

Mémoire de fin d'étude

Présenté par : Mica SANSON

Sous la direction d'Arnaud Béchet, Antoine Gazaix, Damien Cohez, Mélisande Noirot et François Colin
Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur en agronomie
Option : Biodiversité, Eau, Sol, climaT, Evaluation environnementale (BESTE)
Année 2025-2026

Amélioration de la qualité pastorale et écologique des prairies permanentes du domaine de la Tour du Valat



Chevaux de Camargue @Mica Sanson

Soutenu le 2 octobre 2026 à Montpellier

Devant un jury composé de :

- François Colin – Enseignant référent – Institut Agro Montpellier
- Arnaud Béchet – Maître de stage – Tour du Valat
- Antoine Segalen – Rapporteur externe – Parc Naturel Régional de la Narbonnaise

Résumé

Les prairies permanentes ont à la fois une fonction pastorale et une fonction de conservation de la biodiversité, deux fonctions que les choix de gestion (pâturage, fauche, irrigation) peuvent renforcer ou fragiliser simultanément. L'étude présentée dans ce rapport est menée sur 32 parcelles du domaine de la Tour du Valat qui sont représentatives de huit combinaisons de pratiques de gestion (fauche – irrigation – pâturage). Elle vise à comprendre l'hétérogénéité floristique des prairies du domaine et à identifier des pistes de gestion permettant de concilier à la fois la valeur pastorale et la valeur écologique. La composition floristique, la richesse et la diversité des espèces, ainsi qu'un indice de production fourragère corrigé ont été caractérisés par un échantillonnage stratifié en quadrats, et mis en relation avec les pratiques de gestion et les facteurs abiotiques (salinité, altitude). Le mode de gestion structure significativement la composition floristique, avec un contraste marqué entre les parcelles sans fauche ni irrigation régulière, les plus pauvres, et les autres combinaisons. La fauche ressort comme le principal levier de la biodiversité floristique mais réduit en parallèle la production fourragère. L'irrigation accroît fortement la production sans bénéfice net pour la diversité. La relation entre richesse spécifique et indice de production est observée comme étant non linéaire, mais plutôt en cloche, avec un optimum de compromis situé à un niveau de production intermédiaire. Cet optimum est atteint par plusieurs combinaisons qui associent pâturage actif et irrigation. Les résultats concluent sur une gestion différenciée selon l'état initial des parcelles : une restauration active pour les prairies les plus dégradées, un maintien des pratiques pour les parcelles proches du compromis optimal, et un ajustement ciblé (notamment avec de la fauche et de la lutte contre le *Paspalum sp.*, une espèce exotique envahissante qui se développe préférentiellement dans les parcelles irriguées) pour les parcelles les plus productives mais peu diversifiées.

Abstract

Permanent grasslands serve both a pastoral function and a biodiversity conservation function, two functions that management choices (grazing, mowing, irrigation) can either strengthen or undermine at the same time. The study presented in this report was carried out on 32 plots of the Tour du Valat estate, representative of eight combinations of management practices (mowing – irrigation – grazing). It aims to understand the floristic heterogeneity of the estate's grasslands and to identify management options able to reconcile both pastoral and ecological values. Floristic composition, species richness and diversity, as well as a corrected forage production index, were characterised through a stratified quadrat-based sampling protocol and related to management practices and abiotic factors (salinity, elevation). Management type significantly structures floristic composition, with a clear contrast between plots without mowing or regular irrigation, which are the poorest, and the other combinations. Mowing emerges as the main driver of floristic biodiversity but reduces forage production at the same time. Irrigation strongly increases production without a net benefit for diversity. The relationship between species richness and the production index was found to be non-linear, following instead a hump-shaped curve, with an optimal trade-off occurring at an intermediate production level. This optimum is reached by several combinations associating active grazing with irrigation. The results point to a differentiated management strategy depending on the initial state of the plots: active restoration for the most degraded grasslands, maintenance of current practices for plots close to the optimal trade-off, and targeted adjustments (particularly involving mowing and the control of *Paspalum sp.*, an invasive exotic species that develops preferentially in irrigated plots) for the most productive but least diverse plots.

Remerciements

Je souhaite remercier mes encadrants de la Tour du Valat, Arnaud Béchet, Antoine Gazaix et Damien Cohez pour leur accueil et leur accompagnement autour de ce sujet très intéressant et vaste qui ne demande qu'à évoluer dans les réflexions. Un merci également à Mélisande Noirod et François Colin de la Chaire AgroSys pour toute leur disponibilité et leurs conseils toujours précieux.



@Mica Sanson

Sommaire

Résumé.....	1
Abstract	1
Remerciements	2
Sommaire	3
Lexique	3
Sigles et acronymes.....	4
Introduction	5
A. Présentation du territoire d'étude.....	7
B. Matériels et méthodologie	22
C. Présentation des résultats	29
D. Discussion des résultats	39
E. Conclusion et perspectives	45
Bibliographie	47
Table des figures.....	50
Table des tableaux.....	51
Annexes	54

Lexique

Assec : Période sans irrigation ni apport d'eau, utilisée comme levier de gestion pour limiter le développement de certaines espèces

Bioagresseurs : organismes (insectes ravageurs, agents pathogènes, adventices) susceptibles de nuire aux cultures ou aux plantes fourragères ; leur régulation naturelle est l'un des services écosystémiques rendus par la biodiversité des prairies

Conditions abiotiques : Ensemble des facteurs physiques et chimiques (climat, hydrologie, pH, nutriments, texture du sol) qui influencent le développement des communautés vivantes

Diversité de Shannon : Indice combinant le nombre d'espèces et l'équitabilité de leur abondance relative au sein d'une communauté végétale

Écopâturage : forme de pâturage dans laquelle l'objectif environnemental et de conservation des milieux est placé en priorité, au-dessus de la fonction alimentaire ou de production de revenu

Halophyte : Plante adaptée à des sols fortement salés

Pastoralisme : mode d'élevage extensif fondé sur la valorisation directe, par le pâturage, des ressources fourragères spontanées d'un territoire (prairies naturelles, parcours, steppes), par opposition aux systèmes fourragers intensifs reposant sur des cultures semées et une mécanisation poussée

Pâturage : Méthode de récolte de l'herbe par les animaux herbivores eux-mêmes, qui prélèvent directement la ressource fourragère sur pied, contrairement à la fauche où l'herbe est coupée puis récoltée mécaniquement. Le pâturage impose des contraintes spatiales (clôtures)

Richesse spécifique : Nombre d'espèces végétales différentes recensées sur une surface donnée (quadrat ou parcelle)

Sansouïre : Formation végétale basse dominée par des halophytes (plantes tolérantes au sel), typique des milieux salés camarguais peu ou pas gérés

Services écosystémiques : Bénéfices que les sociétés humaines retirent des écosystèmes, tels que la régulation hydrologique, la séquestration du carbone, la pollinisation ou encore les valeurs culturelles et récréatives

Sol hydromorphe : Sols saturés en eau de manière temporaire ou permanente, présentant des traits de réduction et d'oxydation (gley) caractéristiques des milieux humides

Valeur écologique : Indice évaluant la richesse et la diversité floristique d'une prairie

Valeur pastorale : Indice synthétique évaluant la qualité fourragère d'une prairie à partir de la composition floristique et de la valeur nutritive de chaque espèce

Sigles et acronymes

ACP – Analyse en Composantes Principales

AFC – Analyse Factorielle des Correspondances

ASA – Associations Syndicales Autorisées

GLMM – Modèle Linéaire Généralisé Mixte

PAC – Politique Agricole Commune

PDIE – Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle permises par l'Energie

PDIN – Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle permises par l'azote

PNR – Parc Naturel Régional

PNRC – Parc naturel régional de Camargue

RNR – Réserve Naturelle Régionale

SAC – Courbes d'accumulation des espèces

TFP – Type Fonctionnel de Plante

TMS – Teneur en Matière Sèche

UEL – Unité d'Encombrement Lait

UFL – Unité Fourragère Lait

UGB – Unité Gros Bétail

Introduction

31% de la surface terrestre est couverte de landes arbustives et de prairies, qu'elles soient naturelles (steppes, savanes) ou exploitées à des fins agricoles, composées de végétation herbacée principalement des graminées et des légumineuses (Brendan Godoc, 2021). En France, ces milieux le plus souvent dédiés à la production agricole, font face à de nombreux enjeux environnementaux. On constate un recul global de la surface agricole sous l'effet de l'artificialisation des sols et de la déprise agricole. Et de ce fait, la capacité des écosystèmes prairiaux à assurer durablement les services écologiques tend à stagner, voire à décliner (SDES, 2026).

Les prairies rendent de nombreux services économiques et environnementaux. Elles contribuent à la production animale et à la performance économique des exploitations en fournissant l'énergie et les protéines nécessaires à l'alimentation du bétail par la production végétale. Cette production fourragère permet la valorisation de ressources génétiques spécifiques comme les races locales qui contribuent à la création de produits de terroir sous signes officiels de qualité (Plantureux et al., 2012). En parallèle, les prairies abritent une biodiversité importante tant végétale qu'animale et microbienne, ce qui contribue à la pollinisation et la régulation des bioagresseurs (OFB, 2026). 58% des surfaces Natura 2000 françaises sont couvertes par des habitats agro-pastoraux reconnus comme étant des sites à haute valeur patrimoniale par la faune et la flore exceptionnelles qu'ils abritent (Brendan Godoc, 2021). Enfin, les prairies agissent comme un facteur de régulation en assurant la stabilité de l'écosystème face aux aléas climatiques : limitation de l'érosion des sols, et des pollutions diffuses (Plantureux et al., 2012). La quantité moyenne de carbone stocké dans les 30 premiers cm de sol sous une prairie est évaluée à 85t de C/ha face à 81t de C/ha sous une forêt (Brendan Godoc, 2021). Tous ces services rendus expliquent le fort enjeu posé sur les prairies.

