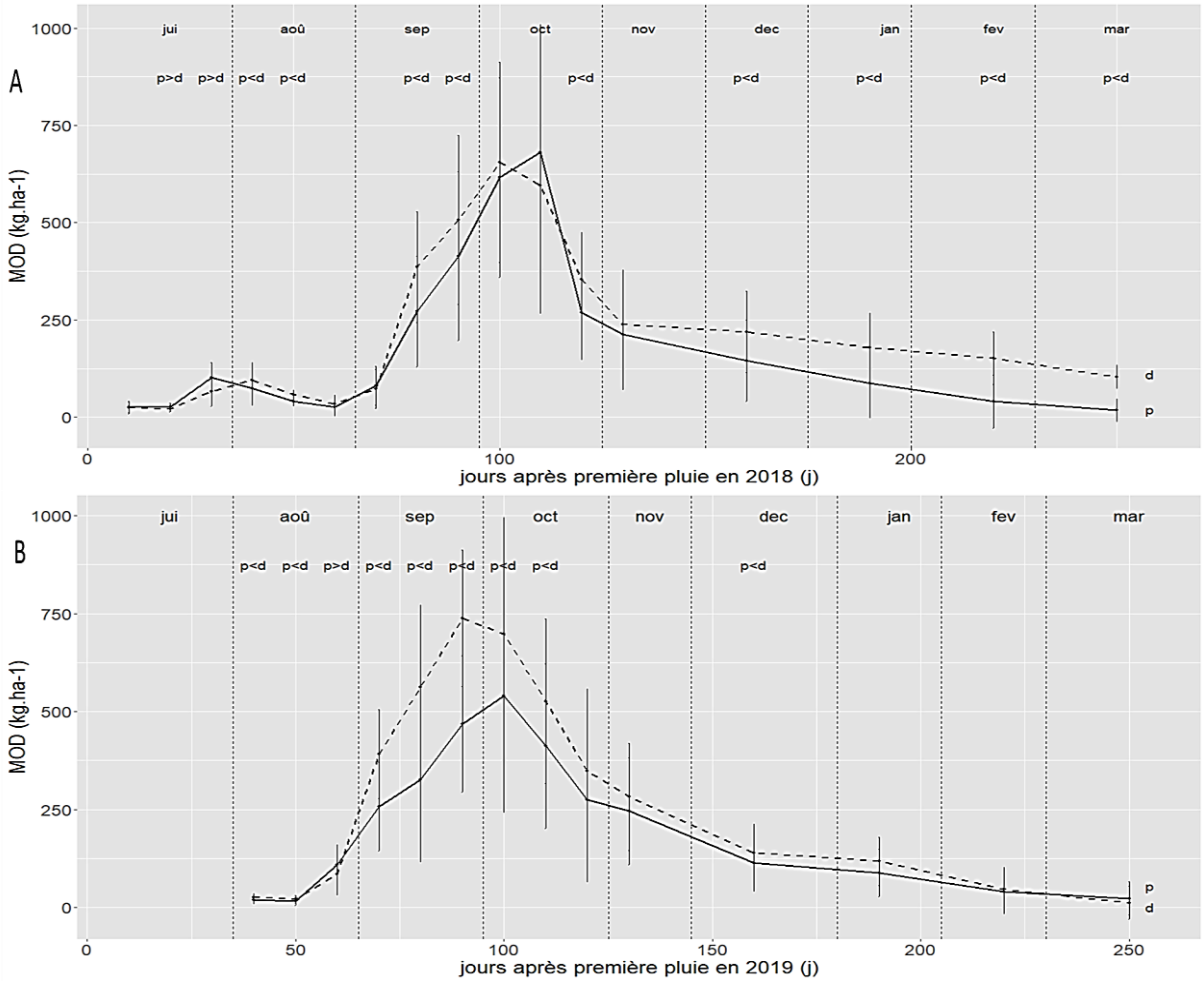


**Figure 14 :** Rendement des pâturages en matière organique digestible (MOD) entre un site pâturé (p) et un site mis en défens (d) en 2018 (A) et 2019 (B).

p = site pâturé, d = site mis en défens ; les barres d'erreur représentent les écarts types.

En 2018, le rendement des fourrages en matière organique digestible en saison des pluies est d'environ 230 kg.ha$^{-1}$ en moyenne tandis qu'il est d'environ 160 kg.ha$^{-1}$ en saison sèche, en milieu pâturé. Le rendement atteint sa valeur maximale en octobre où il avoisine les 650 kg.ha$^{-1}$. En 2019, le rendement moyen en matière organique digestible varie de 430 kg.ha$^{-1}$ en saison des pluies à 125 kg.ha$^{-1}$ en saison sèche.

Entre les deux milieux considérés, la tendance est plus à un rendement en matière organique digestible plus important dans le milieu mis en défens par rapport au milieu pâturé.

### 4.2.7 *Rendement des pâturages en matière sèche, matière organique et matière organique digestible*

La Figure 15 représente les rendements en matière organique et en matière organique digestible de la matière sèche produite par les parcours de Dahra.

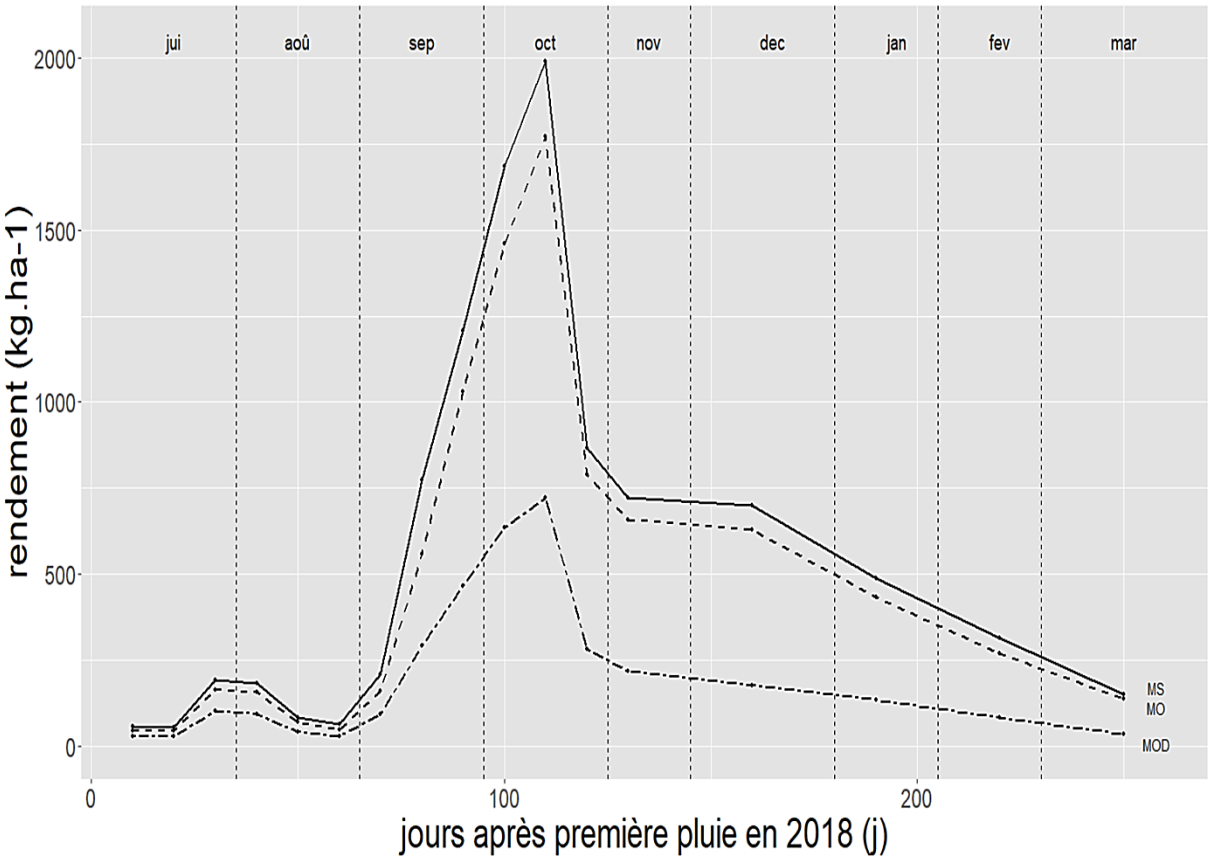


**Figure 15 :** Rendement des pâturages en matière sèche (MS), en matière organique (MO) et en matière organique digestible (MOD).

Cette figure montre que sur une quantité maximale de 2000 kg MS.ha$^{-1}$, seules 700 kg environ correspondent à la matière organique digestible, c'est-à-dire la partie du fourrage qui sera utilisable comme source d'énergie et de protéine par l'animal. Par ailleurs, la figure montre qu'en moyenne, pendant la saison des pluies, sur 644 kg.ha$^{-1}$ de matière sèche produite, seulement 230 kg (36%) constituent la part de matière organique

digestible tandis qu'en saison sèche, sur 586 kg.ha$^{-1}$ de matière sèche produite, seulement 159 kg (27%) représentent la part de matière organique digestible.

### 4.2.8 *Production de lait permise par la phytomasse disponible au cours de l'année dans les parcours de Dahra*

À la Figure 16 est représentée la quantité potentielle de lait que peuvent produire des vaches de 250 kg de poids vif à partir des fourrages produits par les parcours de Dahra.

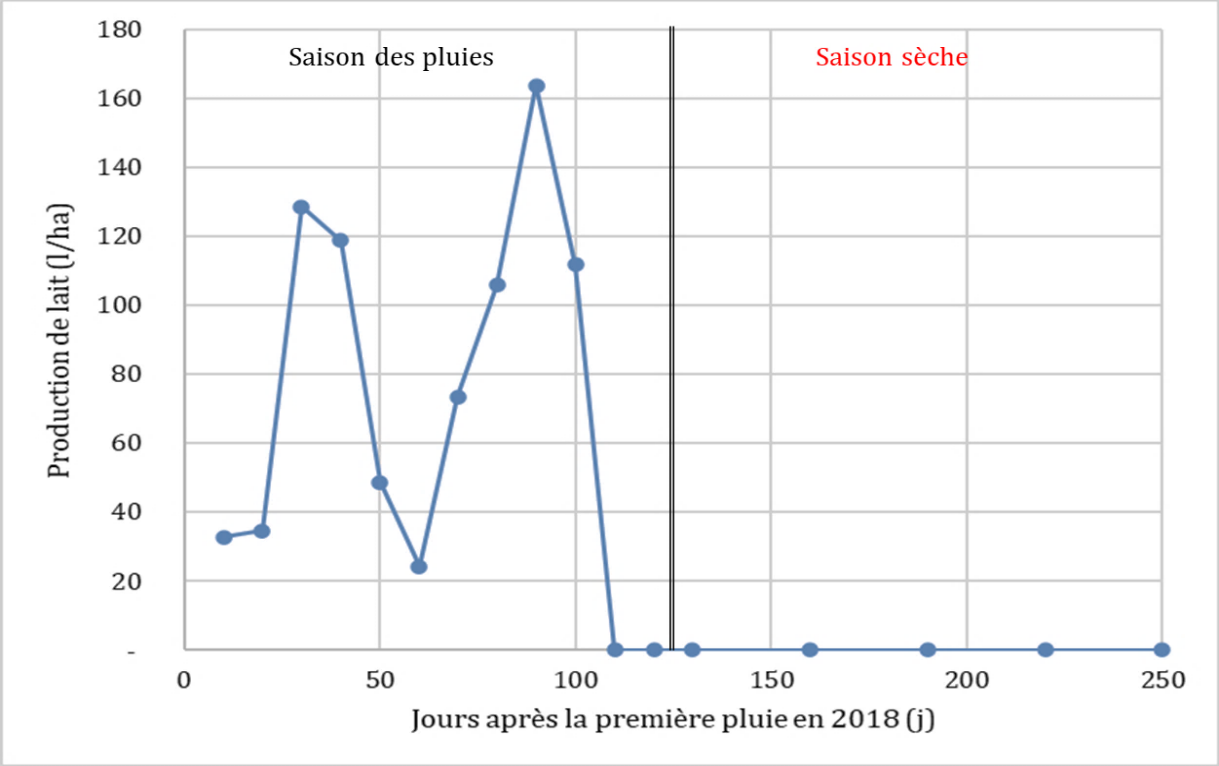


**Figure 16 :** Estimation de la production de lait à partir du rendement en matière sèche et de la valeur nutritionnelle des parcours de Dahra.

Au regard de cette figure, nous constatons que la quantité (rendement) et la qualité (valeur nutritionnelle) de la phytomasse produite par les parcours à Dahra lors de la saison des pluies a été suffisante pour couvrir les besoins d'entretien et de production de lait des animaux au pâturage. Lors de la saisons sèche, les apports nutritionnels des parcours ne permettent pas de couvrir les besoins pour la production de lait.

Au cours de la saison des pluies de 2018, le rendement en matière sèche et la quantité d'énergie nette (unité fourragère) des parcours permettraient de nourrir, en moyenne, 9 vaches de 250 kg de poids vif et qui produiraient 84 litres de lait tous les 10 jours à

l'hectare. Cette production serait maximale au 90ième jour après la première pluie (162 litres/ha) (mois de septembre).

## 4.3 Discussion

***Sur la phytomasse disponible***

Ce chapitre avait pour objectif de montrer la dynamique de la phytomasse et d'évaluer la qualité des fourrages herbacés au cours de l'année.

Le cycle de vie des herbacées consiste en une première phase pendant laquelle la phytomasse est faible, une deuxième phase où elle s'accélère et atteint son pic et une troisième phase pendant laquelle elle décroît progressivement. Ce résultat confirme celui de Grouzis (1992) qui nomme ces phases : établissement du couvert herbacé ; croissance, fleurissement et fructification ; dessèchement et disséminement des diaspores. Ces phases correspondraient respectivement à des pluies faibles et irrégulières, des pluies fortes régulières et enfin une baisse de l'intensité et de la fréquence des averses (Carriere, 1989). D'après Cornet (1981), la germination est suivie par une phase durant laquelle l'augmentation de phytomasse aérienne est très lente. Cette période correspond selon lui au tallage des graminées, à l'installation de diverses espèces tardives et à une importante croissance racinaire. Il s'en suit une phase de croissance rapide pratiquement linéaire durant laquelle l'élaboration de phytomasse est très active due à de meilleures conditions hydriques : c'est la période de montaison, floraison et fructification des graminées. Enfin interviennent une courte phase de stabilisation pour permettre la maturation des semences, une décroissance rapide de la phytomasse suite à la mort des organes et à la dissémination des diaspores et le passage de la phytomasse en litière.

En année de saison des pluies tardive, le temps de germination-installation des jeunes plants est raccourci. En effet, Cornet (1981) et Cissé (1986) ont rapporté que la plupart des espèces sont susceptibles de raccourcir leur cycle et d'assurer une fructification malgré un développement très réduit surtout en période de pluies tardives. Ce qui est visible sur nos résultats avec le raccourcissement de la phase germination-installation. Cela a permis aux premières vagues qui ont germé d'entamer rapidement la période de croissance.

Le niveau de phytomasse herbacée varie peu entre les deux années malgré le retard de démarrage de la saison en 2019. Le pic de phytomasse de 1800 kg MS.ha$^{-1}$ est atteint plus

tôt en année de saison des pluies tardive et reste inférieur à celui de 1992,5 kg MS.ha$^{-1}$ en année de saison des pluies précoce.

La productivité des pâturages sahéliens varie d'une année à l'autre avec la pluviosité (Boudet, 1975 ; Akpo, 1990 ; Boutrais, 1994 ; Tracol, 2004 ; Miehe *et al*. 2010 ; Bechir et Mopate, 2015). Par ailleurs, Penning de Vries et Djitèye (1982) ainsi que Hiernaux et Le Houerou (2006) ont souligné le rôle déterminant que jouent la distribution et la fréquence des pluies dans les variations de la phytomasse. Or, dans la description de la situation pluviométrique des années de suivi, il a été souligné la meilleure distribution des pluies en 2019. Aussi, il y avait moins de longues périodes de sécheresse en début de saison cette même année, ce qui amoindrit les pertes de vagues de germination par asséchement des couches superficielles du sol. En plus, Hiernaux et Le Houerou (2006) ont évoqué la bonne capacité de réaction des herbacées (par rapport aux pérennes) aux variations du régime hydrique des sols. Abondant dans le même sens, Akpo (1990) remarque face à la variabilité interannuelle de la pluviosité une certaine plasticité des phytocénoses malgré la dominance des graminées. Tous ces arguments n'ont pourtant pas pu jouer en faveur d'une phytomasse disponible plus importante en 2019 (meilleure distribution des pluies, moins de longues pauses pluviométriques).

Avec le retard du démarrage de la saison des pluies, la composante herbacée a atteint plus tôt son pic de phytomasse mais celui-ci est resté plus faible comparé à une année de saison des pluies plus précoce. Le fait que le pic soit moins élevé en année de saison des pluies tardive vient confirmer le lien entre le début de la saison et la phytomasse évoqué au chapitre 3.