On distingue deux types de prairies en France. D'une part les prairies naturelles ou permanentes qui sont semées depuis au moins plus de 5 ans (Brendan Godoc, 2021). Cette dénomination juridique provient de l'article 4 du règlement UE n°1307/2013 : « *est prairie ou pâturage permanents toute surface dans laquelle l'herbe ou d'autres plantes fourragères herbacées prédominent depuis cinq années révolues au moins* » (Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt, 2015). Elles présentent une végétation souvent diversifiée et leur évolution est bloquée par des facteurs biotiques comme le pâturage, géomorphologiques ou climatiques (OFB, 2026). D'autre part, on rencontre les prairies temporaires, semées en culture pure ou en mélange de graminées fourragères avec ou sans légumineuses. Leur flore est composée d'au moins 20% de graminée semées (OFB, 2026).

Ces prairies font face à plusieurs pressions notamment tout d'abord une perte de surface. Entre 2009 et 2010, les surfaces déclarées en prairies permanentes ont diminué de 3%, soit 195 000 hectares et 55 271 hectares de prairies ont été perdus par artificialisation entre 1990 et 2018 (OFB, 2026). Les sécheresses répétées entre 2018 et 2020 ont aussi accéléré la conversion de prairies permanentes en prairies temporaires, car les éleveurs cherchaient à sécuriser leur approvisionnement fourrager (OFB, 2026). Au-delà de cette perte de surface, les prairies subissent une dégradation de leur valeur écologique. L'intensification des pratiques avec le surpâturage, l'utilisation d'intrants, la fauche précoce jusqu'au labour, s'accompagne d'une homogénéisation des pratiques à l'échelle de petites régions, entraînant une réduction de la diversité floristique. À l'inverse, l'abandon des activités agropastorales conduit à une fermeture naturelle des prairies à moindre potentiel productif ou éloignées des exploitations, et ce phénomène est responsable de 6,5 millions d'hectares de surfaces embroussaillées en plus en France depuis 1970 (OFB, 2026). Aussi, l'homogénéisation des milieux entourant les patchs

de prairies restants fragilise leur connectivité et réduit le potentiel de dispersion des espèces prairiales, ce qui menace leur conservation (OFB, 2026). Et enfin, les effets du changement climatique renforcent ces pressions : l'état des sols se détériore sous l'effet de l'érosion, les changements de régime hydrique impactent les prairies humides avec les contraintes liées aux apports en eau douce, les épisodes de sécheresse sont de plus en plus longs et modifient les cortèges d'espèces (OFB, 2026).

Néanmoins, à partir de 2020, la superficie des prairies s'est légèrement redressée, portée par la stabilisation des surfaces toujours en herbe et par un regain d'intérêt pour l'autonomie fourragère via les prairies temporaires (SDES, 2026). Les parcelles de prairies permanentes requièrent des itinéraires techniques souvent complexes et adaptés aux conditions du milieu et à la situation de la parcelle dans l'exploitation. Ces itinéraires demandent des savoir-faire, qu'ils soient traditionnels ou innovants, dont le maintien est fragile face aux politiques agricoles qui ne les favorisent pas toujours.

Ces évolutions illustrent ainsi la tension centrale de l'agriculture aujourd'hui : celle qui oppose les impératifs de production (valeur pastorale) à la préservation de la biodiversité (valeur écologique). Cette tension est particulièrement prégnante dans les prairies, où les choix de gestion (pâturage, fauche, irrigation) peuvent déterminer conjointement la valeur pastorale et la qualité écologique de ces milieux (Prud'Homme & Theau, 2017). Tous ces éléments font de la prairie permanente un sujet passionnant à la fois pour l'expert naturaliste, le gestionnaire de territoire et l'ingénieur agronome. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail, mené au sein du domaine de la Tour du Valat, en Camargue. Le domaine est directement soumis aux enjeux évoqués précédemment : ses prairies pâturées et de fauche, façonnées par un climat méditerranéen contraignant et par une gestion hydraulique artificialisée, doivent à la fois soutenir une activité d'élevage extensif et préserver une biodiversité végétale remarquable, caractéristique des milieux prairiaux camarguais.

Or, sur le terrain, un même constat revient : certaines prairies du domaine apparaissent riches et diversifiées, tandis que d'autres, soumises à des pratiques ou des conditions différentes, restent beaucoup plus pauvres, avec une ressource herbacée limitée. Ce constat amène le gestionnaire du domaine à essayer de comprendre l'hétérogénéité des différentes prairies et mettre en évidence l'influence éventuelle des modes de gestion sur la qualité pastorale et écologique de ces prairies. Il s'agit ainsi, dans un premier temps, de produire un état des lieux précis de ces prairies (pratiques de gestion, caractéristiques des sols, hydrologie, topographie, composition floristique, valeur pastorale) pour déceler les facteurs explicatifs des différences entre parcelles, puis dans un second temps, d'analyser à partir de ce diagnostic des pistes de gestion adaptées. Première possibilité : on procède à une amélioration en ajustant les pratiques existantes, par exemple en modifiant la pression de pâturage ou la gestion de l'eau. Deuxième possibilité : si les prairies sont trop dégradées ou peu diversifiées, on peut se poser la question d'une restauration plus active avec des interventions comme le travail du sol ou le semis de mélanges de graines de prairie. L'idée est donc de déterminer dans quelles situations l'optimisation de la gestion suffit, et dans lesquelles une remise à zéro est nécessaire. La problématique de ce stage peut se résumer de la manière suivante :

Dans quelle mesure les pratiques de gestion et les conditions abiotiques des prairies de la Tour du Valat peuvent expliquer leur hétérogénéité floristique ? Comment adapter les pratiques de gestion (pâturage, fauche et irrigation) pour améliorer simultanément la valeur pastorale et la valeur écologique des prairies de la Tour du Valat ?

Trois hypothèses de travail structurent cette étude :

- H1 : La composition floristique des prairies varie selon le mode de gestion appliqué

- H2 : Il existe un compromis entre valeur écologique et valeur pastorale des prairies
- H3 Les facteurs abiotiques influencent la végétation indépendamment du mode de gestion

Pour répondre à cette problématique, ce mémoire s'organise en quatre parties. La première présente le territoire d'étude. La deuxième expose les protocoles de terrain et la construction des indicateurs d'étude. La troisième présente les résultats obtenus. Et la dernière partie propose une discussion autour des résultats avec notamment des pistes de gestion adaptées au domaine.

A. Présentation du territoire d'étude

Ce chapitre présente le contexte géographique, climatique et historique de la Camargue et du domaine de la Tour du Valat, ainsi que les deux indicateurs (valeur écologique et valeur pastorale) étudiés dans ce mémoire.

A.1. Contexte territorial du sujet de recherche

A.1.1. Situation géographique

La Camargue est une des plus grandes zones humides françaises située à l'extrémité de la région PACA dans le département des bouches du Rhône. Cette zone humide constitue un vaste delta de 145 300 ha entre les golfes d'Aigues-mortes et la ville de Fos-sur-Mer (Cohez, 2026). Le domaine de la fondation Tour du Valat est situé en Grande Camargue (Figure 1) à 25 km au sud d'Arles, au sein du Parc naturel régional de Camargue (PNRC). Il comprend une superficie de 2817 ha dont 2163 en Réserve Naturelle Régionale (RNR ; Tour du Valat, 2026).

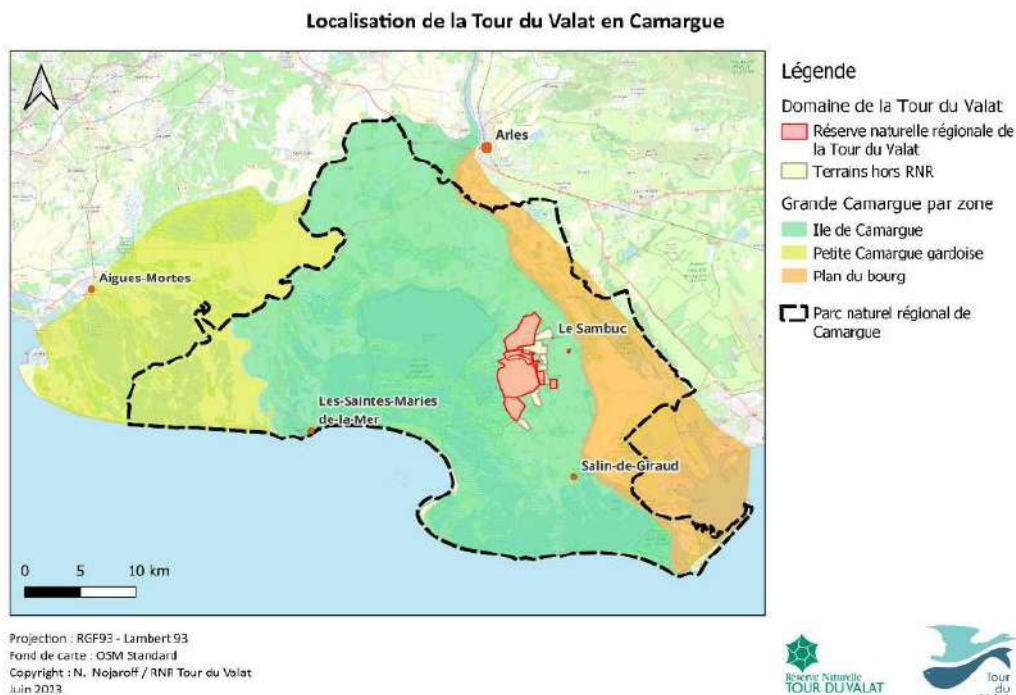


Figure 1 - Localisation de la Tour du Valat et présentation des différents secteurs de la Camargue (Cohez, 2026)

A.1.2. Climat méditerranéen provençal et caractéristiques abiotiques

Le delta du Rhône est influencé par trois facteurs essentiels : la topographie, la salinité et les inondations. Le climat méditerranéen est surtout caractérisé par deux saisons contrastées. Il se caractérise par un été chaud, marqué par une sécheresse étalée de février à septembre, et par un hiver doux. Concernant la pluviométrie, les précipitations sont généralement concentrées en automne : il ne

pleut en moyenne que 54,3 jours par an. Il y a une forte variabilité dans la quantité et la distribution des pluies entre les années : entre 250 et 1200mm au cours des 40 dernières années (Mesléard, 2024).

Aussi, en raison de l'absence de relief, de la situation au débouché du couloir rhodanien et de la proximité de la mer, la fréquence et la violence des vents sont accentuées. Le mistral et la tramontane (de secteur nord-ouest et nord) sont les vents dominants qui se manifestent toute l'année (Cohez, 2026). Cette faible altitude du territoire, parfois inférieure au niveau de la mer dans les terres centrales, soumet la réserve à de nombreuses inondations (par débordements du Rhône) et submersions (par la montée du niveau de la mer et de l'affaissement du delta). Le Syndicat mixte interrégional d'aménagement des digues du delta du Rhône et de la mer (Symadrem) estime à 99 % le risque d'avoir des entrées d'eau massives par submersion marine dans le grand delta du Rhône avant 2050 et 65 % avant 2030 : la submersion marine représente le risque majeur du territoire (Darnaud, 2023). A l'inverse ce territoire dépendant de la mer peut aussi être soumis à l'évaporation et alors à une salinisation accrue. Le contexte des prairies camarguaises est ainsi indissociable du climat fortement imprévisible.

A.1.3. Caractéristiques biotiques

L'espace camarguais est un espace dont le patrimoine naturel et paysager est exceptionnellement riche et diversifié. Les paysages correspondent à des espaces ouverts, avec étangs, lagunes, marais et sansouïres, et présentent une riche diversité d'unités écologiques accueillant une grande variété de faune et de flore. Sur le domaine de la Tour du Valat, 590 espèces d'espèces végétales ont été inventoriées, dont une vingtaine bénéficient d'un statut de protection comme l'étoile d'eau à nombreuses graines (*Damasonium polyspermum*), classée vulnérable au niveau mondial par l'UICN. Pour l'inventaire faunistique, la réserve concentre plus de 1600 espèces d'invertébrés, 317 espèces d'oiseaux et 30 espèces de poissons. Plusieurs espèces présentent un fort intérêt patrimonial, comme le Leste à grands stigmas, vulnérable au niveau européen, ou le Pélobate cultripède quasi-menacé au niveau mondial et vulnérable en France (Tour du Valat, 2016).

A.1.4. La Camargue, entre naturel et artificiel

Avec les facteurs de salinité, de submersion et d'inondations, face aux besoins en agriculture dans la région de Camargue, le paysage a été refaçoné de telle manière qu'il est aujourd'hui difficile de distinguer le naturel de l'artificiel dans cette région. La région de Camargue est aujourd'hui largement façonnée par les aménagements hydrauliques, avec endiguements et cloisonnements par un réseau de canaux (Figure 2). Les entrées et sorties d'eau sont principalement gérées par des systèmes de pompage et de drainage. Cette irrigation, gérée sur une large majorité des sols du delta du Rhône, permet ainsi de lutter contre le sel et de maintenir l'agriculture et l'alimentation en eau de certains mas. Le drainage permet lui aussi de lisser les effets du climat et la salinité des sols, mais il peut entraîner un flux de polluants. Cette irrigation à l'échelle du site est d'ordre collectif et menée par différents propriétaires au sein d'Associations Syndicales Autorisées (ASA), responsables des prélèvements du Rhône et de l'acheminement de l'eau (PNR de Camargue, 2022). Ces dynamiques hydrosalines sont étroitement liées aux activités économiques et aux processus écologiques du delta (Rodier et al., 2025).

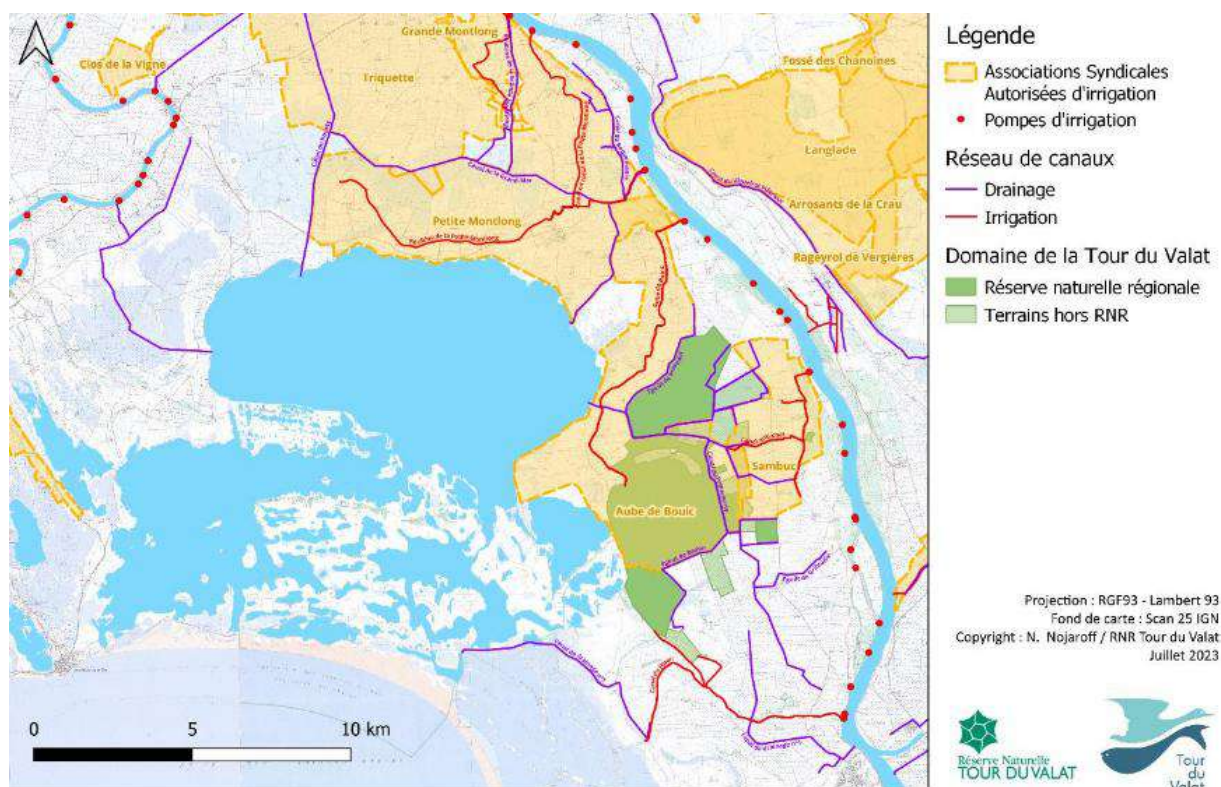


Figure 2 - Réseaux de canaux de drainage et d'irrigation en Camargue (Cohez, 2026)

Ces activités artificielles ont aussi concerné la protection du patrimoine naturel rare de la Camargue avec le développement accru des activités humaines. En 1927 a été créée une réserve nationale sur l'étang du Vaccarès, qui a marqué le début de la volonté de protection environnementale du milieu (Picon, 1978 ; Mathevet, 2004). Aujourd'hui, les modes de gestion ont permis à la Camargue de posséder un patrimoine naturel et paysager exceptionnellement riche et diversifié reconnu par plusieurs statuts et labels dont les périmètres recouvrent la RNR de la Tour du Valat : réserve de Biosphère, site Natura 2000, ZNIEFF, Parc Naturel Régional, Site Ramsar, Site inscrit (Cohez, 2026). Enfin, en 2021, les propriétés de la Tour du Valat ont intégré la Liste Verte des aires protégées et conservées de l'UICN (UICN, 2021).

A.2. Présentation de la Fondation Tour du Valat

L'Institut de recherche de la Tour du Valat est une Fondation privée ayant pour mission la conservation des zones humides méditerranéennes. Pour cela, elle mène des activités de recherche appliquée et développe une collaboration scientifique et technique autour de cinq thèmes : conservation des espèces, écologie de la santé, dynamique et gestion des hydrosystèmes et du littoral, gestion et restauration des écosystèmes naturels et agricoles, et interfaces science et société (Tour du Valat, 2026). Elle gère un domaine acquis en 1948 par Luc Hoffmann, docteur en biologie passionné d'ornithologie

La Station de la Tour du Valat a notamment pour mission : « Arrêter la perte et la dégradation des zones humides méditerranéennes et de leurs ressources naturelles, les restaurer et promouvoir leur utilisation rationnelle » (Cohez, 2026). Ainsi, les activités scientifiques consistent en des programmes de recherche sur le fonctionnement des zones humides, et les activités de gestion s'inspirent de ces résultats en testant des modes de gestion sur le domaine. Un des volets concerne la préservation agroécologique des prairies. C'est dans ce cadre que se déroule le stage de fin d'études concerné par le présent rapport.