La phytomasse est inférieure dans le site pâturé en comparaison au site mis en défens. Ce résultat confirme celui de Khalid *et al*., (2015) qui ont trouvé que la mise en défens augmentait la production de phytomasse dans une formation steppique au sud de l'Algérie. Aussi il corrobore les travaux de Cissé (1986) pour qui la phytomasse est plus faible en zone fortement exploitée comparée à une zone peu exploitée. Ce résultat confirme enfin Penning de Vries et Djitèye (1982) selon qui l'élevage peut causer un surpâturage qui se manifeste par une réduction de la productivité. De même, les travaux de Rakotoarimanana *et al*., (2008) montrent une réduction de la phytomasse par la pâture. Cependant, Diawara *et al*., (2018) précisent que la pâture ne modifie de façon significative la dynamique de la masse herbacée sèche que lorsqu'elle atteint ou dépasse

un certain seuil de charge moyenne en UBT (0,08 UBT/ha dans leur cas). Cela pourrait laisser supposer que ce seuil n'a pas été atteint dans le site pâturé lors de notre étude. En plus, Hiernaux et Turner (1996) expliquent que grâce à la capacité de tallage et de repousse, le piétinement et le prélèvement fourrager en saison des pluies ne peuvent réduire la production d'herbacées annuelles au-delà de 50%. Par contre en saison sèche, ils se conjuguent pour accélérer le passage en litière (Hiernaux et Le Houérou, 2006). L'effet de la pâture est secondaire à celui de la distribution des pluies (Hiernaux et Gérard, 1999) et à ceux des événements climatiques (Hiernaux et Le Houérou, 2006).

Par contre, des essais de mise en défens contre toute mise en culture, prélèvement forestier, incendie et pâture réalisés au Niger (réserve de Sadoré), au Burkina Faso et au Sénégal ont abouti à une production herbacée légèrement inférieure à celle du témoin pâturé, surtout à cause de l'importance relative supérieure des dicotylédones (Hiernaux et Le Houérou, 2006). Aussi, selon son intensité, la consommation de la matière végétale par les animaux induit soit une croissance compensatoire soit un épuisement des plantes Fournier (1994). Toujours d'après le même auteur, le niveau de production d'un site pâturé dépend ainsi des potentialités du milieu et de l'intensité de pâture. Ces arguments peuvent expliquer le fait qu'en 2018 la différence de phytomasse n'était pas très nette entre le site pâturé et le site mis en défens.

***Sur la qualité des fourrages***

Les fourrages sont composés d'eau et de matière sèche. La teneur en eau varie d'environ 10% (foin) à 90% (fourrage vert). La matière sèche comprend d'une part la matière organique composée des constituants pariétaux, des glucides intracellulaires (amidon et sucres solubles), des lipides, et des matières azotées totales ; et d'autre part de la matière minérale. La composition minérale et organique des plantes fourragères est notamment influencée par les conditions du milieu (Breman et Ridder, 1991 ; Akpo *et al*., 2003). Différents facteurs de variation peuvent exercer une influence sur cette composition. Parmi ceux-ci, l'espèce botanique, le stade de développement, le cycle de végétation et la disponibilité en nutriments présentent une importance particulière. Le stade de développement et le cycle de végétation influent sur la composition minérale de la plante, non seulement par les variations de la teneur en minéraux de chaque organe de la plante, mais surtout par les modifications des rapports en poids de ces organes entre eux. Ainsi la diminution du rapport feuilles/tiges, dans le cas des graminées, joue un rôle prépondérant dans la diminution de la teneur en matière minérale, et ceci

particulièrement chez les graminées. Chez les légumineuses, ce rapport varie beaucoup moins (Jarrige, 1988). Nos résultats confirment donc que les plantes s'appauvrissent en éléments minéraux en vieillissant et par conséquent, la teneur relative de la matière organique augmente avec le temps. D'ailleurs, Breman et Ridder (1991), Akpo *et al*., (2003) et Ngom (2008) ont mentionné que la qualité des fourrages des pâturages se modifie fortement au cours de l'année. Hiernaux et Le Houérou (2006) ont également remarqué que le contraste saisonnier au plan de la qualité est très marqué surtout pour les bovins, ovins et les ânes qui broutent préférentiellement les herbacées.

La baisse de la teneur en matière organique observée au cours de la saison des pluies en 2018 coïncide avec une période de régularité des pluies. Cette période, qui fait suite à une longue pause de pluviométrie d'environ un mois, a déclenché une nouvelle vague de germinations qui a donné ainsi des plantes très jeunes, plus riches en matière minérale et par conséquent moins riches en matière organique. Par ailleurs, les variations observées pour les teneurs en matière organique lors de la saison des pluies entre les deux années pourraient être attribuées à la différence d'âge des plantes. En fait, à une date donnée, les plantes en 2018 sont âgées de 30 jours de plus que celles de 2019 et donc sont composées de teneurs en matière organique et minérale différentes.

La digestibilité de la matière organique (DMO) est une mesure de la concentration en nutriments digestibles et détermine la part de la matière organique utilisable comme source d'énergie pour l'animal (Seck, 1993). C'est un critère important pour l'évaluation de la qualité des fourrages. Chez la plupart des plantes fourragères, en particulier chez les graminées, la DMO est liée au développement des plantes et diminue peu à peu au cours du vieillissement. La digestibilité d'une plante donnée dépend essentiellement du stade de végétation ou du nombre de jours de croissance ; elle diminue avec l'âge du fourrage. À un stade donné de végétation, il existe des différences entre espèces. Les constituants solubles des fourrages (sucres, acides organiques, acides aminés libres, certaines protéines, substances pectiques, etc.) plus présents à l'état jeune des plantes, sont dégradés très rapidement et en totalité dans le rumen. La cellulose et les hémicelluloses des parois non lignifiées sont elles aussi dégradées dans une proportion très importante mais à un rythme plus lent. Ce rythme dépend de l'activité des microorganismes du rumen, elle-même sous la dépendance des quantités d'énergie et d'azote fermentescibles dont ils disposent. Les tissus lignifiés et les épidermes recouverts d'une cuticule ne sont pratiquement pas attaqués par les bactéries cellulolytiques du rumen ou du gros intestin,

et seront rejetés dans les fèces. Ils constituent l'essentiel de la fraction non digestible des fourrages et qui est retrouvée en quantité non négligeable dans ces fourrages en saison sèche (Jarrige, 1988). Pour une espèce donnée, la teneur du fourrage en constituants pariétaux (NDF), particulièrement en parois lignifiées (ADF ou lignocellulose), est le principal facteur de variation de la vitesse de digestion (mécanique et microbienne) dans le rumen et de la digestibilité. Quand la teneur en ADF s'accroît au cours du développement des plantes, le temps de mastication (ingestion et rumination) augmente, de même que le temps de rétention moyen des particules dans le rumen. De plus, la digestion est moins complète que pour un fourrage jeune, moins lignifié (Jarrige, 1988). La diminution de la digestibilité de la matière organique observée dans notre étude au cours de l'année (saison des pluies puis saison sèche) serait donc la conséquence directe d'une diminution des constituants solubles des fourrages (sucres, protéines) et d'une augmentation des constituant pariétaux (ADF et notamment ADL).
Le retard de la saison des pluies enregistrée en 2019 entraine à chaque date une différence d'âge des plantes de 30 jours entre les deux années (2018 et 2019). Ce qui pourrait expliquer les quelques différences de la digestibilité de la matière organique observées en saison des pluies entre années.

Au Sahel, la végétation se compose d'une strate herbacée et d'une strate ligneuse éparse, dominée par des épineux (Hiernaux et Le Houérou, 2006). La strate herbacée pousse avec les premières pluies de mousson et les jeunes plantules se développent rapidement entre mi-juillet et fin septembre (Grouzis, 1992b). Ce développement est contrôlé par l'eau disponible dans le sol, mais aussi par la disponibilité en éléments minéraux comme l'azote et le phosphore (Penning de Vries et Djitèye, 1982). Après cette courte période de vie active, les herbacées se dessèchent sur pied et constituent le disponible fourrager pour le bétail durant les 9 à 10 mois de la saison sèche (Boudet, 1987).

Érigée en litière, cette masse herbacée décroît tout au long de la saison sèche, même en absence de pâture (Grouzis, 1987 ; Boudet, 1989).s Toutefois, le rôle du bétail dans ces processus est déterminant car il accélère la disparition de la masse herbacée à travers le prélèvement fourrager (Guérin *et al.*, 1987), mais peut également augmenter le recouvrement de la végétation herbacée. Ce recouvrement ne tient pas seulement compte du prélèvement par les animaux mais aussi du comportement de chaque espèce végétale

à l'issue du broutage. Le pâturage favorise le tallage de certaines espèces, c'est-à-dire qu'au lieu de croître en hauteur les touffes s'étalent en largeur.

En milieu pâturé le renouvellement plus régulier de la phytomasse aura comme conséquence la diminution de l'âge moyen du couvert herbacé et donc une augmentation des teneurs en constituants solubles des fourrages (sucres, protéines) et une diminution des constituants pariétaux. Si la pâture est bien gérée (respect de la charge animale, périodes de repos, etc.) elle améliore la qualité fourragère des parcours, confirmant Thébaud *et al*., (1995).

En milieu mis en défens par contre, certes les plantes émettent de nouveaux fragments au cours de leur croissance, mais une bonne partie de la phytomasse se dessèche sur pied, et se lignifie plus rapidement, entrainant une diminution de la digestibilité de la matière organique des fourrages.

Nous avons constaté que le rendement en matière sèche (et par conséquent en matière organique) était plus important en 2019 qu'en 2018. Ceci a été très probablement lié à la meilleure distribution des pluies observée en 2019 par rapport à l'année 2018 qui s'est caractérisée par deux pauses de pluviométrie d'environ un mois.

Le rendement (en $kg.ha^{-1}$) en matière organique digestible est calculé à partir du rendement en matière organique (paramètre quantitatif) et de la digestibilité de cette même matière organique (paramètre qualitatif). Même si nous avons observé (cf. point précédent) que la digestibilité de la matière organique des fourrages du milieu pâturé était supérieure à celle des fourrages du milieu mis en défens, le rendement en matière organique plus important observé dans les milieux mis en défens a eu comme conséquence une augmentation, parfois significative, de la quantité de matière organique digestible par hectare.

La matière sèche des fourrages herbacés n'est pas entièrement digérée par les animaux, une part considérable s'avère indigestible notamment par la présence de tissus lignifiés, et sera rejetée dans les fèces. En plus des paramètres quantitatifs de rendement, souvent présentés dans la littérature, il nous semble très important la prise en compte des paramètres qualitatifs (teneur en protéine, teneur en fibres, digestibilité). Ces derniers permettent d'estimer avec beaucoup plus de précision la valeur nutritionnelle des fourrages pour répondre aux besoins des animaux en termes d'entretien et de production.

Quel que soit l'animal, sa ration journalière doit mettre à l'équilibre besoins nutritionnels des animaux et apports nutritionnels des ressources alimentaires (fourrages, sous-produits, aliments concentrés, etc.). Nous distinguons généralement deux types de besoins, les besoins d'entretien et les besoins de production. Les besoins d'entretien d'un bovin correspondent aux besoins de l'animal pour se maintenir en vie à un poids constant et sans production aucune. Ils comprennent les besoins du métabolisme basal, c'est-à-dire ceux de l'animal strictement au repos et les besoins liés au mode de vie (activité physique). Ainsi, le pâturage, qui requiert des déplacements de la part de l'animal, génère des dépenses plus élevées que la stabulation libre, et correspond donc à des besoins d'entretien plus élevés. Les besoins de production correspondent aux besoins des bovins pour assurer leurs productions (croissance, gestation, production laitière et engraissement, etc.).

Dans notre étude, la production potentielle de lait a été calculée à partir des apports nutritionnels des ressources qui sont eux-mêmes calculés à partir du rendement et de la quantité d'unités fourragères (énergie nette) de la phytomasse à chaque date de mesure. Les besoins d'entretien des bovins au pâturage ont donc été pris en compte dans notre calcul. La production potentielle de lait est donc dépendante de la phytomasse produite mais également de la qualité nutritionnelle de cette phytomasse. Ceci justifie la ressemblance de tendance de la courbe de production potentielle de lait à celle de production de matière sèche (ou de matière organique digestible) en saison des pluies. Lors de la saison des pluies en 2018, les pauses de pluviométrie évoquées précédemment ont occasionné un arrêt temporaire de la croissance des végétaux et donc une perte de la phytomasse sur pied et également une diminution de la qualité nutritionnelle (moins de protéines, plus de constituants pariétaux). Cette perte de quantité et de qualité de la phytomasse est à l'origine de la baisse du rendement en lait des animaux. Après le pic de phytomasse disponible (110$^{\text{ième}}$ jour après la première pluie), la croissance végétative s'est arrêtée et le disponible fourrager a diminué. Ensuite, dès le début de la saison sèche où il n'y a plus de repousse de plantes, le prélèvement fourrager par les animaux et les insectes herbivores, combiné au piétinement accélèrent l'épuisement de la phytomasse disponible. Le peu de phytomasse qui en reste ne suffira pas pour permettre aux animaux de satisfaire leurs besoins de production de lait, et même parfois de satisfaire les besoins d'entretien d'où les pertes de poids généralement observées chez les animaux lors de la saison sèche.

## Conclusion

Le cycle de vie de la composante herbacée est apparu très tributaire de la saison des pluies. La distribution et la fréquence des pluies au cours de la saison déterminent différents niveaux de phytomasse herbacée. Lorsque la saison des pluies démarre tardivement, les herbacées réagissent en raccourcissant le temps de germination-installation et passent rapidement à la phase de croissance. Ce qui a eu pour conséquences des pics de phytomasse disponible plus bas et atteints plus tôt en année de saison des pluies tardive, mais aussi une phytomasse qui varie faiblement entre les deux années.

Le taux de recouvrement est égal entre les deux années avec des pics qui se rapprochent. Sa dynamique au cours de l'année est proche de celle de la phytomasse et leurs pics sont atteints au cours du même mois.

Pour la phytomasse disponible, la pâture apparait négative mais son effet peut parfois être mitigé. Donc les essais de mise en défens en prévision de réserves de fourrage devraient se faire de façon stricte afin d'éviter toute pénétration animale si l'objectif n'est que de produire du fourrage en quantité. Cependant, si l'aspect diversité du pâturage est un des objectifs poursuivis, une pénétration d'animaux de temps en temps serait bénéfique.

La qualité des fourrages de la strate herbacée est différente entre la saison des pluies et la saison sèche mais aussi entre un milieu pâturé et un milieu mis en défens. Cette qualité, caractérisée par la digestibilité de la matière organique, est meilleure en saison des pluies qu'en saison sèche et en milieu pâturé qu'en milieu mis en défens. En saison des pluies, la qualité est surtout meilleure les 30 premiers jours du stade végétatif des plantes et elle ne varie que très peu entre deux années.

Cependant, se baser uniquement soit sur la composition chimique et la valeur nutritionnelle soit sur l'offre de fourrage n'est pas suffisant pour apprécier le potentiel fourrager des parcours. En saison des pluies où la qualité est meilleure qu'en saison sèche, la phytomasse produite est très faible sur une bonne partie de la période ce qui entraine un faible prélèvement de phytomasse par l'animal. De même, au maximum de phytomasse disponible, la valeur nutritionnelle n'est pas forcément la meilleure. De ce fait, réaliser une fauche en prévision de la période de soudure nécessite de chercher un point d'équilibre entre les paramètres quantitatifs et qualitatifs de la phytomasse qui, dans

notre contexte de production, se situe entre mi-septembre et début octobre (ou entre 80 et 100 jours après la première pluie). Cela est d'autant plus vrai que la période de production maximale de lait se situe vers la fin du mois de septembre.

**Chapitre 5**

# DYNAMIQUE EN SAISON DES PLUIES DE PARAMÈTRES STRUCTURAUX ET PHÉNOLOGIQUES DES HERBACÉES EN MILIEUX PATURÉ ET MIS EN DÉFENS

## Introduction

La description de la dynamique de la phytomasse des herbacées au cours de l'année a été faite au chapitre 4. Or, pour bien décrire et mieux comprendre la dynamique de la végétation, le suivi doit tenir compte d'un maximum de paramètres possible afin de mieux connaître les parcours étudiés.

Après avoir traité de la phytomasse disponible, il est question de la dynamique de paramètres morphologiques et phénologiques au cours de la saison des pluies. Il s'agit du recouvrement, de la phénologie et de la hauteur des herbacées suivis sur un pas de temps de dix jours. La mesure du recouvrement se rapproche de celle de la surface spécifique foliaire et est bien corrélée à la productivité primaire. C'est donc un bon descripteur du taux de croissance relatif des espèces (Garnier, 1992). Le recouvrement est aussi un des aspects qui est souvent pris en compte pour caractériser le tapis herbacé (continuité, discontinuité etc.). La hauteur est également prise en compte dans la caractérisation de la végétation pour différencier une steppe d'une savane par exemple (Penning de Vries et Djitèye, 1982). La phénologie est importante dans la gestion des parcours. Elle permet par exemple de déterminer la meilleure période pour une fauche de phytomasse dès lors qu'il est connu qu'après la fructification la qualité les plantes perdent encore plus de leur qualité.

L'objectif de ce chapitre est ainsi de mieux caractériser les parcours sahéliens en diversifiant les axes de description et d'étude de la strate herbacée en zone sahélienne.

## 5.1 Matériel et méthodes

### 5.1.1 *Dispositif de collecte des données*

Les mêmes sites pâturé et mis en défens du chapitre 4 (Figure 8) sont maintenus pour ce chapitre. Les mesures effectuées dans les deux sites ont pour objectif d'appréhender les effets de la mise en défens sur les paramètres morphologiques et phénologiques du tapis herbacé.

Le site pâturé est une parcelle de 750 mètres de côté divisé en 9 sous parcelles dont celle au centre abrite une tour à flux. À l'intérieur de la sous parcelle centrale, les points de collecte sont distants de 50 mètres et à l'extérieur de 120 mètres. Deux transects perpendiculaires de 1000 mètres y sont installés.

Le site mis en défens est une parcelle de 300 mètres de côté avec deux transects perpendiculaires de 300 mètres. Chaque transect compte 14 points de collecte.

### 5.1.2 *Collecte des données*

Les mesures ont commencé dix jours après la première pluie et se sont arrêtées à la fin de la saison des pluies (fin octobre). Entre deux dates de mesure, il est laissé 1 mètre de distance au niveau de chaque point.

- La phénologie des herbacées a pris en compte les quatre phénophases que sont la feuillaison, la floraison, la fructification et la senescence. Lorsqu'un stade est présent dans le quadrat, le pourcentage des espèces qui le portent est estimé visuellement ;
- La hauteur du tapis herbacé est mesurée sur dix individus pris au hasard dans le quadrat en essayant de prendre en compte les diverses hauteurs représentées dans le quadrat. La hauteur végétative a été mesurée du sol à la feuille la plus haute et la hauteur des inflorescences du sol à la fleur (ou fruit) la plus haute ;
- Le recouvrement a été estimé visuellement l'échelle du quadrat.

### 5.1.3 *Analyses statistiques*

Pour comparer les valeurs des paramètres entre les deux sites et les deux années à chaque date de mesure, le test de Student a été utilisé.

## 5.2 Résultats

### 5.2.1 *Dynamique de la phénologie*

La dynamique au cours de la saison des pluies des stades phénologiques dans le site pâturé en 2018 et 2019 est illustrée à la Figure 17.

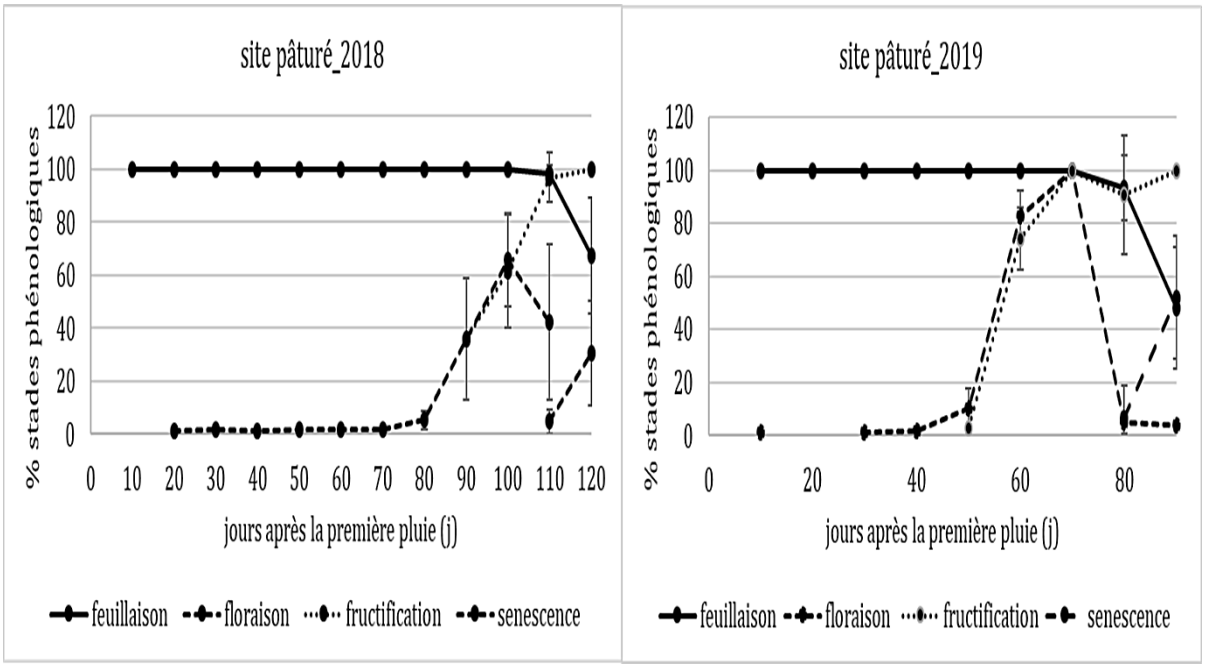


**Figure 17 :** Dynamique en saison des pluies de la phénologie des herbacées dans le site pâturé en 2018 et 2019.

Les barres d'erreur représentent les écarts types.

La floraison est apparue 20 jours après la première pluie (juillet) en 2018 et 10 jours après la première pluie (août) en 2019. La fructification quant à elle a commencé 90 jours après la première pluie (septembre) en 2018 et 50 jours après la première pluie (septembre) en 2019. Le retard d'un mois dans l'installation des pluies entre 2018 et 2019 a induit un raccourcissement du temps de floraison et de fructification. Ces deux stades ont atteint leur maximum au mois d'octobre pendant que la feuillaison commence à baisser. La senescence a débuté au mois d'octobre pour les deux années au même moment que la feuillaison commence à s'arrêter pour la majorité des individus.

### 5.2.2 *Phénologie en milieux pâturé et mis en défens*

La dynamique comparée des stades phénologiques entre les deux sites en 2018 et en 2019 est présentée à la Figure 18. En 2018, la figure montre qu'entre la mise en défens et le site pâturé, la différence sur les stades phénologiques concerne la date d'apparition de la floraison. Elle apparait le 20$^{ième}$ jour après la première pluie (deuxième décade de juillet) dans le site pâturé et le 30$^{ième}$ jour après la première pluie (troisième décade de juillet) dans le site mis en défens.

La senescence des plantes et la dégénérescence de la feuillaison et de la floraison se font de façon plus progressive (moins brusque) dans la parcelle pâturée. Ces étapes se déroulent de manière plus accélérée dans le site mis en défens.

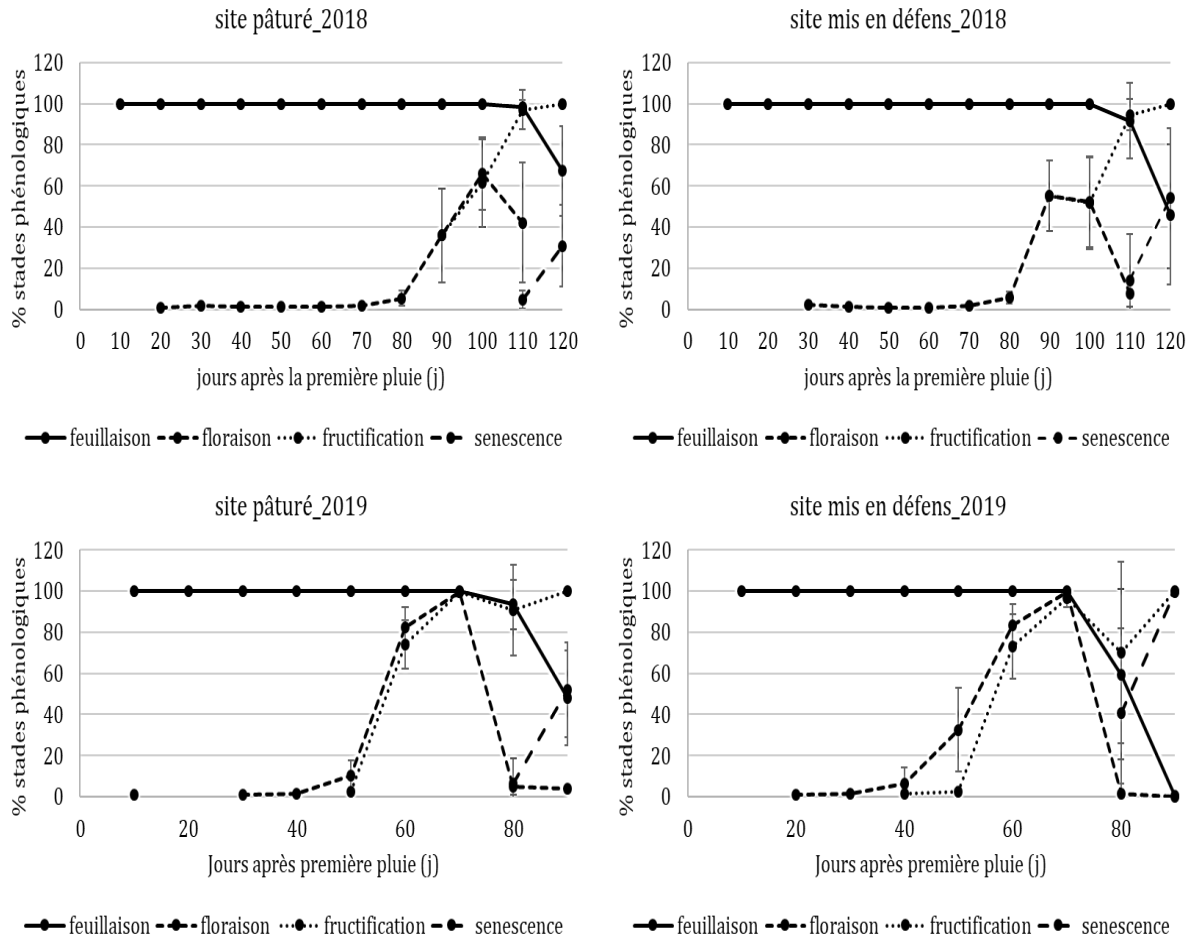


**Figure 18 :** Effets de la mise en défens sur la phénologie.

Les barres d'erreur représentent les écarts types.

En 2019, la floraison est apparue 10 jours après la première pluie dans le site pâturé et 20 jours après cette première pluie dans la mise en défens. La fructification est au contraire apparue plus tôt (40 jours après la première pluie) dans le site mis en défens en comparaison au site pâturé (50 jours après la première pluie). La senescence démarre dans les deux sites à la même date soit 80 jours après la première pluie (mois d'août).

Considérant le moment d'apparition des stades phénologiques au cours de l'année, nous pouvons remarquer que chaque stade apparait au cours du même mois sur les deux sites et sur chaque année.

### 5.2.3 *Dynamique de la hauteur végétative*

La Figure 19 illustre la dynamique au cours de la saison des pluies de la hauteur végétative du tapis herbacé dans le site pâturé en 2018 et 2019.

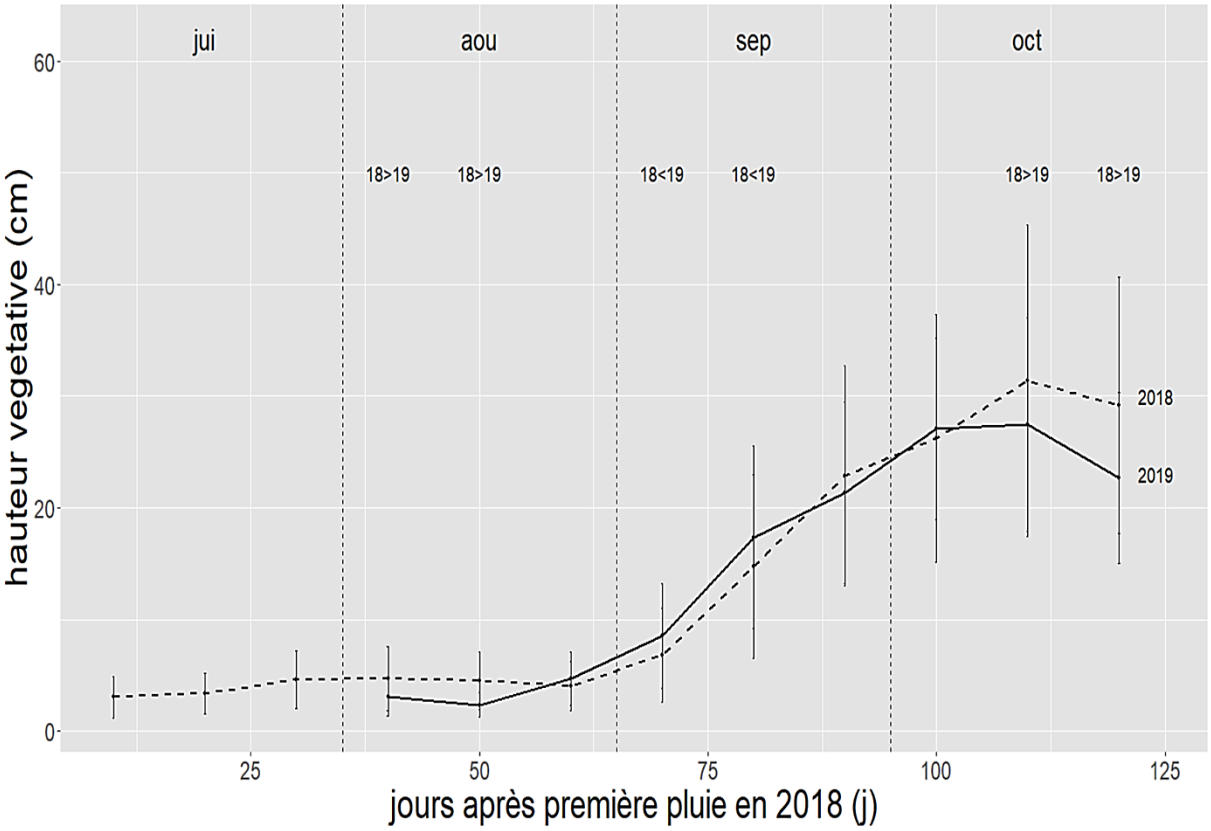


**Figure 19 :** Dynamique en saison des pluies de la hauteur végétative dans le site pâturé en 2018 et 2019.

Les barres d'erreur représentent les écarts types ; les données de 2018 et 2019 ont été mises de sorte qu'elles correspondent aux mêmes dates calendaires.

Dans le site pâturé, la dynamique de la hauteur végétative est très irrégulière entre les deux années. Au début du mois d'août et à la fin du mois d'octobre, la hauteur est supérieure en 2018 tandis que, entre ces deux périodes, c'est parfois égal entre les deux années et parfois supérieur en 2019. Donc globalement, la variation de la hauteur végétative est faible entre les deux années dans le site pâturé. Les pics sont atteints à la même date (mi-octobre) avec celui en 2019 (27,45 cm) inférieur à celui en 2018 (31,27 cm).

### 5.2.4 *Hauteur végétative en milieux pâturé et mis en défens*

A la Figure 20 est représentée la dynamique comparée de la hauteur végétative entre les deux sites pendant la saison des pluies en 2018 et en 2019.

En 2018, la hauteur végétative est égale dans les deux sites en début de saison des pluies soit 40 jours après la première pluie (jusqu'à début août). De mi-août à la fin du mois d'octobre, elle reste inférieure dans le site pâturé.
La hauteur végétative atteint un maximum de 42 cm dans le site mis en défens et de 31,3 cm dans le site pâturé. Cependant, les pics sont atteints à la même date soit en mi-octobre (110ième jour après la première pluie).