A.3. Description des prairies du Domaine de la Tour du Valat

A.3.1. Les prairies en Camargue

Plusieurs milieux herbacés sont rencontrés en Camargue en fonction du gradient de salinité et d'humidité. On retrouve en effet, les pelouses souvent sèches et salées, les scirpaies assimilées à des marais peu profonds, les roselières dominées par le roseau commun (*Phragmites australis*) maintenues denses pour la nidification des oiseaux et enfin les prairies humides issues de différentes pratiques agricoles historiques. En Camargue, la gestion de ces prairies repose essentiellement sur l'écopâturage c'est-à-dire un pâturage extensif qui place l'objectif environnemental en priorité. Les races locales paturantes sont le taureau de race Camargue et le cheval de Camargue (Mesléard, 2024).

A.3.2. Présentation des parcelles d'étude

Le domaine de la Tour du Valat est constitué de la réserve naturelle (RNR) et de terrains cultivables d'une superficie d'environ 100 ha situés hors RNR. C'est sur ces terrains hors réserve que se trouvent les prairies permanentes de la Tour du Valat, prairies d'étude de ce présent mémoire, réparties en trois lots : les Clos expérimentaux, les Prés du Fumemorte et les Terres des anciennes vignes, essentiellement issus d'anciennes friches rizicoles ou de parcelles utilisées en prés et pâturées depuis plusieurs décennies. Le reste du domaine hors RNR comprend les Terres de Faïsses (20 ha), consacrées à des cultures testant des modes cultureux répondant au cahier des charges de l'Agriculture Biologique et à l'accueil des génisses en période de reproduction, ainsi que les Terres de Moncanard, dédiées aux vaches en période de non-reproduction. Les parcelles restantes sont laissées en friche.

L'objet de ce stage se concentre sur la qualité pastorale et écologique des prairies permanentes. Les 3 lots de parcelles sont présentés ci-dessous (Figure 3). Nous ne prenons pas en compte les parcelles « clos de tri », converties en surface de terre pour effectuer le tri traditionnel des taureaux de Camargue. Ces parcelles font environ 1 ha chacune et sont réparties non loin des bâtiments de la Tour du Valat, située au centre de la carte sur la figure 3.

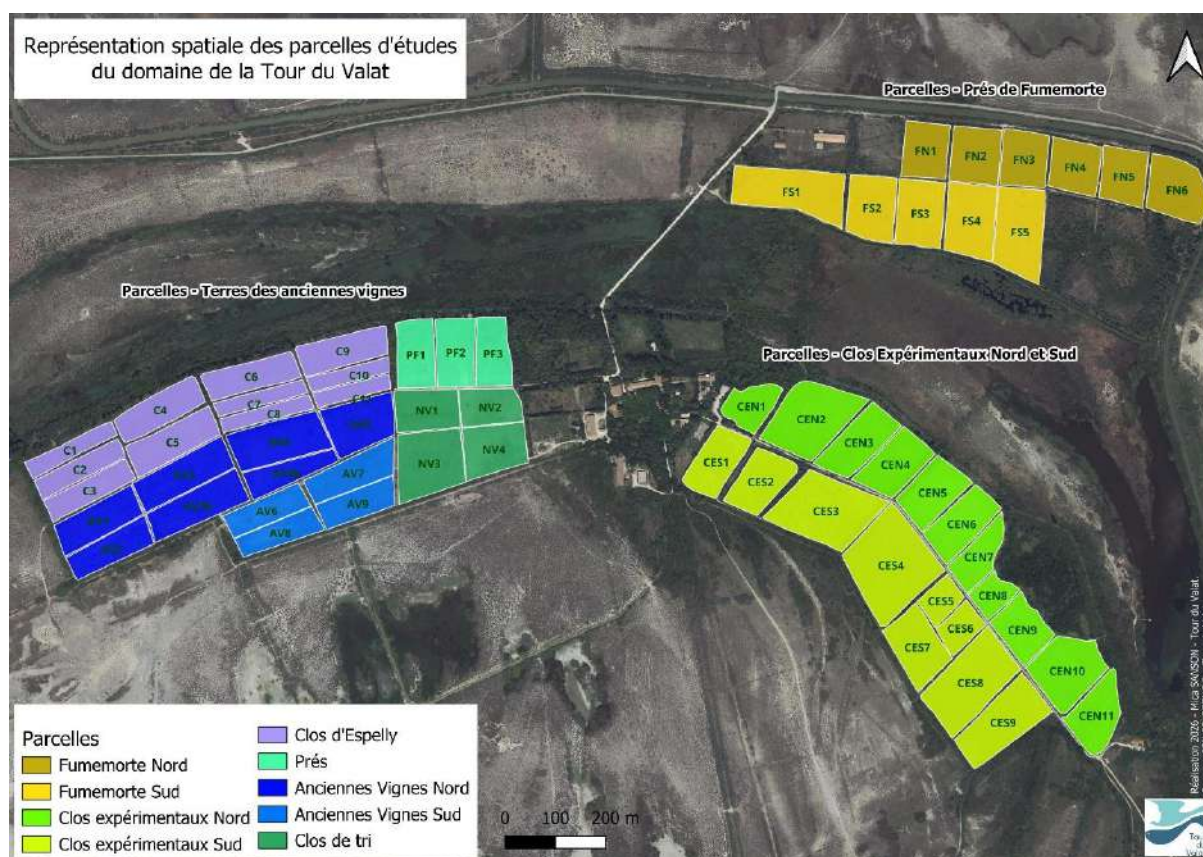


Figure 3 - Représentation spatiale des parcelles d'études du domaine @Mica Sanson

A.3.3. Facteurs abiotiques des parcelles d'études

Les sols des parcelles d'étude sont d'origine sédimentaire, généralement peu évolués et calcaires. La faible altitude du site associée à la proximité de la nappe phréatique favorise le développement de sols hydromorphes, notamment argileux et saturés d'eau, qui présentent une faible portance et deviennent fragiles et sensibles au piétinement (Mesléard, 2024).

La répartition spatiale de ces sols sur les parcelles d'étude est présentée sur une carte (Figure 4) dérivée des données d'une analyse pédologique réalisée pour une thèse en 2005 (Debiesse, 2005). Les parcelles situées à l'ouest du domaine (C1 à AV9) reposent sur des sols peu évolués et hydromorphes en profondeur (JAz4), en lien avec le tracé de l'ancien méandre du Rhône qui traverse cette partie du site. Le reste des parcelles, plus à l'est, repose majoritairement sur des sols sodiques salins à alcalins (SA4), plus représentatifs de la Camargue fluvio-lacustre stabilisée par l'endiguement du Rhône. Enfin quelques parcelles isolées (FS3-FS5, CEN10, CES9) se distinguent par des sols hydromorphes minéraux à gley (YGSA6) qui se forme sous une saturation en eau prolongée à proximité de marais que l'on peut constater sur la carte sous forme d'unité marron foncé (RNR, 2024).

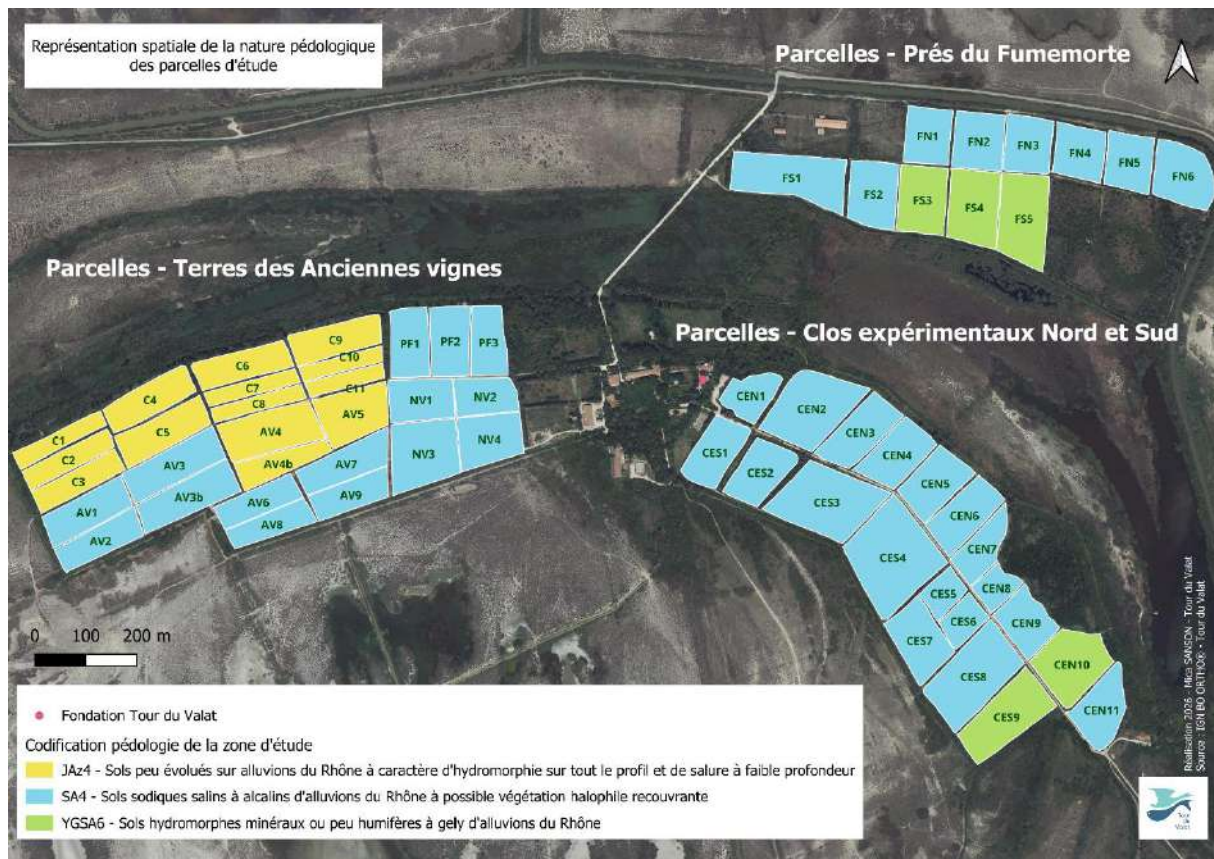


Figure 4 - Représentation spatiale de la nature pédologique des parcelles d'étude @Mica Sanson