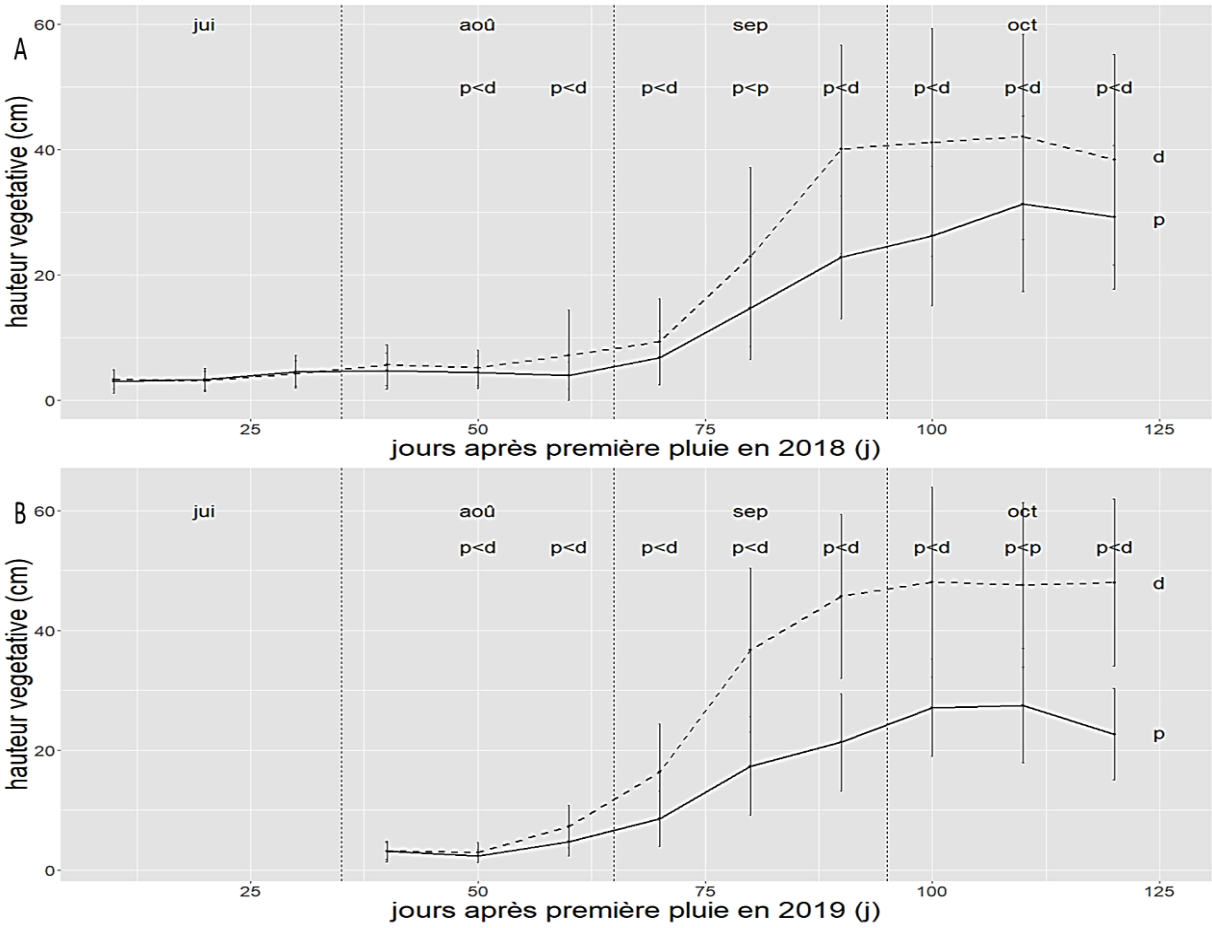


**Figure 20 :** Effets de la mise en défens sur la hauteur végétative en 2018 (A) et 2019 (B).
p = site pâturé, d = site mis en défens ; les barres d'erreur représentent les écarts types.

En 2019, la hauteur végétative est inférieure dans le site pâturé au cours de la saison des pluies. Cette hauteur a atteint son maximum de 48,09 cm dans le site mis en défens un peu plus tôt que dans le site pâturé (27,4 cm) en août. Cette hauteur maximale est donc inférieure dans le site pâturé par rapport au site mis en défens.

### 5.2.5 *Dynamique de la hauteur des inflorescences*

La Figure 21 présente la dynamique annuelle de la hauteur des inflorescences dans le site pâturé en 2018 et 2019.

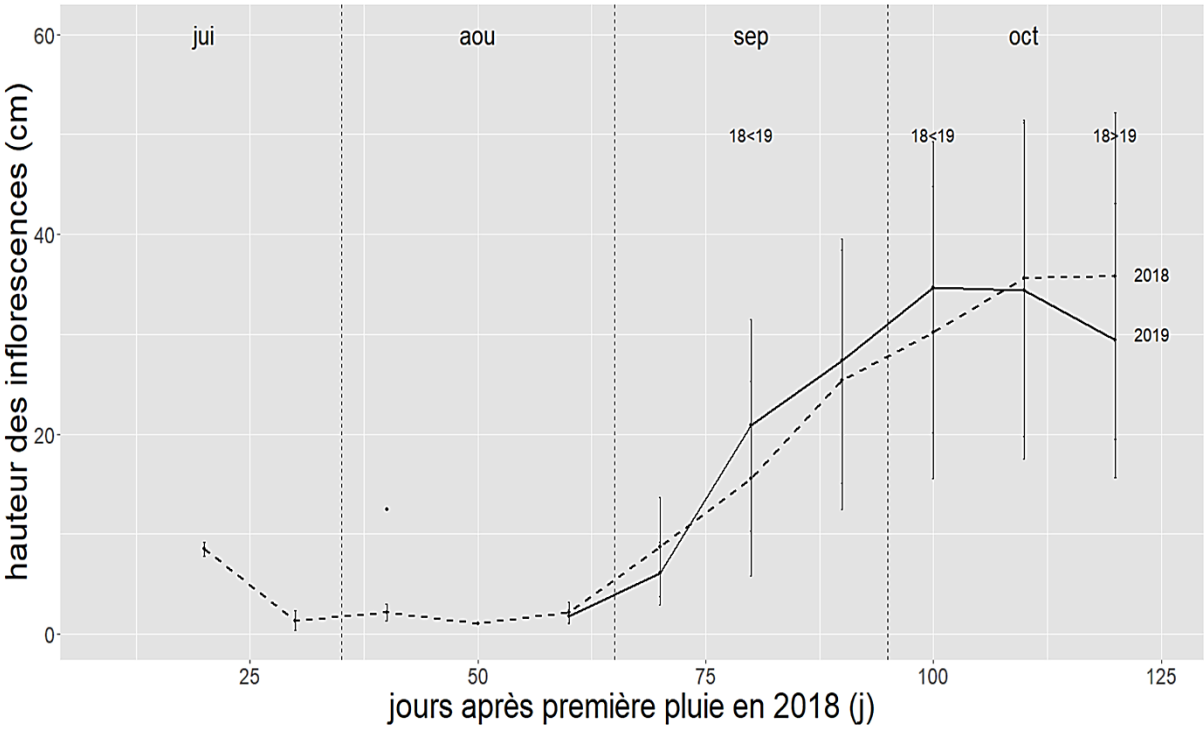


**Figure 21 :** Dynamique en saison des pluies de la hauteur des inflorescences dans le site pâturé en 2018 et 2019.

Les barres d'erreur représentent les écarts types ; les données de 2018 et 2019 ont été mises de sorte qu'elles correspondent aux mêmes dates calendaires.

Dans le site pâturé, la hauteur des inflorescences est apparue 20 jours après la première pluie (juillet) en 2018 et 10 jours après la première pluie (août) en 2019. Globalement, la hauteur des inflorescences varie très peu durant les deux années bien qu'il y ait des différences significatives quelques fois. Les pics sont très proches, mais celui en 2019 est atteint plus tôt (début octobre) que celui en 2018 (fin octobre).

### 5.2.6 *Hauteur des inflorescences en milieux pâturé et mis en défens*

La Figure 22 présente l'évolution comparée de la hauteur des inflorescences entre les deux sites en saison des pluies en 2018 et en 2019. En 2018, la hauteur des inflorescences apparait 30 jours après la première pluie (fin juillet) dans le site mis en défens et 20 jours après la première pluie (mi-juillet) dans le site pâturé. Jusqu'à 60 jours après la première pluie (fin août), cette hauteur des inflorescences est égale dans les deux sites.

Elle devient supérieure dans le site mis en défens sur tout le reste de la saison des pluies soit de septembre à octobre (entre le 70ième jour et le 120ième jour après la première pluie). Les valeurs les plus élevées de la hauteur des inflorescences sont 35,7 cm dans le site pâturé et 47,5 cm dans le site mis en défens.
Les pics de hauteurs sont atteints dans les deux sites au mois d'octobre, mais un peu plutôt dans le site mis en défens.

En 2019, la hauteur des inflorescences reste inférieure dans le site pâturé tout au long de la saison des pluies.

La hauteur maximale est atteinte plus tôt dans le site pâturé par rapport au site mis en défens au mois d'août.

Ce maximum de la hauteur des inflorescences est inférieur dans le site pâturé (34,7 cm) comparé au site mis en défens (58,6 cm).

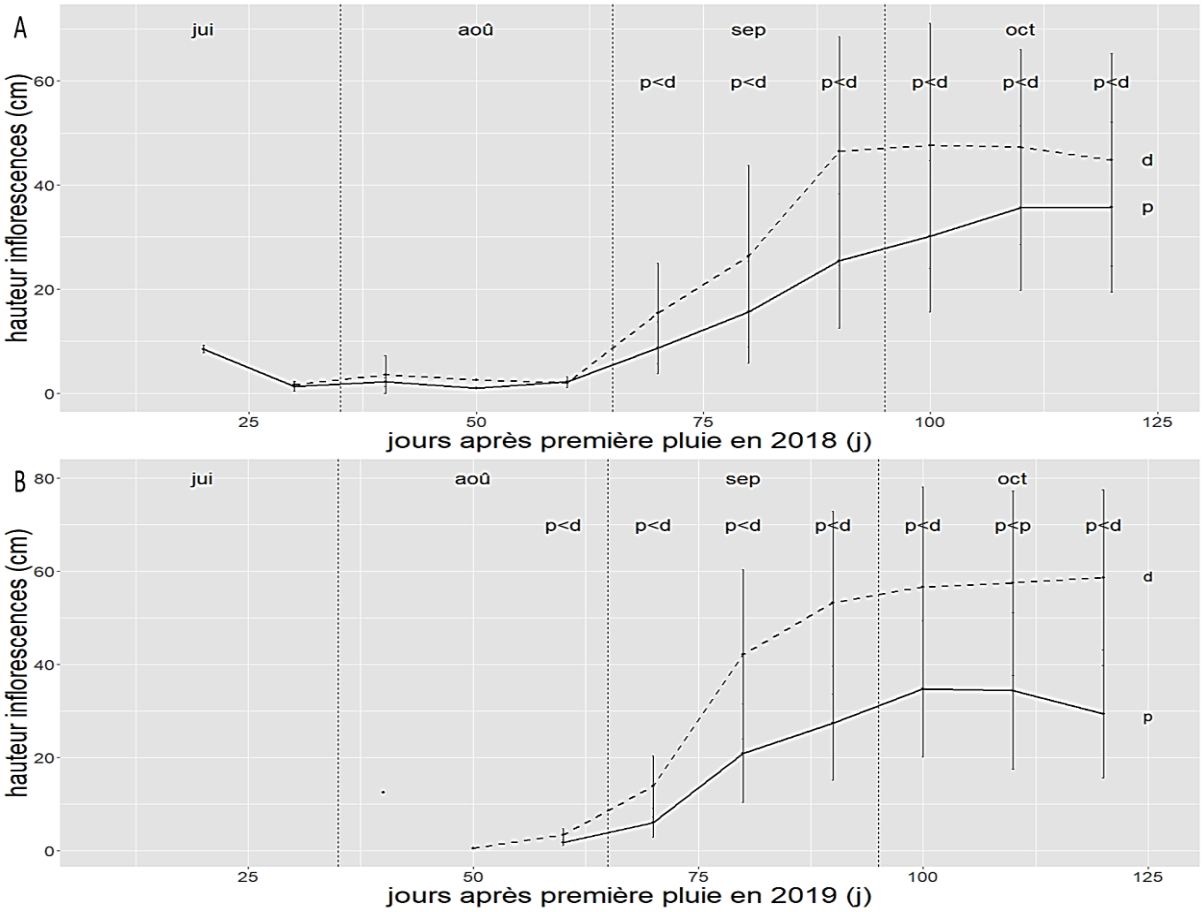


**Figure 22 :** Effets de la mise en défens sur la hauteur des inflorescences en 2018 (A) et 2019 (B). p = site pâturé, d = site mis en défens ; les barres d'erreur représentent les écarts types.

### 5.2.7 *Dynamique du recouvrement*

La dynamique, au cours de la saison des pluies, du recouvrement dans le site pâturé en 2018 et 2019 est illustrée par la Figure 23.

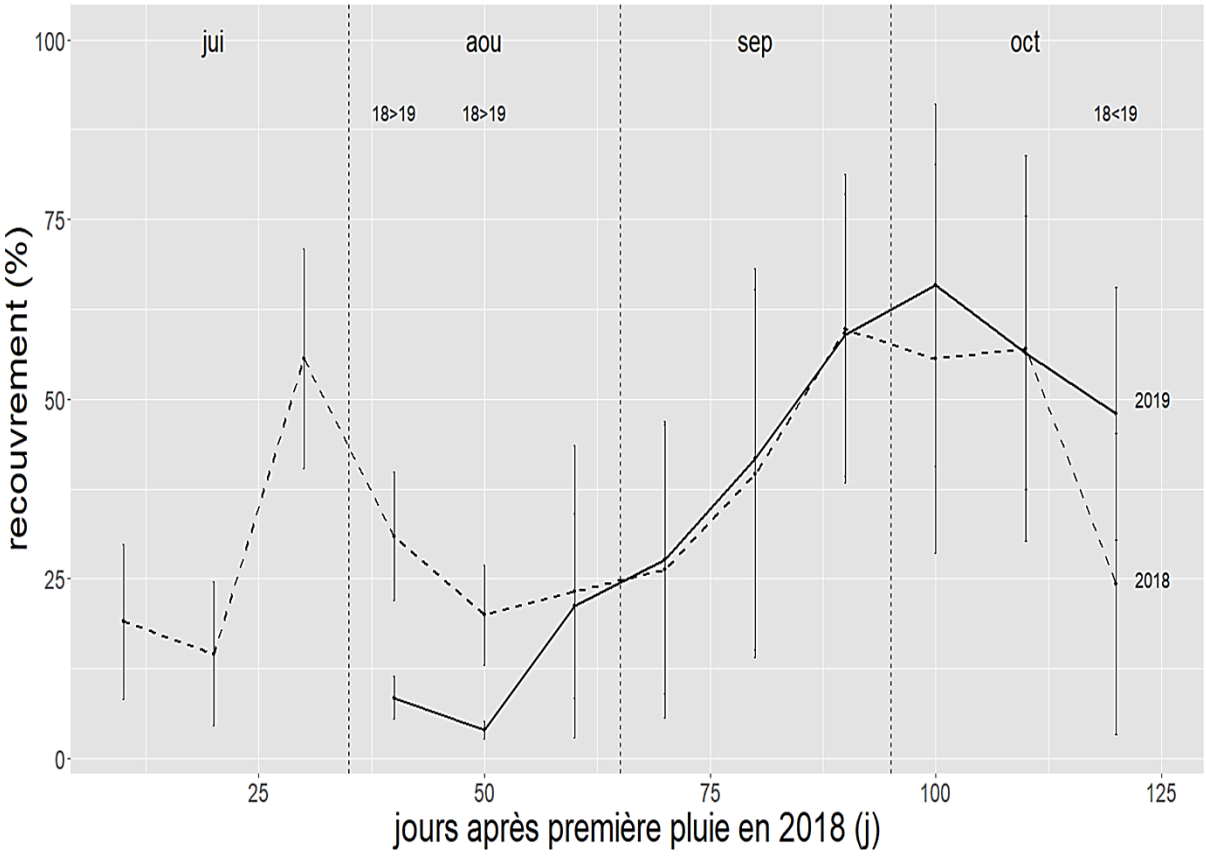


**Figure 23 :** Dynamique en saison des pluies du recouvrement dans le site pâturé en 2018 et 2019.

Les barres d'erreur représentent les écarts types ; les données de 2018 et 2019 ont été mises de sorte qu'elles correspondent aux mêmes dates calendaires.

La figure permet de voir qu'au début du mois d'août, le recouvrement est plus faible en 2019, une année caractérisée par l'installation tardive des pluies. À partir de fin août, le taux de recouvrement devient égal entre les deux années. Les pics de couverture du sol qui sont de 59,8% en 2018 et 65,8% en 2019 sont relativement proches.

### 5.2.8 *Recouvrement en milieux pâturé et mis en défens*

L'évolution comparée du recouvrement entre le site mis en défens et celui pâturé durant la saison des pluies en 2018 et en 2019 est présentée à la Figure 24. En 2018, l'observation de la dynamique du recouvrement entre les deux sites montre qu'au cours de la saison

des pluies, le recouvrement est soit égal soit inférieur dans le site pâturé la plupart du temps. Quelques rares fois en début de saison, il est supérieur dans le site pâturé.

Il apparait également que le recouvrement est nettement supérieur dans le site mis en défens lors de sa phase d'évolution linéaire entre septembre et fin octobre. Dans le site mis en défens il atteint un maximum de 79,3% alors que dans le site pâturé son maximum se situe à 59,8% en moyenne. Nous remarquons aussi que le recouvrement a atteint son taux le plus élevé plus tôt dans le site pâturé, dix jours avant que le pic ne soit atteint dans le site mis en défens.

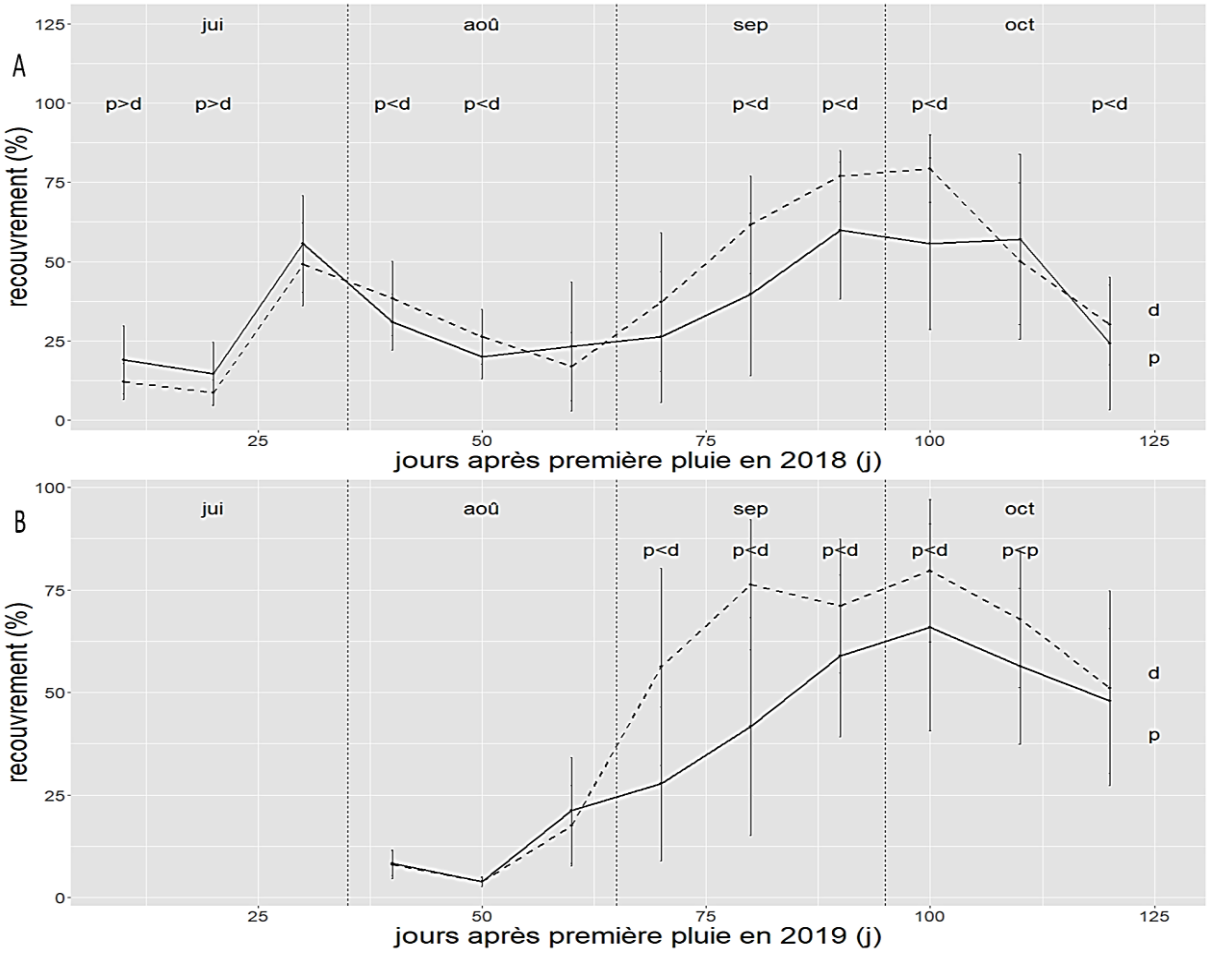


**Figure 24 :** Effets de la mise en défens sur le recouvrement en 2018 (A) et 2019 (B).

p = site pâturé, d = site mis en défens ; les barres d'erreur représentent les écarts types.

En 2019, le recouvrement est égal entre les deux sites en début de saison des pluies (août) et en fin de saison des pluies (fin octobre). Cependant dans l'ensemble, le taux de couverture du sol est inférieur dans le site pâturé. Les pics de couverture sont atteints à la même période (début octobre) mais celui du site pâturé (65,8%) est inférieur à celui du site mis en défens (79,6%).

## 5.3 Discussion

Ce chapitre visait une meilleure caractérisation des parcours sahéliens par la diversification des axes de description de la strate herbacée au Sahel.

La floraison commence dès mi-juillet et les plantes fleurissent presque toutes en début octobre. La floraison et la fructification sont apparues plus tôt en année de saison des pluies tardive en comparaison à une année de saison des pluies précoce. Ces deux phénophases ont atteint leur maximum au mois d'octobre pendant que la feuillaison commençait à baisser de pourcentage. La senescence a débuté au mois d'octobre pour les deux années.

L'apparition de la floraison à la mi-juillet pourrait témoigner de l'existence d'espèces précoces dans le site. Cette précocité des phases de reproduction a été notée par Traoré (1978) qui a mentionné la présence au Sahel d'espèces à cycle court et d'autres à cycle long sur des pâturages au Burkina Faso. Une classification faite par Penning de Vries et Djitèye (1982) peut aider à comprendre cet étalage de la floraison sur presque toute la saison. Ces auteurs classent les espèces sahéliennes en plantes très jeunes déjà sensibles à l'induction de la floraison par la longueur de la journée : par exemple *Zornia glochidiata* et *Alysicarpus ovalifolius* (≤ 1 semaine) ; plantes sensibles quand elles sont un peu plus âgées : *Cenchrus biflorus*, *Dactyloctenium aegyptium* et *Enteropogon prieurii* ; et plantes sensibles quand elles sont encore plus âgées : *Schoenefeldia gracilis* et *Pennisetum pedicellatum*. Toutes les espèces citées en exemple sont souvent celles dominantes dans les parcours que nous avons étudiés. Cependant la période de floraison maximale reste début octobre. Bille et Poupon (1974) ont également rappelé l'étagement des dates de fructification au niveau intra et inter spécifique.

Pendant que certains paramètres réajustent leurs valeurs maximales suite au retard de la saison des pluies, la réaction de la phénologie s'observe sur la période d'apparition de certains stades en l'occurrence la floraison et la fructification. Cela malgré que la floraison soit plus un fait génétique et qu'elle dépende de la photopériode en zone sahélienne. Les explications de Cornet (1981) et Cissé (1986) sur la réduction du temps de croissance deviennent fondamentales puisqu'elles semblent être à la base de presque tous les changements. Le cycle de vie de la strate herbacée étant réduit, les stades phénologiques arrivent naturellement plus tôt (en nombre de jours après la première pluie) que d'habitude. Ce qui permet aux plantes de pouvoir assurer leur reproduction en vue de la saison des pluies à venir.

De façon globale, la hauteur végétative et la hauteur des inflorescences varient peu entre les deux années. Les pics sont très proches, mais ceux en année de saison des pluies tardive sont atteints plus tôt que ceux en année de saison des pluies précoce ou à la même date.

La dynamique de la hauteur végétative ressemble beaucoup à celle de la hauteur des inflorescences. En année de saison des pluies tardive, le raccourcissement de la phase germination-installation, et globalement du cycle de vie des herbacées dont ont fait mention Cornet (1981) et Cissé (1986) pourrait justifier cette situation. Comme la saison des pluies a démarré en fin juillet, la phase germination-installation n'a duré que vingt jours soit jusqu'à la première quinzaine d'août. La phase de croissance démarre alors en fin août, qui correspond à la période de régularité des pluies, évitant la perte des premières vagues de germination. Ce rapide démarrage de la période de croissance en 2019 a permis aux herbacées d'atteindre le plus rapidement possible leur hauteur maximale, plus tôt ou à la même période qu'en année de saison des pluies plus précoce. Malgré une meilleure distribution des pluies et moins de longues pauses en 2019, la pâture pourrait justifier le fait que la hauteur végétative et la hauteur des inflorescences ainsi que leurs pics soient chacun égal entre les deux années.

La hauteur végétative maximale (31 cm) et la hauteur maximale des inflorescences (36 cm) sont atteintes au mois d'octobre, mais la hauteur des inflorescences se situe à un niveau légèrement supérieur à la hauteur végétative.

Ces résultats sont en dessous des intervalles 0,5 à 1 mètre que donnent Pontanier *et al*., (2003) pour la hauteur au maximum de végétation et 40 à 60 cm avancé par Ngom (2014) pour le Ferlo. Une différence qui pourrait s'expliquer par la différence du temps de suivi entre les études. Ils confirment les propos de Boudet (1975) selon qui, le tapis herbacé au Sahel type peut atteindre 50 cm de haut sur dunes sableuses et sur pénéplaines. Cissé (1986) explique que même si certaines espèces continuent de croître végétativement après la floraison, la majorité des graminées cesse de le faire. Les graminées sont la famille la plus représentée des pâturages étudiés. Or la plupart des graminées annuelles, sous l'influence de la photopériode, fleurissent entre fin août et le début septembre (Cissé, 1986 ; Seghieri *et al*., 1995). Ce qui fait que presque toutes les espèces atteignent leur taille maximale et s'arrêtent de croître à cette période. Que la hauteur des inflorescences soit supérieure à la hauteur végétative peut trouver son explication dans la position des fleurs. La majorité des espèces dont les graminées notamment ont des fleurs terminales, ce qui

fait que souvent les fleurs ou les fruits sont à une hauteur qui dépasse celle de la feuille la plus haute.

En ce qui concerne le taux de recouvrement, il varie très peu entre les deux années avec des pics de couverture du sol relativement proches (59,8% en 2018 et 65,8% en 2019).
Ce résultat se rapproche de ceux trouvés par Ndiaye (2015), soient 75% en 2012 et 57% en 2013. Il confirme en revanche les propos de Boudet (1975) pour qui le recouvrement au Sahel atteint 40% sur dunes de sable et 50% sur pénéplaines sableuses. Penning de Vries et Djitèye (1982) parlent d'un pourcentage de recouvrement faible de la strate herbacée sahélienne caractérisant une formation ouverte. Ce qu'ils expliquent par le caractère xérophytique très marqué des graminées à savoir feuilles étroites, enroulées ou pliées, basilaires. Le recouvrement est le paramètre de la végétation qui a été le moins affecté par les fluctuations interannuelles de la pluviosité.

Le taux de recouvrement est pour la plupart du temps inférieur dans le site pâturé comparé au site mis en défens. Ce qui corrobore le résultat de Cissé (1986) qui a trouvé dans une zone non exploitée un recouvrement deux fois plus élevé que dans une zone exploitée et celui de Khalid *et al*., (2015) qui ont trouvé un recouvrement plus élevé dans le site mis en défens. D'après les résultats de Penning de Vries et Djitèye (1982), Boutrais (1994) et Véla *et al*., (2001), la réduction du recouvrement est une manifestation du surpâturage causé par l'élevage. Cependant les résultats de Rakotoarimanana *et al*., (2008) montrent une augmentation du recouvrement par la pâture sur une savane du Madagascar. L'explication qu'ils en donnent est que la pâture favorise le tallage de certaines espèces. Leur explication est confirmée par Boutrais (1994) qui dit qu'en savane, la pâture excessive déclenche une exubérance végétale sous des formes de moins en moins pâturables. Dans notre situation, on peut penser que le pâturage en saison des pluies n'induit par un tallage plus important. Aussi que nous avons travaillé sur une végétation différente de celle que ces derniers auteurs ont étudiée.
La hauteur végétative et la hauteur des inflorescences sont souvent inférieures dans le site pâturé. Le choix que fait l'animal de brouter les herbes les plus hautes (Dumont, 1996) peut expliquer cette différence de hauteurs entre les deux sites. En plus, il va de soi que la hauteur des inflorescences sera plus élevée dans le site mis en défens. Cela, parce que les plantes étant broutées avant la floraison, sont plus courtes et produisent des fleurs et des

fruits à un niveau plus bas. La petite taille des herbacées est une conséquence de la pâture d'après Díaz *et al*., (2001).

Au-delà du fait que la floraison soit génétique, cela peut laisser penser à une stratégie d'adaptation. Les plantes fleuriraient plus tôt pour élargir la période de floraison et s'assurer que les semences arriveront à maturité à la fin de la saison.

## Conclusion

L'apparition rapide de la floraison est indicatrice de la présence d'espèces précoces au Ferlo. En année de saison des pluies tardive, la strate herbacée fleurit et fructifie plus rapidement (en nombre de jours après la première pluie), de sorte que comparée à une année de saison des pluies plus précoce, ces stades, y compris la senescence apparaissent au cours du même mois.

La hauteur du couvert herbacé ne semble pas être affectée par les irrégularités pluviométriques entre année. Pour ne pas sous-estimer la hauteur du couvert dans les parcours dominés par les graminées, il serait mieux de considérer la hauteur des inflorescences lors des mesures de terrain vue que la hauteur des inflorescences est légèrement supérieure à la hauteur végétative.

Les cycles des herbacées sont courts et se réalisent presque tous sur une période de 100 à 110 jours soit du début de la saison des pluies au mois d'octobre. Ce qui témoigne encore une fois de l'adaptation des thérophytes aux conditions climatiques notamment la longueur de la saison des pluies au Sahel. Le faible recouvrement de la zone et la hauteur des herbes confirment le caractère steppique des parcours du Ferlo. La pâture aurait un effet négatif sur le taux de couverture du sol, la hauteur végétative et la hauteur des inflorescences des herbacées. La floraison semble être boostée par la pâture laissant penser à une forme d'adaptation du tapis herbacé à celle-ci.

**Chapitre 6**

# DYNAMIQUE DE LA FLORE DU COUVERT HERBACÉ EN MILIEUX PATURÉ ET MIS EN DÉFENS

## Introduction

La flore sahélienne présente une pauvreté spécifique et une rareté endémique d'après Hiernaux et Le Houerou (2006). En effet, avec 1500 espèces de plantes à fleurs pour une superficie de 3 millions de km$^2$, la flore du Sahel apparaît plutôt pauvre (Le Houerou, 1989). La plupart de ces espèces sont largement réparties sur la zone sahélienne et il en résulte une richesse aréale de la flore (évaluée conventionnellement par le nombre d'espèces pour une surface de référence) de 5 espèces pour 10000 km$^2$. Le taux d'espèces endémiques, estimé à 3% (White, 1983), est très faible et confère à la zone sahélienne un statut biogéographique de zone de transition entre deux souches d'endémisme. En conséquence, la zone sahélienne partage la plus grande part de sa flore avec la souche d'endémisme soudanien (30% d'endémiques). Les rares endémiques sahéliennes sont d'ailleurs d'affinité soudanienne (White, 1983 ; Le Houérou, 1997 ; Lebrun, 2002) et dans une moindre mesure de souche saharienne (20% d'endémiques) (Le Houérou, 1997). La parenté avec la flore soudanienne prédomine logiquement du fait de la plus grande richesse de cette flore et de la parenté tropicale des climats sahéliens et soudaniens (Hiernaux et Le Houerou, 2006). La physionomie du Sahel met en exergue une strate d'herbacées constituée à majorité de plantes annuelles (souvent des graminées) et une strate ligneuse dominée par des épineux du genre Acacia.

Dans ce chapitre l'objectif est d'établir les caractéristiques de la flore telles que la composition en espèces et la richesse spécifique en milieux pâturé et mis en défens. En effet, la détermination de la composition floristique, base des études en écologie végétale et en botanique, permet d'avoir les premières informations sur l'objet d'étude. Elle est aussi un aspect important de la qualité des pâturages comme nourriture pour le bétail (Penning de Vries et Djitèye, 1982). Quant à la richesse spécifique, elle est une des principales caractéristiques d'un peuplement végétal et représente la mesure la plus fréquemment utilisée pour étudier la biodiversité (Ngom, 2014).

## 6.1 Matériel et méthodes

### 6.1.1 *Dispositif de collecte des données*

Le dispositif de collecte des données est le même que pour le chapitre 4 (Figure 8). Dans le site pâturé, sont installés deux transects perpendiculaires de 1000 mètres de long. Les transects sont installés dans une parcelle de 750 mètres de côté divisé en 9 sous parcelles. À l'intérieur de la sous parcelle centrale, les points de collecte sont distants de 50 mètres

et à l'extérieur de 120 mètres. Le site mis en défens est une parcelle de 300 mètres de côté avec deux transects perpendiculaires de 300 mètres. Chaque transect compte 14 points de collecte.

### 6.1.2 *Collecte des données*

La collecte des données a démarré 10 jours après la première pluie et s'est arrêtée à la fin du mois d'octobre. Entre deux dates de mesure, une distance d'un (1) mètre est laissée au niveau de chaque point de mesure.

A chaque date de collecte, sur chaque point de mesure :

- Placer une quadrat en fer de 1 mètre de côté ;
- Recenser les espèces qui s'y trouvent ;
- Estimer visuellement le pourcentage de chaque espèce dans le quadrat.