Du fait de l'endiguement du Rhône, le déficit pluviométrique provoque des phénomènes de salinisation des sols du fait de la libre remontée par capillarité des sels de la nappe (Cohez, 2020). L'irrigation, notamment pour la riziculture, fait baisser la salinité des sols, tandis que l'évaporation des surfaces en eau favorise la remontée du sel. Et les prairies présentent les taux de salinité les plus élevés (Hielscher, 2025). La salinité tend également à diminuer avec l'élévation au-dessus du niveau de la mer : un mètre de différence peut faire passer la salinité de 1 dS.m^{-1} à 2 dS.m^{-1} , celle-ci pouvant varier de 0 à 10 dS.m^{-1} selon les secteurs. Ainsi, une hausse du niveau de la mer menace les prairies d'un stress salin important (Asabere, 2026). Une carte de la topographie couplée à la salinité (Figure 5) est représentée à partir d'une couche de Modèle Numérique de Terrain de la Tour du Valat et de l'analyse de sols effectuée dans le cadre du stage dont le protocole est expliqué p.26.

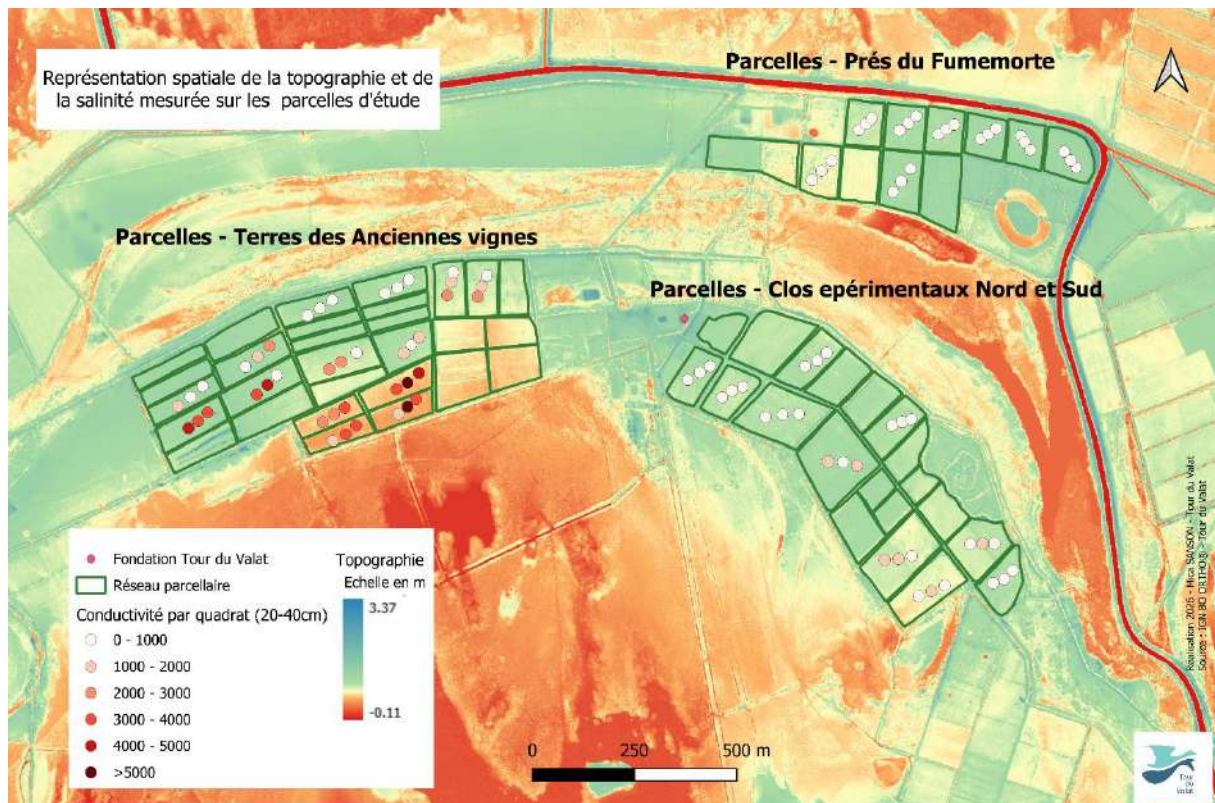


Figure 5 - Représentation spatiale de la topographie et de la conductivité mesurée sur les parcelles d'étude @Mica Sanson

Le fond de carte permet de distinguer nettement la zone des parcelles surélevée (en bleu-vert) qui longe le tracé rouge en haut de la carte correspondant au canal de la Roubine. Le reste de la zone, notamment tout le bas et le centre-droit de la carte, est en dépression. Pour faire le lien avec la salinité, le groupe de parcelles à gauche (Terres des anciennes vignes) concentre la plupart des points rouges et rouge foncé et se situe sur une topographie plutôt basse à intermédiaire. À l'inverse, les parcelles à droite sont globalement plus hautes, affichant presque exclusivement des points blancs à rose pâle. L'altitude semble limiter les effets de remontée saline.

A.4. Historique et pratiques actuelles de gestion des prairies du domaine de la Tour du Valat

A.4.1. Historique de gestion

Les parcelles étudiées présentent des trajectoires d'usage très différentes selon les secteurs, avant de converger aujourd'hui, pour la plupart, vers un même état de prairie permanente pâturée ou non (Debieesse, 2005). Le secteur des Anciennes vignes a connu les usages les plus contrastés dans le temps. Il a d'abord été mis en riziculture dans les années 1920, avant d'être planté en vignes dans les années 1950. Ces vignes ont ensuite été arrachées dans les années 1970, laissant place à des prés utilisés pour le pâturage ainsi que pour la culture plantes fourragères (luzerne ou mélange de graminées et de légumineuses). Aujourd'hui, l'ensemble du secteur est en prairie permanente et est pâturée, à l'exception des parcelles d'anciennes vignes basses qui sont surtout utilisées pour garder des taureaux à certaines périodes courtes de l'année.

Le secteur des Prés du Fumemorte a suivi une trajectoire inverse de celle des Anciennes vignes : il était initialement dédié au pâturage et à la production de foin dans les années 1950, avant de basculer vers la riziculture dans les années 1970. Le pâturage a ensuite été réintroduit progressivement,

d'abord sur quelques parcelles dans les années 1980, puis sur l'ensemble du secteur à partir des années 1990 avec l'abandon total de la riziculture sur ce secteur

Enfin, pour le secteur des clos expérimentaux, les parcelles étaient historiquement plantées en vignes et ce dès 1938. Elles ont été équipées pour l'irrigation dans les années 1950, avec une agriculture combinant de la riziculture et un pâturage ovin sur certaines parcelles, ainsi que de la production de foin. En 1988, le secteur a évolué vers des prairies à *Paspalum* sp. (*Paspalum distichum* ou *dilatatum*, graminées caractéristiques des milieux humides méditerranéens), accompagnées de cultures de riz et de sorgho. Le pâturage y a ensuite été recentré sur la période printanière à partir de 1995, avant de devenir un pâturage à l'année combiné à de la production de foin dès 1996.

Pour conclure, aujourd'hui, ces trois lots : Anciennes vignes, Prés du Fumemorte et Clos expérimentaux, n'ayant pas été retournés depuis plusieurs décennies, peuvent être considérés comme des prairies permanentes au sens de la définition retenue précédemment.

A.4.2. Pratiques actuelles – le pâturage

A.4.2.1. Définitions du pastoralisme et du pâturage

Le pâturage désigne une méthode de récolte de l'herbe par les ruminants, qui impose des contraintes spatiales aux herbivores domestiques via la présence de clôtures. On rencontre aussi l'écopâturage évoqué précédemment, dont l'objectif environnemental et de conservation est placé au sommet de la hiérarchie, avant la fonction d'alimentation ou de production de revenu (Mesléard, 2024). Contrairement à d'autres cultures fourragères, la prairie pâturée est récoltée plusieurs fois dans l'année. Il s'agit ainsi de piloter ces récoltes pour assurer une repousse de qualité (Pâturajust, 2026).

A.4.2.2. Caractéristiques majeures du pâturage

Le pâturage se définit par plusieurs paramètres techniques et biologiques qui influencent le milieu. La charge pastorale correspond au nombre d'animaux mis à l'herbe par hectare de prairie. Le pâturage est dit extensif lorsque cette charge est faible. La charge annuelle et la charge instantanée correspondent au nombre d'animaux par unité de surface à l'année ou à un instant t . Une forte charge instantanée sur une courte durée peut agir comme une perturbation mécanique efficace pour contrôler les espèces peu appréciées ou ligneuses (Mesléard, 2024).