### 6.1.3 *Traitement des données*

Les espèces recensées ont été classées en genres et en familles en utilisant des flores (Berhaut 1967, 1971 ; Thiombiano *et al.*, 2012 ; Hutchinson *et al.*, 2014), l'APG IV (Chase *et al.*, 2016) et la base de données des plantes à fleurs (Lebrun et Stork, 1991). Par ailleurs, l'indice de Shannon-Weaver (H') qui permet d'appréhender la diversité dans un système écologique est calculé avec la formule suivante :

$$H' = \sum_{i=1}^{s} \frac{C_i}{C} \cdot \log_2 \frac{Ci}{C}$$

Avec $Ci$ = contribution de l'espèce i et $C$ = contribution totale des espèces.

## 6.2 Résultats

### 6.2.1 *Composition floristique et richesse spécifique du CRZ de Dahra*

Les espèces recensées dans le centre de recherches zootechniques de Dahra puis classées en genres et en familles sont consignées dans le Tableau 6. Il a été dénombré 61 espèces réparties en 47 genres appartenant à 22 familles botaniques. Les familles les plus représentées sont celle des Poaceae (17 espèces) suivie de celle des Fabaceae (10 espèces) et de celle des Convolvulaceae (6 espèces). Les genres *Eragrostis* (5 espèces) et *Ipomoea* (4 espèces) sont ceux qui comptent le plus d'espèces.

**Tableau 6 :** Composition floristique du tapis herbacé du CRZ-Dahra en 2018 et 2019.

| Famille | Genre | Espèce |
|---|---|---|
| **Asparagaceae** | Dipcadi | *Dipcadi viride* (L.) Moench |
| **Amaranthaceae** | Achyranthes | *Achyranthes aspera* auct. |
| | Amaranthus | *Amaranthus hybridus* L. |
| **Apocinaceae** | Leptadenia | *Leptadenia lanceolata* (Poir.) Goyder |
| **Gisekiaceae** | Gisekia | *Gisekia pharnaceoides* L. |
| **Limeacea** | Limeum | *Limeum viscosum* (J. Gay) Fenzl |
| **Capparaceae** | Sieruela | *Sieruela monophylla* (L.) Roalson & J.C. Hall |
| **Commelinaceae** | Commelina | *Commelina benghalensis* L. |
| | | *Commelina forsskaolii* Vahl |
| **Convolvulaceae** | Ipomoea | *Ipomoea coptica* (L.) Roth ex Roem. & Schult. |
| | | *Ipomoea kotschyana* Hochst. ex Choisy |
| | | *Ipomoea pes-tigridis* L. |
| | | *Ipomoea vagans* Baker |
| | Merremia | *Merremia hederacea* (Burm. f.) Hallier f. |
| | Xenostegia | *Xenostegia pinnata* (Hochst. ex Choisy) A.R. Simões & Staples |
| **Cucurbitaceae** | Citrullus | *Citrullus colocynthis* (L.) Schrad. |
| **Cyperaceae** | Bulbostylis | *Bulbostylis hispidula* (Vahl) R. W. Haines |
| | Cyperus | *Cyperus amabilis* Vahl |
| | | *Cyperus sp* |
| **Euphorbiaceae** | Euphorbia | *Euphorbia forsskaolii* J. Gay |
| **Fabaceae** | Alysicarpus | *Alysicarpus ovalifolius* (Schumach. & Thonn.) J. Léonard |
| | Senna | *Senna obtusifolia* (L.) H.S. Irwin & Barneby |
| | | *Senna occidentalis* (L.) Link |
| | Crotalaria | *Crotalaria pallida* Aiton |
| | | *Crotalaria senegalensis* (Pers.) Bacle ex DC. |
| | Indigofera | *Indigofera pilosa* Poir. |
| | Stylosanthes | *Stylosanthes erecta* P. Beauv. |
| | Tephrosia | *Tephrosia purpurea* (L.) Pers. |
| | | *Tephrosia sp* |
| | Zornia | *Zornia glochidiata* Rchb. ex DC. |
| **Molluginaceae** | Hypertelis | *Hypertelis cerviana* (L.) Thulin |
| **Nyctaginaceae** | Boerhavia | *Boerhavia diffusa* L. |
| **Pedaliaceae** | Sesamum | *Sesamum sesamoides* (Endl.) Byng & Christenh. |
| | Sesamum | *Sesamum alatum* Thonn. |
| **Phyllanthaceae** | Phyllanthus | *Phyllanthus reticulatus* Poir. var. reticulatus |
| | Aristida | *Aristida mutabilis* Trin. & Rupr. |
| | Urochloa | *Urochloa xantholeuca* (Hack.) H. Scholz |
| | Cenchrus | *Cenchrus biflorus* Roxb. |
| | | *Cenchrus pedicellatus* (Trin.) Morrone |

| | | |
|---|---|---|
| **Poaceae** | Chloris | *Chloris pilosa* Schumach. |
| | Dactyloctenium | *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd. |
| | Digitaria | *Digitaria horizontalis* Willd. |
| | Eragrostis | *Eragrostis aspera* (Jacq.) Nees |
| | | *Eragrostis ciliaris* (L.) R. Br. |
| | | *Eragrostis sp* |
| | | *Eragrostis tenella* (L.) P. Beauv. ex Roem. & Schult. |
| | | *Eragrostis tremula* (Lam.) Hochst. ex Steud. |
| | Brachiaria | *Brachiaria lata (Schumach.)* C.E. Hubb. var. lata |
| | Schoenefeldia | *Schoenefeldia gracilis* Kunth |
| | Tragus | *Tragus berteronianus* Schult. |
| | Leptochloa | *Leptochloa anisopoda* (Scribn. ex B.L. Rob.) P.M. Peterson |
| | Enteropogon | *Enteropogon prieurii* (Kunth) Clayton |
| **Portulacaceae** | Portulaca | *Portulaca foliosa* Ker Gawl. |
| **Rubiaceae** | Diodella | *Diodella sarmentosa* (Sw.) Bacigalupo & E.L. Cabral |
| | Mitracarpus | *Mitracarpus hirtus* (L.) DC. |
| | Spermacoce | *Spermacoce sp* |
| | Spermacoce | *Spermacoce sp 1* |
| | Datura | *Datura inoxia* Mill. |
| **Solanaceae** | Corchorus | *Corchorus tridens* L. |
| **Tiliaceae** | Triumfetta | *Triumfetta pentandra* A. Rich. |
| | Tribulus | *Tribulus terrestris* L. |
| **Zygophyllaceae** | | |

Quelques données sur la richesse et la diversité spécifiques dans les sites pâturé et mis en défens sont consignées dans le Tableau 7.

**Tableau 7:** Composition et diversité floristiques en milieux pâturé et mis en défens.

| Paramètres | Année | Site pâturé | Site mis en défens |
|---|---|---|---|
| Richesse spécifique | 2018 | 51 | 40 |
| | 2019 | 34 | 49 |
| Indice de diversité de Shannon-Weaver | 2018 | 2,8 | 2,8 |
| | 2019 | 2,1 | 3,5 |

Au regard de ce tableau, nous constatons que sur les deux années de suivi, la richesse spécifique n'a été ni en faveur d'une année donnée ni en faveur d'un site donné. Dans le site pâturé, elle est supérieure en 2018 et dans le site mis en défens elle l'est en 2019.

L'indice de Shannon-Weaver de ces parcours se situe autour de 3 bits avec une similitude entre le milieu pâturé et la mise en défens en 2018 et une légère différence en 2019.

### 6.2.2 *Dominance des familles au cours du cycle de vie des herbacées*

La Figure 25 présente les familles dominantes sur les différentes phases du cycle de vie des herbacées dans le site pâturé en 2018 et 2019.

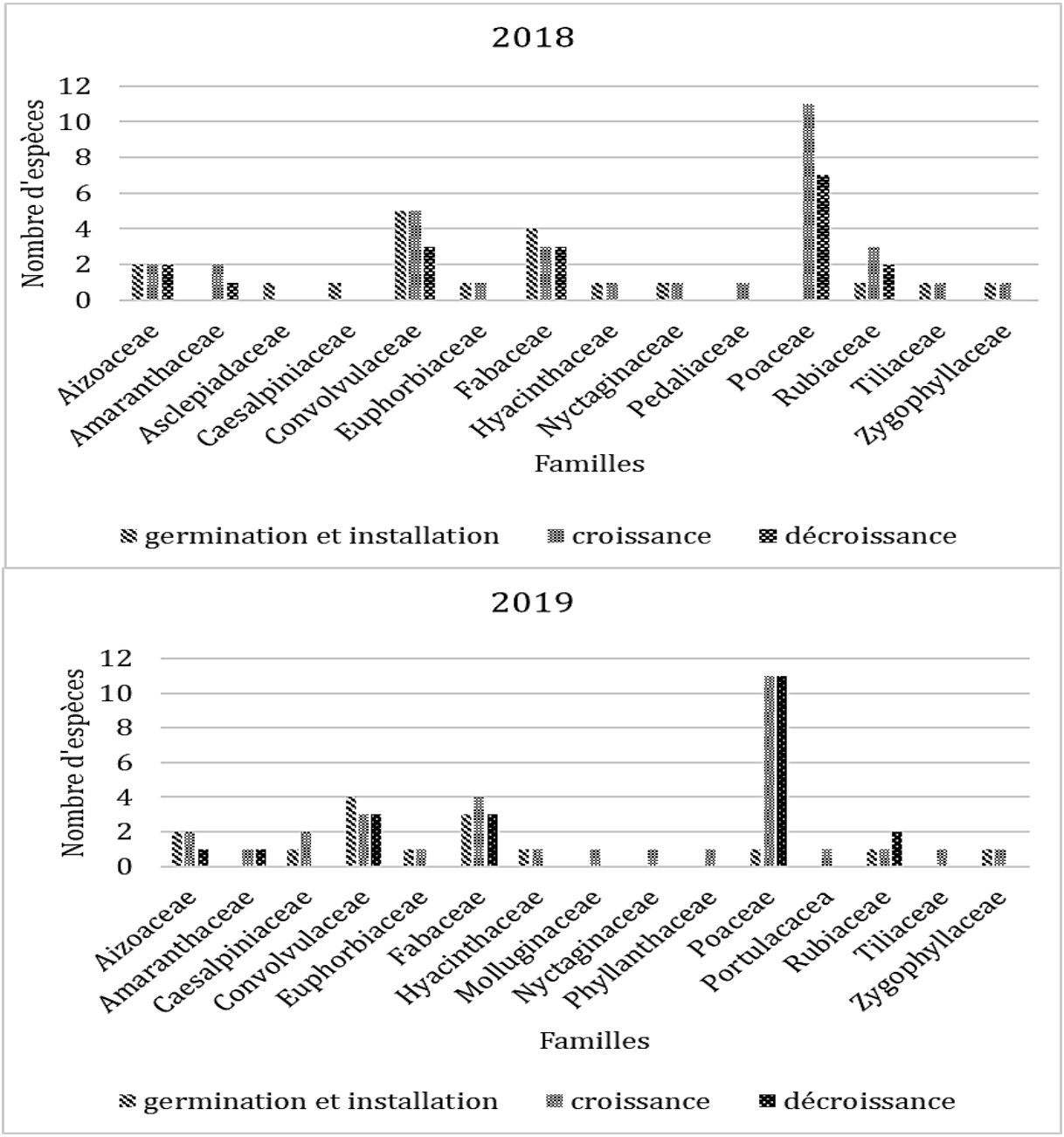


**Figure 25 :** Dominance des familles au cours du cycle de vie des herbacées dans le site pâturé en 2018 et en 2019.

En année de saison des pluies précoce, les Convolvulaceae et les Fabaceae sont mieux représentées pendant la germination-installation. Pendant la croissance, les Poaceae et les Convolvulaceae sont mieux représentées et en phase de décroissance, les Poaceae, les Convolvulaceae et les Fabaceae le sont mieux.

En année de saison des pluies tardive, lors de la germination et l'installation ce sont les Convolvulaceae et les Fabaceae qui sont dominantes. En période de croissance, les Fabaceae et les Poaceae dominent et durant la décroissance, les Poaceae, les Fabaceae et les Convolvulaceae sont dominantes.

### 6.2.3 *Contribution des espèces au cours du cycle de vie des herbacées*

La contribution des espèces herbacées à la phytomasse disponible dans le site pâturé en 2018 et 2019 est présentée à la Figure 26. Seules les espèces ayant une contribution au moins égale à 5% sur chaque phase sont représentées.

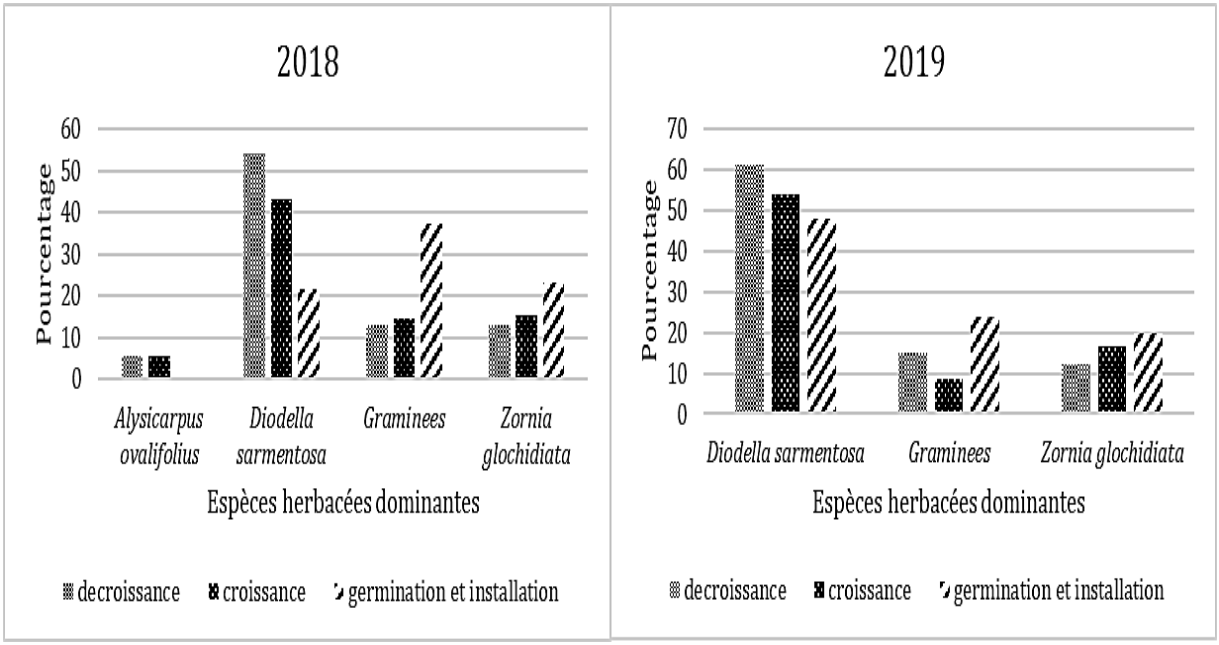


**Figure 26 :** Contribution des espèces au cours du cycle de production des herbacées dans le site pâturé en 2018 et 2019.

En année de saison des pluies précoce, *Zornia glochidiata* et les espèces de la famille des Poaceae sont plus importantes pendant la germination-installation. Lors des phases de croissance et décroissance, *Diodella sarmentosa* et *Zornia glochidiata* ont les plus grandes contributions.

Au maximum de végétation, les pâturages sont dominés par *Diodella sarmentosa* (43,1%), *Zornia glochidiata* (15,3%) et *Alysicarpus ovalifolius* (5,6%). En année de saison des pluies tardive, *Diodella sarmentosa* est l'espèce qui contribue le plus à la phytomasse disponible sur les trois phases.

## 6.3 Discussion

L'objectif de cette étude était de déterminer la composition et la richesse spécifiques en milieux pâturé et mis en défens sahéliens.

La richesse spécifique est de 61 espèces réparties en 47 genres appartenant à 22 familles botaniques. Poaceae, Fabaceae et Convolvulaceae sont les familles dominantes. *Diodella sarmentosa*, *Zornia glochidiata* et *Alysicarpus ovalifolius* sont les espèces les plus fréquentes et dominent les pâturages.

Pontanier *et al*., (2003) ont dénombré 32 espèces en 1993 et 42 espèces en 1994 à Dahra. Les résultats de Ndiaye (2015) font état de 74 espèces réparties en 44 genres et 20 familles en 2011. Ndiaye (2013) répertoriait au Ferlo 75 espèces réparties en 50 genres et 25 familles avec une meilleure représentation des Poaceae, Fabaceae, Rubiaceae et Convolvulaceae. La différence liée au nombre d'espèces pourrait être imputée aux superficies concernées par les relevés. En fait ces auteurs ont travaillé sur des superficies plus vastes que la nôtre. La richesse en espèces d'un écosystème est corrélée à la surface échantillonnée car plus la surface augmente, plus il y a diversité des habitats et donc plus d'espèces peuvent s'installer (Lévêque, 2008 cité par Ngom, 2013).