Le pâturage peut s'exercer en continu avec une longue période sur site, favorisant l'hétérogénéité de la végétation, ou bien en rotation entre différents enclos qui permet de réduire leur sélectivité alimentaire et de forcer la consommation de végétaux autrement délaissés. Les animaux sélectionnent les plantes selon leur appétibilité (caractéristiques physiques/chimiques) et leur phénologie (stade de développement). L'impact du pâturage sur la végétation diffère selon l'espèce, l'âge, le sexe et le comportement social de l'animal. Par exemple, les chevaux sont des « paiseurs » et pâturent de manière très sélective les zones d'herbes courtes à végétaux jeunes. On observe des zones coupées à ras par les incisives alternées avec des zones de refus souillées par les déjections. Les bovins en revanche, génèrent un pâturage moins sélectif : ils consomment une végétation plus haute par enroulement de la langue et de manière plus homogène au sein de la parcelle (Brun et al., 2017). Avec la défoliation, le pâturage entraîne soit la destruction de la plante broutée, soit des « fenêtres de colonisation » pour de nouvelles espèces. Ces fenêtres sont aussi renforcées par le piétinement par les herbivores qui peut favoriser la germination des graines (Mesléard, 2024). Enfin, l'apport de fèces et d'urines par les herbivores peut modifier la dynamique des nutriments azote et carbone et peut

notamment favoriser certaines espèces nitrophiles au détriment d'espèces locales lorsque les concentrations sont fortes (Mesléard, 2024).

A.4.2.3. Cheptels de la Tour du Valat

Sur le domaine de la Tour du Valat, certaines parties sont pâturées par des manades prestigieuses de taureaux camarguais (Manade Bon, Manade Mailhan, Manade Blanc), toutes conduites en agriculture biologique (Cohez, 2026). Pour la Manade de la Tour du Valat, les animaux pâturant sont répartis en 2 groupes. Les informations suivantes ont été recueillies auprès du manadier du domaine de la Tour :

- **Le troupeau de bovins**

En 2025, le cheptel est passé de 230 taureaux à 120 pour assurer une gestion correcte et viable pour le manadier. Ce cheptel est mené en agriculture biologique et ne reçoit plus de traitements antiparasitaires depuis 20 ans. Dans ce troupeau de bovins, sont mis à pâturer les mâles d'un côté ($n \approx 100$), les génisses d'un autre côté ($n \approx 60-65$) et les vaches allaitantes d'un autre côté encore ($n=50$). Le calendrier de pâturage est un cadre très flexible qui est ajusté en fonction de plusieurs contraintes comme les disponibilités fourragères, les disponibilités en eau douce, la facilité de conduite du troupeau, l'emplacement des différents lots. Il est par exemple évité de mettre les mâles à côté des femelles.

De manière générale dans ce calendrier : les lots pâturent un clos (qui peut contenir plusieurs parcelles) jusqu'à ce que l'herbe soit consommée, puis sont déplacés vers le clos suivant. Le troupeau de vaches reste groupé la majeure partie de l'année, sauf pendant la période de reproduction (juin à début août), où il est coupé en deux lots avec chacun un étalon, pour mieux répartir la charge de surveillance. Début août, les deux lots sont réunis. Les vaches vèlent en fin d'hiver/début de printemps, près du mas (Terres des Anciennes Vignes), pour un accès facile en cas de problème. Les veaux restent avec leur mère jusqu'au sevrage (8-9 mois), puis passent trois mois au corral pour s'habituer à l'homme avant de rejoindre, vers un an, le lot des génisses (femelles) ou des taureaux (mâles). Chaque année, quelques génisses de 4-5 ans rejoignent le lot des vaches reproductrices, en échange de la réforme de vaches âgées, ce qui maintient l'effectif stable. Chez les taureaux, la réforme se fait surtout selon le caractère : les individus difficiles à mener sont abattus dès 3 ans, les plus dociles peuvent rester jusqu'à 7-8 ans.

- **La manade de chevaux**

Pour le troupeau de chevaux, l'effectif s'élève à environ 10-15 juments, 1 étalon et des poulains (environ 5 par an). En ce qui concerne la stratégie de pâturage, elle dépend surtout de la ressource fourragère disponible et des besoins : les montures sont gardées autour du mas pour y avoir accès facilement. Ainsi les chevaux de travail sont toujours à proximité pour être rapidement récupérables et les juments poulinières mettent bas dans les prés à proximité du domaine.

La période de repos (sans étalon) est plus longue que chez les vaches : environ février à mai. L'étalon est remis avec les juments le 1er juin (jusqu'au 1er juillet pour les plus vieilles juments, pour leur laisser une dernière chance). La gestation dure 11 à 12 mois. Les poulains sont sevrés vers 8-10 mois, en novembre-décembre, et restent avec un vieux cheval. Mâles et femelles ne sont jamais mélangés.

A.4.2.4. Réaction des plantes au pâturage

Au début de la repousse après pâturage, la plante a peu de feuilles. Elle ne peut pas encore produire beaucoup d'énergie avec la photosynthèse. Elle utilise ses réserves internes, stockées dans les racines ou la base des tiges, pour relancer la croissance. C'est la phase de démarrage : les réserves diminuent. Les feuilles se développent ensuite et la surface foliaire augmente. La plante commence à produire plus d'énergie qu'elle n'en consomme. Elle peut alors reconstituer ses réserves tout en continuant à grandir : c'est la phase optimale pour le pâturage parce que la plante est capable de repousser rapidement après avoir été broutée. Si on laisse la plante pousser trop longtemps, elle entre dans une phase de maturité : la croissance ralentit, une partie de l'énergie est utilisée pour la floraison et la production de graines, et la qualité nutritive diminue, du fait d'une augmentation du ratio carbone/azote (C/N) et d'une baisse de la digestibilité. Pour les espèces pérennes, une partie des nutriments est également remobilisée vers les racines (Scopela, 2026).

L'optimisation des bénéfices du pâturage pour les animaux, nécessite d'ajuster au mieux la période de mise à l'herbe avec la dynamique de croissance de la végétation de la prairie : il faut notamment laisser à la plante suffisamment de temps pour qu'elle reconstitue ses réserves entre deux périodes de pâturage. Un pâturage trop précoce affaiblit la plante car elle n'a pas eu le temps de refaire ses réserves. Mais il ne faut pas laisser trop de temps pour éviter la perte de qualité. Un pâturage trop tardif réduit la valeur alimentaire et l'efficacité de la repousse. La règle d'or du bon pâturage est de respecter le stade « 3 feuilles » des graminées : attendre que la plante ait assez de surface foliaire pour reconstituer ses réserves, mais pâturer ou faucher la parcelle avant que les feuilles ne commencent à dépérir ou que la tige ne se développe trop (Cadars & Greil, 2022). C'est dans cette phase optimale que sera considérée l'optimum de valeur fourragère pour chaque espèce. Le schéma (Figure 6) montre que des pâturages réguliers et bien positionnés dans le temps permettent de maintenir un bon niveau de réserves et une production stable. À l'inverse, des prélèvements mal synchronisés épuisent les plantes et diminuent la productivité globale de la prairie.

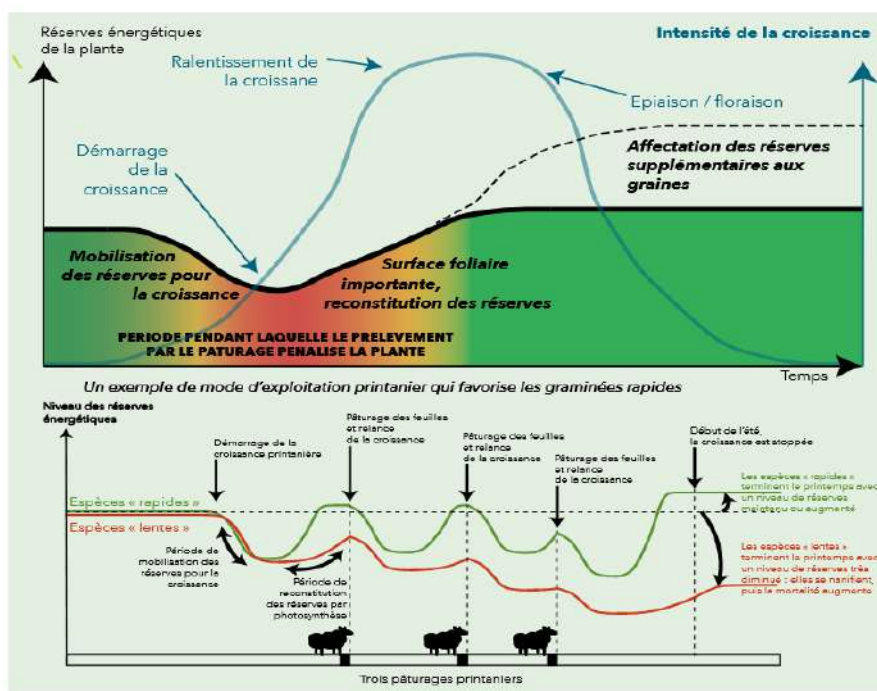


Figure 6 - Schéma présentant l'évolution de la réserve énergétique et de l'intensité de croissance des plantes en contexte de pâturage (Cadars & Greil, 2022)

A.4.3. Pratiques actuelles – la fauche

A.4.3.1. Définition et rôle de la fauche

La fauche correspond à la pratique d'exploitation complète de l'herbe fournie par la prairie, qui implique l'exportation de la biomasse en dehors de la parcelle (Scopela, 2018). Elle correspond à une intervention mécanique humaine qui, contrairement au pâturage, constitue une perturbation discrète et ponctuelle dans le temps. De plus, elle est uniforme sur la zone traitée et non pas hétérogène comme dans le cas de l'herbivorie. La fauche permet d'accompagner la gestion de l'élevage en fournissant une réserve sécuritaire d'alimentation du troupeau hors pâturage ou lorsque l'accès aux parcelles est impossible en raison de conditions saisonnières. Elle peut également aider à résoudre les écarts entre les besoins nutritionnels des différents lots d'animaux et la nature des ressources sur pied (Mesléard, 2024). Enfin, le fait de sectionner les parties aériennes végétales peut agir sur les cycles de croissance et de reproduction et orienter les productions pour obtenir des repousses bien positionnées dans l'année. La composition végétale peut ainsi être modifiée à long terme (Scopela, 2018).

A.4.3.2. Calendrier de fauche et efficacité

La date de fauche constitue un paramètre déterminant pour la biodiversité des prairies, l'intensité de la coupe étant reconnue comme le facteur ayant le plus fort impact sur celle-ci (Bernard et al., 2025). Si la fauche est réalisée à un moment inadapté, elle peut entraîner des conséquences directes sur la faune : elle peut provoquer une mortalité massive chez les invertébrés, notamment les pollinisateurs, en supprimant les ressources alimentaires comme le nectar et le pollen, voire en détruisant directement les individus présents dans la végétation au moment de la coupe (Humbert, 2018). Elle affecte également la flore, puisqu'une fauche trop précoce empêche les plantes de terminer leur cycle de reproduction, ce qui entraîne progressivement une diminution de la diversité floristique. À l'échelle du paysage, la maîtrise de cette date permet en plus de préserver une continuité spatiale : lorsque toutes les parcelles ne sont pas fauchées simultanément, les espèces mobiles peuvent trouver refuge dans les zones encore non fauchées. Cette gestion différenciée doit aussi s'adapter aux spécificités du milieu : dans le cas des prairies humides la croissance végétale est plus tardive, elles nécessitent des dates de coupe plus éloignées dans la saison (Figure 7). Le choix de la date de fauche permet ainsi de jouer sur le compromis entre qualité nutritive du fourrage et préservation de la biodiversité (Bernard et al., 2025).

Au-delà de la date, l'efficacité de la coupe dépend aussi de la biologie de la plante visée, en particulier de la position de ses méristèmes, les organes responsables de la croissance. Une espèce dont les méristèmes sont situés au-dessus du sol est ainsi beaucoup plus vulnérable à la fauche, un effet qui peut être renforcé si la coupe est suivie d'une submersion. À l'inverse, une espèce dont les méristèmes sont protégés au ras du sol ou en profondeur nécessite une coupe extrêmement rase pour être efficace. Selon l'objectif recherché, la fauche peut être combinée à d'autres pratiques de gestion : elle peut intervenir en amont du pâturage pour rendre la végétation plus appétente et plus facilement consommée par les animaux, ou de manière préventive, avant la formation des organes de reproduction, pour limiter la dispersion des graines ou des fragments végétatifs.

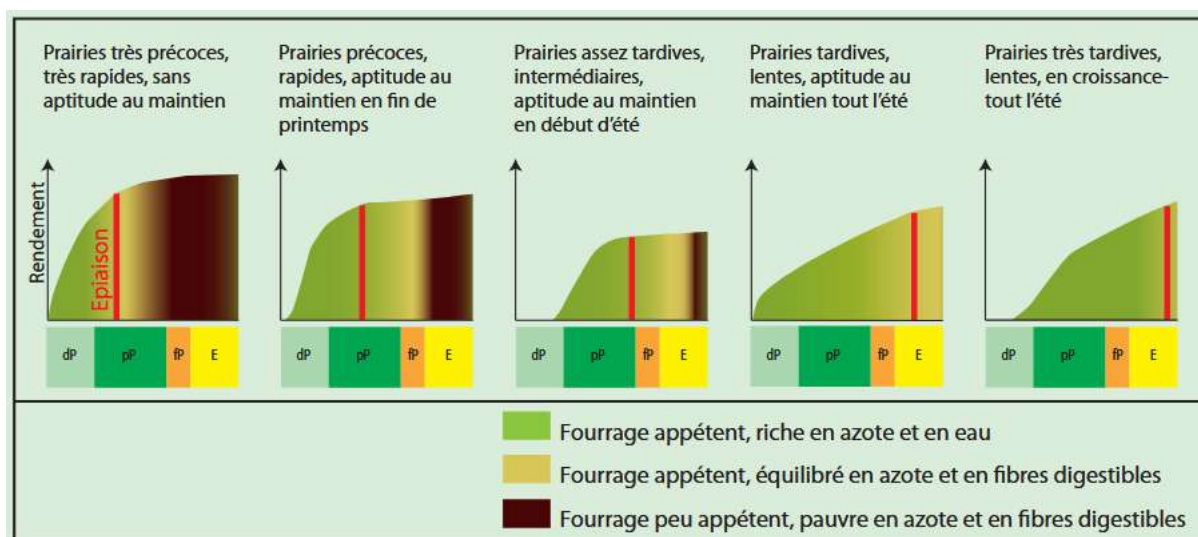


Figure 7 - Graphiques présentant la diversité de fonctionnement des prairies de fauche en fonction des espèces dominantes. On observe l'accumulation du fourrage dans la parcelle et l'évolution de sa composition biochimique (gradient de couleurs) au cours du printemps et de l'été : début de printemps (dP), plein printemps (pP), fin de printemps (fP), été (E). (Scopela, 2018)

A.4.3.3. Stratégie de fauche de la Tour du Valat

Dans le cadre du domaine, la stratégie de fauche est simple : il est tenté de garder des parcelles non pâturées d'avril à juillet, de les irriguer et de faire une coupe par an entre juin et juillet si la production de foin est jugée suffisante. Cela produit environ 50 balles de 500 kg de foin par an, pour un total d'environ 25 tonnes de foin.

A.4.4. Pratiques actuelles – Irrigation

A.4.4.1. Définition et rôle de régulateur climatique

L'irrigation des prairies consiste en un apport systématique d'eau visant à réguler l'état physiologique de la plante en compensant le déficit hydrique, c'est-à-dire l'écart entre l'évapotranspiration de référence (ET_0), déterminée par la température, le vent et l'humidité, et les précipitations réelles sur une période donnée ($\text{Déficit hydrique} = ET_0 - P$) (Durand, 2020). Ce déficit est particulièrement marqué en saison estivale.

Dans les zones humides méditerranéennes comme la Camargue, l'irrigation est un des leviers de gestion essentiels pour structurer les habitats et la végétation. Comme évoqué précédemment, le climat méditerranéen est en effet marqué par une forte imprévisibilité des pluies, variant de 250 à 1200 mm par an en Camargue (Mesléard, 2024). Face à cette variabilité, l'irrigation ou la mise en eau artificielle permet de compenser les écarts pluviométriques d'une année sur l'autre, de stabiliser l'offre fourragère et de sécuriser la ressource alimentaire lorsque les conditions climatiques naturelles ne permettent pas une production végétale suffisante.

A.4.4.2. Influences sur la production fourragère et gestion croisée eau-pâturage

L'irrigation est une pratique importante car, avec le maintien de la croissance et la régulation thermique empêchant la destruction végétative, elle permet d'obtenir des gains de productivité de l'ordre de 50 % en année normale, et plus élevés encore en année sèche. Elle augmenterait également la teneur en protéines des fourrages et permettrait une meilleure mobilisation de l'azote minéral (Durand, 2020). Il est observé dans les pratiques de gestion sur le domaine, que l'irrigation aurait un

fort effet sur le développement d'espèces très productives mais à faible valeur fourragère comme le paspalum, aujourd'hui considéré en France comme une espèce exotique envahissante et qui sera davantage évoqué dans les résultats (Mesléard, 2024). Trois facteurs modulables peuvent jouer sur la production fourragère résultante : la hauteur de la lame d'eau, qui peut déterminer les espèces dominantes, la durée de submersion, qui peut influencer la productivité et la survie des plantes et la fréquence des cycles inondation-assez (Mesléard, 2024). Le facteur pression animale peut également structurer les prairies humides en se combinant à la gestion de l'eau. Par exemple, une lame d'eau importante couplée à une charge de pâturage forte favorise certains milieux en contrôlant les grandes plantes émergentes et donc en empêchant la dominance d'une espèce compétitrice. Cette gestion croisée nécessite un contrôle relativement précis car cela peut aussi favoriser l'installation d'espèces indésirables, notamment avec une inondation tardive (début d'été) sur un sol nu où la chaleur et l'humidité peuvent permettre une germination massive (Tour du Valat, 2017).

A.4.4.3. Effets sur la salinité du sol

La pratique de l'irrigation sur les prairies permet de lutter contre la salinisation du sol. Si les conditions de salinité ne sont pas compensées par l'irrigation, la prairie peut être orientée vers un écosystème de sansouïre. La sansouïre correspond à un « espace ouvert composé de salicorne, obione, saladelle dont le sol est nu et blanchi par le sel en été et recouvert d'eau en hiver » (Cohez, 2020). C'est un des paysages emblématiques de Camargue, mais auquel le domaine de la Tour du Valat ne souhaite pas vouer ses parcelles : il est en effet prioritairement souhaité de conserver la biodiversité floristique favorable au développement des insectes et donc du reste de la chaîne trophique, ainsi que de maintenir la productivité fourragère pour l'activité pastorale.

A.4.4.4. Stratégie d'irrigation à la Tour du Valat

L'irrigation sur les parcelles du domaine se fait en 2 temps : une fois au printemps au mois de mai, et une fois à la fin de l'été au mois d'août. Il est convenu de séparer la modalité irrigation en irrigation régulière lorsqu'elle est établie de manière fixe depuis 5 ans, et en irrigation irrégulière lorsqu'elle dépend fortement des conditions de l'année et est donc soumise à une variabilité. La carte ci-dessous (Figure 8) présente le réseau hydraulique des parcelles d'étude, réparties sur les trois secteurs présentés précédemment. Les flèches bleu clair indiquent les canaux d'irrigation et les flèches bleu foncé les canaux de drainage, illustrant la manière dont chaque parcelle est individuellement raccordée ou non à ce système d'entrée et de sortie d'eau (Debiesse, 2005).