Cependant, la famille des Rubiaceae qui était une des mieux représentées en 2011 perd sa place au profit de la famille des Convolvulaceae. D'ailleurs, Ndiaye (2015) signalait la meilleure représentation de cette famille en 2011 en comparaison à 1964. Nos résultats confirment ceux du même auteur pour *Zornia glochidiata* et *Alysicarpus ovalifolius* et la dominance des Poaceae (Akpo, 1990 ; Bakhoum, 2013 ; Dardel, 2014) et des Fabaceae.

Nos résultats ont montré par ailleurs que la richesse spécifique ne dépend pas des conditions climatiques d'une année, ni du type de site (pâturé ou mis en défens). Cela ne confirme pas les travaux de Véla *et al*., (2001) ; Marion (2010) ; Khalid *et al*., (2015) qui ont fait mention d'une plus grande richesse dans le site pâturé. Il ne corrobore pas non plus les résultats de Ngom (2014) entre la zone centrale (soustraite aux activités humaines sauf de recherche et surveillance) et la zone de transition (qui abrite les activités humaines) de la réserve de biosphère du Ferlo. L'accès ou la fréquentation d'un

milieu par les animaux serait positif pour l'enrichissement en espèces de ce milieu par zoochorie. Cependant, dans notre cas, une espèce (*Diodella sarmentosa*) avait commencé à dominer les parcours, surtout dans le site pâturé, avec une très forte présence en 2018 et une domination encore plus marquée en 2019.

Lorsqu'une seule espèce compte la majorité des individus d'un système écologique, la diversité s'en trouve alors diminuée car son calcul prend en compte les effectifs des différentes espèces.

L'indice de Shannon-Weaver dans le site pâturé est d'environ 3 bits. Ce résultat confirme Ndiaye (2013) qui a trouvé un indice de 2,73 bits pour l'ensemble du Ferlo, Bakhoum (2013) qui a trouvé 2,74 bits à Amaly (localisation) , Inoussa *et al*., (2014) qui ont trouvé entre 2 et 3,4 bits au Niger. Aussi Tracol (2004) a trouvé un indice de Shannon-Weaver supérieur à 2 pour la zone sud du Sahel.

En année de saison des pluies précoce, *Zornia glochidiata*, *Diodella sarmentosa* et d'autres espèces de la famille des *Poaceae* contribuent le plus à la phytomasse disponible sur les pâturages. Cependant, *Diodella sarmentosa* est l'espèce qui contribue le plus à la phytomasse disponible en année de saison des pluies tardive.

Cette différence de contribution des espèces est peut-être plus liée au caractère envahissant de *Diodella sarmentosa* qu'à la différence des situations pluviométriques entre les deux années. C'est une espèce dont la vitesse de colonisation de l'espace entre 2017 et 2020 a été remarquable.

## Conclusion

La richesse spécifique est de 61 espèces réparties en 47 genres appartenant à 22 familles botaniques. Poaceae, Fabaceae et Convolvulaceae sont les familles dominantes. *Diodella sarmentosa*, *Zornia glochidiata* et *Alysicarpus ovalifolius* sont les plus fréquentes dans les pâturages.

*Zornia glochidiata*, *Diodella sarmentosa* et les espèces de la famille des *Poaceae* sont dominantes dans les pâturages. Pour *Diodella sarmentosa*, sa vitesse rapide d'occupation de l'espace pourrait être la cause de sa contribution importante.

Les parcours de Dahra présentent une diversité spécifique appréciable mais cette diversité pourrait être sérieusement remise en cause si l'occupation des parcours par la rubiaceae *Diodella sarmentosa* continuent à ce rythme.

**Chapitre 7**

# DISCUSSION GÉNÉRALE

**Phytomasse herbacée et paramètres de la saison des pluies**

La phytomasse herbacée réagit aux variations des paramètres de la saison des pluies au cours de l'année mais plus sur la période qui va du début de la saison des pluies jusqu'à l'apparition des pics de phytomasse. Cette situation pourrait être liée au fait que la majeure partie des espèces herbacées annuelles se dessèchent après maturation et dissémination de leurs graines. En effet, selon Penning de Vries et Djitèye (1982), quand les plantes arrêtent de croître végétativement à cause du photopériodisme, les racines meurent aussi et n'absorbent plus d'azote même s'il y a encore de l'eau dans le sol.
À plus de pluviosité, la phytomasse réagit par une quantité plus élevée (Penning de Vries et Djitèye, 1982 ; Cissé, 1986 ; Tracol, 2004 ; Ndiaye, 2015 ; Taugourdeau *et al*., 2017).
La longueur des pauses pluviométriques est néfaste pour la phytomasse disponible tandis que leur nombre est positif. Une hypothèse serait que, lorsqu'une pause est longue, le dessèchement des plantules s'en suit parce que n'ayant pas fini les processus de germination, de tallage ou de développement du système racinaire. Quant au nombre de pauses, il agit comme un indicateur du nombre de jours de pluie et reste donc positif à la phytomasse disponible.

**Vitesse de croissance et paramètres de la saison des pluies**

La plus longue pause, les jours sans pluie, le début tardif de la saison, la variance moyenne des pluies journalières et la longueur de la saison ont un effet positif sur la vitesse de croissance qui elle-même est corrélée négativement à la phytomasse disponible. En fait, la vitesse de croissance entre deux dates est élevée lorsque ces dates sont séparées par de longues pauses ou bien par des quantités de pluies bien différentes.
Le nombre de pauses ne favorise pas la vitesse de croissance pour une pluviosité calculée entre le début et le pic de phytomasse. C'est sur cette période qu'il y a souvent les longues pauses. Or la vitesse de croissance est plus élevée avec les longues pauses. Donc s'il y a plusieurs pauses sur cette période, elles seront moins longues et ne favoriseraient donc pas la vitesse de croissance. Selon Salack *et al*., (2012) les longues pauses apparaissent entre mai et septembre. De ce fait, l'influence de leur nombre sur la vitesse de croissance n'apparait que sur la période qui va jusqu'au pic de phytomasse.

**Efficience d'utilisation de la pluie et paramètres de la saison des pluies**

L'efficience d'utilisation de la pluie n'a réagi avec aucun des paramètres de la saison des pluies. Cette efficience serait plutôt liée à la dynamique de la végétation et au fonctionnement des écosystèmes.

**Dynamique de la phytomasse herbacée au cours de l'année et qualité des fourrages**

La phytomasse disponible dans le site pâturé entre une année de saison des pluies tardive et une autre de saison des pluies plus précoce est apparue très peu différente. Pourtant malgré le retard de démarrage de la saison des pluies, c'est l'année dont la pluviosité a été mieux répartie dans le temps et qui a eu moins de longues pauses pluviométriques ; les quantités de pluie étant presque égales entre les deux années. Or, certains auteurs (Penning de Vries et Djitèye, 1982 ; Hiernaux et Le Houérou, 2006) ont rappelé le rôle prépondérant de la distribution et de la régularité des pluies dans la production de phytomasse. Contrairement à leurs allégations, nos résultats concernant la phytomasse herbacée disponible dans un site pâturé entre deux années de situations pluviométriques différentes montrent que l'impact de la pâture sur la quantité a été plus marqué que celui de la pluviosité.

La valeur nutritionnelle des fourrages, reliée d'une part à la présence d'éléments nutritifs essentiels (acides aminés essentiels, fibres alimentaires, vitamines, minéraux, etc.) et, d'autre part, à leur biodisponibilité (digestibilité), n'obéit pas toujours au rythme de la production de phytomasse. Le terme digestibilité indique le degré d'utilisation des aliments ou des nutriments par l'animal (Seck, 1993). Nous avons observé que la qualité nutritionnelle est systématiquement meilleure en début de saison des pluies là où le rendement est plutôt faible. Par contre, lorsque la phytomasse disponible atteint ses valeurs maximales, la qualité nutritionnelle a tendance à diminuer car la digestibilité des constituants diminue. En fait, au début du cycle végétatif, puisque les plantes sont très jeunes, elles sont plus riches en protéines et comptent très peu de tissus lignifiés ; la matière organique est de ce fait très digestible. Avec l'âge, les plantes sont plus riches en constituants pariétaux (y compris en lignine) rendant la matière organique moins digestible. Nous pouvons donc affirmer que la digestibilité de la matière organique des fourrages est un élément déterminant pour apprécier la qualité nutritionnelle des parcours. Au-delà de la disponibilité en matière sèche totale c'est surtout sa part utilisable/digestible qui compte le plus pour l'animal.

**Phytomasse disponible, hauteur et phénologie des herbacées**

Le maximum de phytomasse disponible, la hauteur maximale et la phénologie des herbacées semblent liés. Les plantes cessent de croître lorsque la majorité d'entre elles ont fleurit et fructifié. Penning de Vries et Djitèye (1982) ont affirmé que quand la croissance végétative des plantes s'arrête à cause du photopériodisme qui induit la floraison, les racines meurent également et n'absorbent plus d'azote. Suite à la mort des racines et l'arrêt de la croissance, les plantes se dessèchent. Ce qui explique que quand la majeure partie des plantes sont en pleine floraison et fructification la hauteur atteint sa valeur la plus élevée et n'évolue presque plus ; ce qui entraine de facto l'atteinte du pic de phytomasse disponible.

**La pâture**

Un des constats tirés de cette étude est que presque tous les paramètres comparés entre 2018 et 2019 n'ont varié que peu. Au contraire, ces paramètres, comparés entre un milieu mis en défens et un milieu pâturé ont plus varié. De ce fait, sur nos deux années d'observation, la strate herbacée a réagi plus à la pâture qu'aux différences pluviométriques entre les deux années.

## Conclusion générale

A travers la mise en évidence des liens entre leurs paramètres, la strate herbacée et la pluviométrie sont apparues très liées, sauf pour l'efficience d'utilisation de la pluie qui n'a montré aucune sensibilité aux paramètres de pluie définis dans cette étude (chapitre 3). L'efficience d'utilisation de la pluie dépend selon Le Houérou (2005) de la dynamique de la végétation et du fonctionnement des écosystèmes.

La période qui va du début de la saison des pluies jusqu'à la date d'apparition du pic de phytomasse apparait plus appropriée pour étudier les effets de la pluviométrie sur les herbacées. C'est en effet la période qui montre le plus de liens et avec des coefficients de corrélation plus élevés en comparaison à la période allant du début à la fin de la saison des pluies (chapitre 3).

Toutes les étapes du cycle de vie des herbacées se retrouvent entre mi-août et fin octobre même quand la saison des pluies démarre tard (un mois de retard environ). Compte tenu du temps souvent long que prend le suivi, il serait souhaitable que les études sur les herbacées soient faites sur cette période au lieu de considérer toute la saison des pluies (chapitres 4 et 5). Cependant, les mesures au maximum de végétation pourraient induire en erreur puisque des pics différents d'un paramètre donné, entre deux années par exemple, ne signifient pas que sur toute la saison, ce paramètre est différent entre ces deux années.

La phytomasse disponible, la floraison, la fructification, la hauteur et le recouvrement sont arrivés à leur maximum au mois d'octobre (chapitres 4, 5). En conséquence, pour des mesures ponctuelles sur les herbacées, il serait préférable de considérer cette période.

Le suivi des hauteurs a permis de voir que la hauteur des inflorescences est toujours supérieure à la hauteur végétative (chapitre 5). Les mesures de la hauteur du couvert au maximum de végétation devraient donc considérer la hauteur des inflorescences afin d'éviter de sous-estimer la hauteur du tapis herbacé.

Lorsque la saison des pluies démarre tard, les herbacées écourtent le temps de germination-installation et entament rapidement la croissance. Ce qui entraine des pics précoces et souvent inférieurs à ceux d'une année de saison des pluies plus précoce (chapitres 4, 5, 6).

Comme pour s'adapter à la pâture et donner à leurs semences le temps de murir avant la dissémination, les herbacées démarrent leur floraison plus tôt dans le site pâturé par rapport au site mis en défens (chapitre 5).

La mise en défens, même partielle, a donné une phytomasse herbacée disponible plus élevée que la zone pâturée. Donc si l'objectif est de constituer des réserves de fourrage (avec comme seul objectif la quantité) utilisables en période de soudure, les parcelles mises en défens gagneraient à être hermétiquement fermées aux animaux. Ces parcelles pourraient toutefois être ouvertes au bétail après récoltes du fourrage afin que leur sol soit enrichi par les déjections. Cependant, puisque quantité et qualité sont tous nécessaires pour l'alimentation animale, les réserves de fourrages devraient prendre en compte la qualité et donc faire une fauche au moment opportun. Cela implique de connaitre le moment où la digestibilité de la matière sèche (ou matière organique) est encore bonne.

Les irrégularités pluviométriques entre les années ont provoqué moins de réactions chez les herbacées que la pâture.

La phytomasse herbacée combinée à la qualité des fourrages sahéliens en saison des pluies ne permet pas aux animaux de remplir leurs fonctions de production en saison sèche (chapitre 4).

Le manque dans la littérature d'études sur le suivi de la strate herbacée durant toute la saison des pluies et en saison sèche avec des pas de temps de dix jours et trente jours respectivement n'a pas facilité la discussion des résultats concernant certains paramètres. Il a été particulièrement difficile de trouver des résultats de comparaison et des explications basées sur des données issues du terrain.

## Perspectives

Les investigations pourraient être poursuivies afin de quantifier la contribution des différentes espèces à la production et à la qualité nutritionnelle des fourrages.

L'efficience d'utilisation de la pluie pourrait faire l'objet d'étude afin de connaitre les paramètres qui l'influencent, car au-delà des quantités d'eau disponibles pour les plantes, il faut connaitre ce qui favorise ou non son utilisation par les plantes.

## Références bibliographiques


Akpo, L. E. (1990). “Dynamique des systèmes écologiques sahéliens: structure spécifique, productivité et qualité des herbages - le forage de Widdu Thiengoly.” Mémoire de DEA d’écologie végétale, Université Cheikh Anta Diop, 65 p.

Akpo, L. E. (1998). “Effet de l’arbre sur la végétation herbacée dans quelques phytocénoses au Sénégal. Variation selon un gradient climatique.” Thèse de doctorat d’Etat en sciences naturelles, Université Cheikh Anta Diop, 142p.

Akpo, L. E., Banoin, M., and Grouzis, M. (2003). “Effet de l’arbre sur la production et la qualité fourragères de la végétation herbacée : bilan pastoral en milieu sahélien.” *Revue d’Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 154(10), 619–628.

Akpo, L. E., Gaston, A., and Grouzis, M. (1995). “Structure spécifique d’une végétation sahélienne. Cas de Wiidu Thiengoli (Ferlo, Sénégal).” *Bull. Mus. natl Hist. nat*, 39–52.

Akpo, L. E., and Grouzis, M. (2000). “Valeur pastorale des herbages en region soudanienne.” *Tropicultura*, 18(1), 1–8.

Aranyossy, J. F., Gonfiantini, R., Louvat, D., and Maksoudi, M. (1993). *Development of hydrogeological isotopic techniques in Sahelian countries*. rapport, p.

Bakhoum, A. (2013). “Dynamique des ressources fourragères : indicateur de résilience des parcours communautaires de Tessekere au Ferlo, (nord-sénégal).” Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, 115 p.

Le Barbé, L., and Lebel, T. (1997). “Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950- 1990.” *Journal of Hydrology*, 43–73.

Barral, H., Benefice, E., Boudet, G., Denis, J. P., De Wispelaere, G., Diaite, I., Diaw, O. T., Dieye, K., Doutre, M. P., Meyer, J. F., Noel, J., Parent, G., Piot, J., Planchenault, D., Santoir, C., Valentin, C., Valenza, J., and Vassiliades, G. (1983). *Systèmes de production d’élevage au Sénégal dans la région du Ferlo*. 172p.

Bastianelli, D., Bonnal, L., Barre, P., Nabeneza, S., Salgado, P., and Andueza, D. (2018). “La spectrométrie dans le proche infrarouge pourla caractérisation des ressouces alimentaires.” *INRA Prod. Anim.*, 31(3), 237–254.

Baumer, M. (1997). *L’agroforesterie pour les productions animales*. Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale - Centre Internationale pour la Recherche en Agroforesterie, 340 p.

Bechir, A. B., and Mopate, L. Y. (2015). “Analyse de la végétation pâturée autour des ouvrages hydrauliques des zones pastorales de Batha Ouest au Tchad.” *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1), 212–226.

Berhaut, J. (1967). *Flore du Sénégal*. Clairafrique éd, Daka, 485p.

Berhaut, J. (1971). *Flore illustrée du Sénégal*. Paris Maisonneuve.

Bille, J.-C., and Poupon, H. (1974). “Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal : Description de la végétation.” *Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal: 1972, année de sèche au Sahel*, LA TERRE ET LA VIE revue d’écologie appliquée, 325–472.

Bioret, F., Estève, R., and Sturbois, A. (2009). *Dictionnaire de la protection de la nature*. 537 p.

Boudet, G. (1972). "Désertification de l'Afrique tropicale sèche." *Adansonia*, 12(4), 505–524.

Boudet, G. (1975). *Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères*. Ministère des relations extérieures, coopération et développement, 254 p.

Boudet, G. (1987). "Connaissance et gestion de l'espace pastoral sahélien, Terroirs pastoraux et agro-pastoraux en zone tropicale." *Terroirs pastoraux et agropastoraux en zone tropicale : gestion, aménagements et intensification fourragère*, Maisons-Alfort : IEMVT, (24), 1-59. (Etudes et Synthèses de l'IEMVT ; 24). ISBN 2-85985-137-2.

Boudet, G. (1989). "Evolution de la végétation des parcours sahéliens et possibilités de réhabilit ation." *Fourrages*, (120), 401–415.

Boutrais, J. (1994). "Eleveurs, bétail et environnement." *A la Croisée Des Parcours. Pasteurs, Éleveurs, Cultivateurs.*, 303–319.

Breman, H., and Ridder, N. de. (1991). *Manuel sur les pâturages des pays sahèliens*. ACCT : Karthala ; CTA, Paris; Wageningen.

Carriere, M. (1989). "Les communautés végétales sahéliennes en Mauritanie (Région de Kaedi) ; analyse de la reconstitution annuelle du couvert herbacé." Univesité Paris-Sud, centre d'Orsay.

Casenave, A., and Valentin, C. (1989). *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration.* Collection didactiques, 229 p.

Chase, M. W., Christenhusz, M. J. M., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S., Soltis, D. E., ..., and Stevens, P. F. (2016). "An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV." *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–20.

Cissé, A. M. (1986). "Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud-sahélienne." Thèse, Landbouw Universiteit, Wageningen, 211 p.

Cissé, S. (2016). "Etude de la variabilité intra saisonnière des précipitations au Sahel: impacts sur la végétation (Cas du Ferlo au Sénégal)." Thèse de doctorat, Université Pierre et Marie Curie, Université Cheikh Anta Diop, 160 p.

Cissé, S., Eymard, L., Ndione, J. A., and Gaye, A. T. (2015). "Analyse statistique des relations pluie-végétation au Ferlo (Sénégal)." *Actes du XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie*, (2), 307–312.

Cornet, A. (1981). "Le bilan hydrique et son rôle dans la productin de la strate herbacée de quelques phytocénoses sahéliennes au Sénégal." Thèse de doctorat, Université des sciences et techniques du languedoc, 351 p.

Cornet, A., and Rambal, S. (1981). "Simulation de l'utilisation de l'eau par une phytocénose de la zone sahélienne au Sénégal : test de deux modèles." *Proceedings of the 9th symposium Informatique et Biosphère on "hydrologie, cycle de l'eau et informatique*, 156–179.

Dardel, C. (2014). “Entre désertification et reverdissement du Sahel : Diagnostic des observations spatiales et in situ.” Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier-Toulouse III, 199 p.

Dardel, C., Kergoat, L., Hiernaux, P., Grippa, M., Mougin, E., Ciais, P., and Nguyen, C. C. (2014). “Rain-use-efficiency: What it tells us about the conflicting sahel greening and sahelian paradox.” *Remote Sensing*, MDPI AG, 6(4), 3446–3474.

Descroix, L., Genthon, P., Amogu, O., Rajot, J. L., Sighomnou, D., and Vauclin, M. (2012). “Change in Sahelian Rivers hydrograph: The case of recent red floods of the Niger River in the Niamey region.” *Global and Planetary Change*, 98, 18–30.

Diawara, M. O., Hiernaux, P., Mougin, E., Grippa, M., Delon, C., and Diakité, H. S. (2018). “Effets de la pâture sur la dynamique de la végétation herbacée au Sahel (Gourma, Mali) : une approche par modélisation.” *Cahiers Agricultures*, EDP Sciences, 27(1), 15010.

Díaz, S., Noy-Meir, I., and Cabido, M. (2001). “Can grazing response of herbaceous plants be predicted from simple vegetative traits?” *Journal of Applied Ecology*, 38(3), 497–508.

Diouf, A. (2019). *Rapport annuel bouverie 2019*. Rapport, 35p.

Diouf, J. C., Akpo, L. E., Ickowicz, A., and Lesueur, D. (2005). “Dynamique des peuplements ligneux et pratiques pastorales au Sahel (Ferlo, Sénégal).” 1–9.

Dumont, B. (1996). “Préférences et sélection alimentaire au pâturage.” *INRA Prod. Anim.*, 9(5), 359–366.

Garnier, E. (1992). “Growth analysis of congeneric annual and perrenial grass species.” *Journal of ecology*, 80, 665–675.

Grouzis, M. (1987). “Structure, productivité et dynamique des systèmes écologiques sahéliens (Mare d’Oursi, Burkina Faso).” Thèse de doctorat, Paris 11.

Grouzis, M. (1992). “Germination et etablissement des plantes annuelles saheliennes.” *L’aridite, une contrainte au developpement*, Paris : ORSTOM, 597 p.

Guéguen, L. (1959). “Étude de la composition minérale de quelques espèces fourragères. Influence du stade de développement et du cycle de végétation.” *Annales de Zootechnie*, 8(3), 245–268.

Guérin, H., Friot, D., Mbaye, N., Fall, S. T., Richard, D., Diop, M., Corréa, A., Ndiaye, I., and Bâ, T. M. (1987). “L’ingestion des fourrages des parcours naturels en zone sahélienne : mesures en stabulation et au pâturage.” *Reproduction Nutrition Développement*, 27(1B), 197–198.

Gueye, S. (2000). “Etude sur les ressources forestières et les plantations forestières du Sénégal.” *Projet GCP/INT/679/EC. CE, FAO.*, 1–61.

Hiernaux, P., and Gérard, B. (1999). “The influence of vegetation pattern on the productivity, diversity and stability of vegetation : The case of ‘brousse tigrée’ in the Sahel.” *Acta Oecologica*, 20(3), 147–158.

Hiernaux, P., and Le Houérou, H. N. (2006). “Les parcours du Sahel.” *Secheresse*, 17(1–2), 51–71.

Hiernaux, P., and Turner, M. D. (1996). "The effect of the timing and frequency of clipping on nutrient uptake and production of Sahelian annual rangelands." *Journal of applied ecology*, 33, 387–399.

Hoffmann, W. A., and Poorter, H. (2002). "Avoiding bias in calculations of relative growth rate." *Annals of Botany*, Oxford University Press, 90(1), 37–42.

Le Houérou, H. N. (1980). *Browse in Africa: the current state of knowledge*. Addis Ababa, Ethiopia: ILCA, 491 p.

Le Houérou, H. N. (1989). *The Grazing Land Ecosystems of the African Sahel*. Ecological studies 75, Springer, Berlin, Heidelberg, 282 p.

Le Houérou, H. N. (1997). "Biodiversité végétale et ressources génétiques en Afrique." *Secheresse*, 8(2), 117–122.

Le Houérou, H. N. (2005). "Problèmes écologiques du développement de l'élevage en région sèche." *Sécheresse (Montrouge)*, 16(2), 89–96.

Le Houérou, H. N., and Hoste, C. H. (1977). "Rangeland production and annual rainfall relations in the mediterranean basin and in the african sahelo-sudanian zone." *Journal of Range Management*, 30(3), 181.

Le Houérou, H. N., Popov, G., and See, L. (1993). *Bioclimatic Classification of Africa. Agrometeo- rology working paper n° 6*. FAO: Rome.

Hutchinson, J., Dalziel, J. M., Keay, R. W. J., and Hepper, N. (2014). *Flora of West Tropical Africa*.

Inoussa, M. M., Diouf, A., Bakasso, Y., Morou, B., Zaman-Allah, M., Mahamane, A., and Saadou, M. (2014). "Situation de référence de la phytodiversité et la productivité herbacée d'un dispositif de suivi du feu de brousse au Niger." *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(3), 1165.

Jarrige, R. (1988). *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. INRA Editions, Paris, 476 p.

Ketelaars, J. J. M. H. (1991). "Elevage de la région : possibilités et limites." *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens*, KARTHALA Editions.

Khalid, F., Benabdeli, K., and Morsli, B. (2015). "Impact de la mise en défens sur la lutte contre la sésertification dans les parcours steppiques : cas de la région de Naâma (sud-ouest algérien)." *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 70(1), 16–31.

Lebrun, J.-P. (2002). *Introduction à la flore d'Afrique*. Paris: Cirad-Ibis.

Lebrun, J.-P., and Stork, A. L. (1991). *Enumération des plantes à fleurs d'Afrique tropicale. Edition des conservatoir et jardin botaniques*. Genève: Ville de Genève Edition.

Levang, P., and Grouzis, M. (1980). "Methods of studying the herbaceous biomass of Sahelian formations: application to the Oursi pond, Upper Volta." *Acta Oeco/Oecol Plant (15), 3:231-244*.

Marion, B. (2010). "Impact du pâturage sur la structure de la végétation : interactions biotiques , traits et conséquences fonctionnelles." Thèse de doctorat, Université Rennes 1, 227p.

Miehe, S., Kluge, J., von Wehrden, H., and Retzer, V. (2010). "Long-term degradation of

Sahelian rangeland detected by 27 years of field study in Senegal." *Journal of Applied Ecology*, 47(3), 692–700.

Ndiaye, C., Guèye, E. F., Ngom, S., Traoré, E. H., and Akpo, L. E. (2015a). "Impact of rainfall on grassland biomass production in the Sahel : a case in Matam Region, Northern Senegal." *Livestock Research for Rural Development*, 27(3).

Ndiaye, O. (2013). "Caractéristiques des sols, de la flore et de la végétation du Ferlo, Sénégal." Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, 117 p.

Ndiaye, O. (2015). "Déterminants de la dynamique de la végétation d'un milieu pâturé en région sahélienne du Sénégal." Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, 133 p.

Ndiaye, O., Diop, A. T., Diène, M., and Akpo, L. E. (2015b). "Étude comparée de la végétation de 1964 et 2011 en milieu pâturé: Cas du CRZ de Dahra." *Journal of Applied Biosciences*, 88(1), 8235.

Ngom, D. (2008). "Définition d'indicateurs de gestion durable des ressources sylvo-pastorales au Ferlo (Nord-Sénégal)." Thèse de doctorat de 3ième cycle en biologie végétale, Université Cheikh Anta Diop, 148 p.

Ngom, D. (2013). "Diversité taxonomique et quantification des services écosystèmes de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord-Sénégal)." Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop, 172p.

Ngom, D. (2014). *Biodiversité et services écosystèmiques dans les réserves de biosphère*. Presses Académiques francophones, 196 p.

Ngom, D., Bakhoum, A., Diatta, S., and Akpo, L. E. (2012). "Qualité pastorale des ressources herbagères de la réserve de biosphère du Ferlo (Nord-Sénégal)." *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, African Journals Online (AJOL), 6(1).

Penning de Vries, F. W. T., and Djitèye, M. A. (1982). *La productivité des pâturages sahéliens–une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 525 p.

Pierre, C., Bergametti, G., Marticorena, B., Mougin, E., Lebel, T., Ali, A., Pierre, C., Bergametti, G., Marticorena, B., Mougin, E., Lebel, T., and Ali, A. (2011). "Pluriannual comparisons of satellite-based rainfall products over the Sahelian belt for seasonal vegetation modeling." *Journal of Geophysical Research*, 116, (D18).

Pontanier, R., Diouf, M., and Zaafouri, M. S. (2003). "Écologie et régime hydrique de deux formations à Acacia raddiana au nord et au sud du Sahara (Tunisie, Sénégal)." *Un arbre au désert*, 79–101.

Poupon, H. (1980). *Structure et dynamique de la strate ligneuxe d'une steppe sahélienne au Nourd du Sénégal*. IRD Editions, 351 p.

Rakotoarimanana, V., Gondard, H., Ranaivoarivelo, N., and Carriere, S. (2008). "Influence du pâturage sur la diversité floristique, la production et la qualité fourragères d'une savane des Hautes Terres malgaches (région de Fianarantsoa)." *Sécheresse (Montrouge)*, 19(1), 39–46.

Ramade, F. (1993). *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des science de*

*l'environnement*. Ediscience international.

Ramade, F. (2008). *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*. Dunod.

Roberge, G., and Toutain, B. (1999). *Cultures fourragères tropicales*. Ministère des relations extérieures, coopération et développement, 1-254.

Ruster, J. (2009). "Evolution du couvert végétal de la région de Téssékré au Sénégal , par le biais de la télédétection." Rapport de stage master 1, Université Diderot-Paris 7, 60 p.

Salack, S., Muller, B., Gaye, A. T., Hourdin, F., and Cisse, N. (2012). "Analyses multi-échelles des pauses pluviométriques au Niger et au Sénégal." *Science et Changements Planetaires - Secheresse*, 23(1), 3–13.

Sané, T., Diop, M., and Sagna, P. (2008). "Etude de la qualité de la saison pluvieuse en Haute-Casamance (Sud Sénégal)." *Sécheresse (Montrouge)*, 19(1), 23–28.

Sarr, M. A. (2009). "Évolution récente du climat et de la végétation au sénégal (Cas du bassin versant du FERLO)." Thèse de doctorat, Université de Lyon, Université Cheikh Anta Diop, 384 p.

Sarr, O., Diatta, S., Gueye, M., Ndiaye, P. M., Guisse, A., and Akpo, L. E. (2013). "Importance des ligneux fourragers dans un système agropastoral au Sénégal (Afrique de l'ouest)." *Revue de Medecine Veterinaire*, 164(1), 2–8.

Seck, M. T. (1993). "Contribution à l'étude des besoins énergétiques pour la croissance et l'engraissement des zébus gobras." Thèse, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 95 p.

Seghieri, J., and Floret, C. (1995). "Plant phenology in relation to water availability: Herbaceous and woody species in the savannas of northern Cameroon." *Journal of Tropical Ecology*, 11(2), 237–254.

Son, D., and Compaoré, E. (2011). "Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (Sesamum indicum)." *Journal of Applied …*, 37, 2460–2467.

Sow, R. S., Denis, J. P., Trail, J. C. M., Thiongane, P. I., Mbaye, M., and Diallo, I. (1988). "Productivité du zébu Gobra au centre de recherches zootechniques de Dahra (Sénégal)." *Etude et document*, 1(2), 45.

Stern, R., Rijks, D., Dale, I., and Knock, J. (2006). *Instant Climatic Guide*. University of Reading, UK, 322 p.

Taugourdeau, S., Ndiaye, O., Diatta, O., and Assouma, M. H. (2017). "Dynamic of herbaceous biomass during the wet season in the Sahel." *Sustainable meat and milk production from grasslands*, 23(June), 676–678.

Thébaud, B., Grell, H., and Miehe, S. (1995). "Vers une reconnaissance de l'efficacité pastorale traditionnelle : les leçons d'une expérience de pâturage contrôlé dans le nord du Sénégal." International Institute for Environment and Development (IIED).

Thiombiano, A., Schmidt, M., Dressler, S., Ouédraogo, A., Hahn, K., and Zizka, G. (2012). *Catalogue des plantes vasculaires du Burkina Faso*. Boissiera, 1-391.

Tracol, Y. (2004). “Etude des variations interannuelles de la production herbacée des pâturages sahéliens: Exemple du Gourma malien.” Thèse de doctotat, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 262 p.

Traoré, B. (1978). *Observations sur la phénologie de quelques espèces herbacées et ligneuses sahéliennes*. Rapp. multigr CC-LAT (Haute-Volta). DGRST/Orstom/ISP. Ouagadougou, 74 p.

Triplet, P. (2015). *Dictionnaire de la diverstié biologique et de la cosevation de la nature*. 721 p.

Véla, E., Tatoni, T., and Brisse, H. (2001). “Etude synchronique de l’influence du pâturage ovin et de la mise en défens sur la végétation des pelouses calcaires du Luberon (province, France).” *Courrier scientifique du Parc naturel régional du Lubéron*, 102–121.

Wane, A. (2006). *Economie du pastoralisme : une analyse bibliographique*.

White, F. (1983). “The Vegetation of Africa.” *Natural Resources Research*, 20.

## Annexes

**Annexe 1 :** fiche de relevé du recouvrement et de la contribution des espèces herbacées.

Date : Site :

| Quadrats / Espèces | 1 | 2 | 3 | … | … | 28 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Recouvrement (%)** | | | | | | |
| *Espèce 1* | | | | | | |
| *Espèce 2* | | | | | | |
| *Espèce 3* | | | | | | |
| *Espèce 4* | | | | | | |
| … | | | | | | |
| … | | | | | | |
| *Espèce n* | | | | | | |

**Annexe 2 :** fiche de relevé de la hauteur végétative et de la hauteur des inflorescences.

| Individu | Date | Site | Quadrat | Espèce | Hauteur végétative (cm) | Hauteur des inflorescences (cm) | Stades phénologiques |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I1 | | | | | | | |
| I2 | | | | | | | |
| I3 | | | | | | | |
| I4 | | | | | | | |
| I5 | | | | | | | |
| … | | | | | | | |
| I10 | | | | | | | |