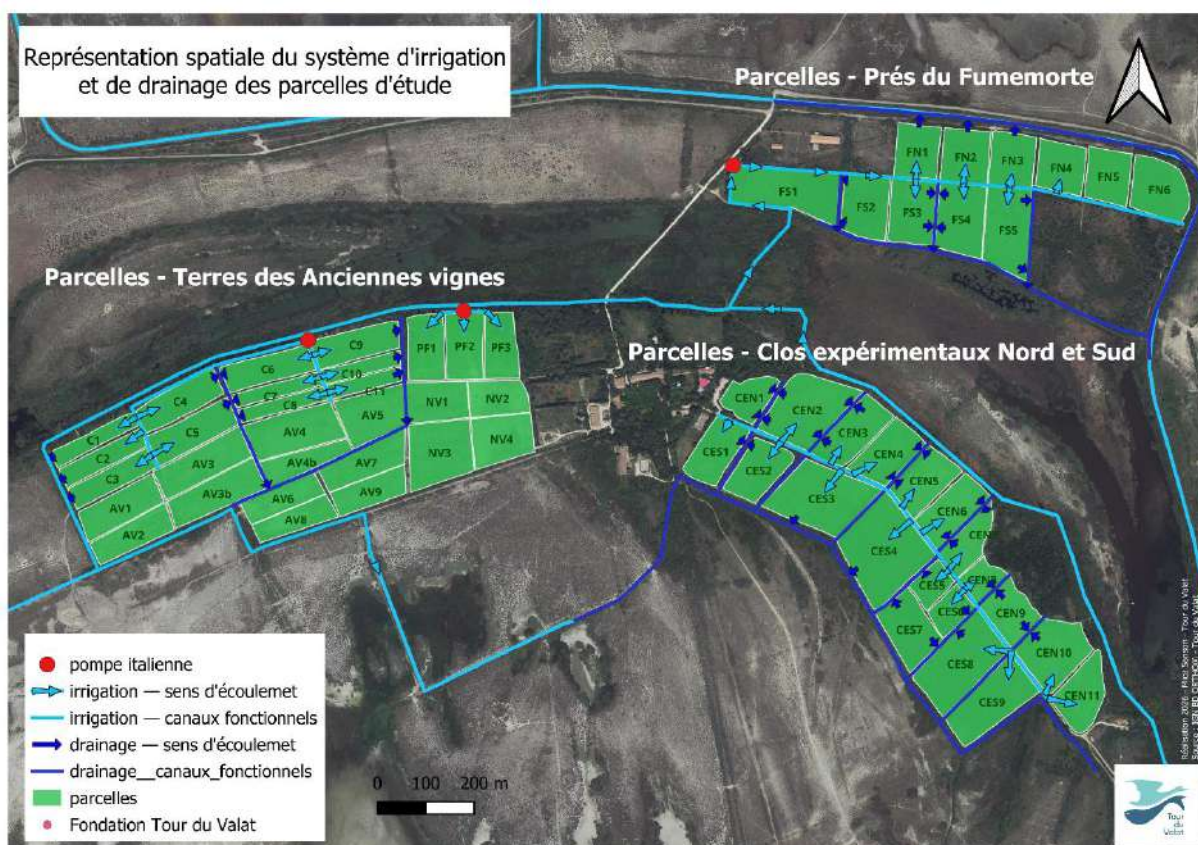


Figure 8 - Représentation spatiale du système d'irrigation et de drainage des parcelles d'études @Mica Sanson

A.5. Présentation des deux indicateurs d'étude : Valeur écologique et valeur pastorale

A.5.1. Valeur écologique

On part de l'hypothèse selon laquelle la valeur écologique d'une prairie repose avant tout sur sa richesse spécifique, c'est-à-dire le nombre d'espèces végétales qu'elle est capable d'héberger, et sur la diversité de cette richesse, c'est-à-dire l'équilibre de répartition entre ces espèces (Orth et al., 2008). Une prairie riche en espèces mais dominée par quelques-unes d'entre elles n'offre qu'un nombre restreint de ressources exploitables pour la faune : dans l'indice de richesse, toutes les espèces sont considérées comme équivalentes, ce qui peut masquer des dynamiques de végétation très différentes entre une prairie réellement équilibrée et une prairie dominée par une poignée d'espèces. C'est donc bien la combinaison des deux : beaucoup d'espèces, réparties de manière équilibrée, qui permet de multiplier les niches écologiques, les ressources alimentaires et les habitats disponibles. Cette diversité floristique conditionne directement le bon fonctionnement des chaînes trophiques : chaque espèce végétale supplémentaire est susceptible de soutenir un cortège d'espèces qui en dépendent (pollinisateurs, phytophages, puis leurs propres prédateurs), si bien qu'une prairie pauvre en espèces ne pourrait soutenir qu'un réseau trophique appauvri (Mésleard, 2024).

Une bonne qualité écologique de parcelle se traduit ainsi non seulement par un nombre élevé d'espèces et une répartition équilibrée entre elles, mais aussi par la présence d'espèces spécialistes, plus exigeantes vis-à-vis de leur milieu, par opposition aux espèces généralistes qui tolèrent une large gamme de conditions et qui, lorsqu'elles dominent, tendent à indiquer une dégradation ou une banalisation du milieu (Theau & Prud'homme, 2021). Une parcelle de bonne qualité écologique est donc une parcelle qui combine une richesse et une diversité floristique élevées avec une faible

dominance d'espèces généralistes, offrant ainsi les conditions les plus favorables au maintien d'un réseau trophique complet et diversifié (Briand, 2024)

A.5.2. Valeur pastorale

La valeur pastorale d'une prairie représente l'intérêt du fourrage pour les herbivores qui l'exploitent. D'après le document de R. Baumont sur les services fourragers des prairies permanentes, cette qualité pastorale correspond à la capacité d'une prairie à fournir une alimentation adaptée aux herbivores, en combinant à la fois une bonne valeur fourragère (production suffisante de biomasse) et une bonne valeur alimentaire (qualité nutritive des végétaux) (Baumont et al., 2012).

Ce procédé d'estimation de la valeur d'usage des pâturages permet d'évaluer l'aptitude d'une prairie à fournir du fourrage en se basant sur la composition botanique de la parcelle. Aujourd'hui cette estimation est complétée par plusieurs méthodes, comme la classification morphologique et physiologique des graminées, ou la typologie fonctionnelle (types A, B, b, C), qui classe les plantes selon leurs traits biologiques et leur stratégie d'utilisation des ressources (Cruz et al., 2010). Par exemple, la valeur alimentaire de l'herbe est évaluée à partir de plusieurs critères complémentaires : la valeur énergétique (UFL), la valeur protéique (PDIN, PDIE) et l'encombrement (UEL), qui traduisent respectivement l'apport en énergie, en protéines et la capacité d'ingestion par l'animal (Baumont et al., 2012). Ainsi, la composition fonctionnelle de la prairie, comme la proportion de graminées de type « capture », avec une stratégie de croissance rapide, est un indicateur de la productivité et de la précocité qui expliquent la valeur pastorale. Les contraintes du milieu et les pratiques de gestion peuvent déterminer cette composition. En effet, la valeur pastorale est par exemple étroitement liée à la gestion de la prairie : en cas de pâturage nul, l'enfrichement de la végétation peut entraîner une baisse de cette valeur, les espèces fourragères étant alors remplacées par des espèces peu ou pas comestibles. Finalement, une pression de pâturage trop élevée peut devenir néfaste pour la diversité mais à l'inverse, maximiser uniquement la diversité spécifique peut aussi réduire la valeur pastorale, car le gain en espèces d'intérêt patrimonial se fait souvent au détriment des espèces purement fourragères. Pour évaluer cette qualité pastorale, le stage s'appuiera sur la composition floristique des prairies et sur les caractéristiques fonctionnelles des espèces végétales dominantes.

B. Matériels et méthodologie

Ce chapitre détaille les protocoles de terrain mis en œuvre, ainsi que la construction des indicateurs et le choix des méthodes statistiques utilisées pour analyser les données.

B.1. Echantillonnage des prises de mesure

Après avoir rassemblé toutes les informations relatives aux modes de gestion évoquées précédemment pour chaque parcelle, plusieurs cartes ont été effectuées afin de visualiser spatialement l'irrigation, la fauche et le pâturage. Ces cartes (**Annexe 1**) ont permis la réalisation d'un Tableau Croisé Dynamique avec le nombre de parcelles concernées par les différentes combinaisons de pratiques (**Annexe 2**). La catégorisation permet d'effectuer un échantillonnage aléatoire stratifié de 4 parcelles par combinaison soit 32 parcelles au total. Un tableau bilan est ainsi obtenu, référençant les combinaisons présentes sur le terrain avec les parcelles concernées (Tableau 1) ainsi qu'une carte (Figure 9).

Combinaison	Catégories mode de gestion	Parcelles concernées
1	Pâturage EQUIN	PF1, PF2, PF3, CES1, CES2
	Fauche NULLE	
	Irrigation IRREGULIERE	
2	Pâturage BOVIN	C6, C7, C8, C9, C10, C11, FS1, FS2, CEN11
	Fauche NULLE	
	Irrigation IRREGULIERE	
3	Pâturage BOVIN	AV1, AV2, AV3, AV4, AV5
	Fauche NULLE	
	Irrigation NULLE	
4	Pression pâturage NULLE	AV6, AV7, AV8, AV9, NV1, NV2, NV3, NV4
	Fauche NULLE	
	Irrigation NULLE	
5	Pâturage BOVIN	CEN1, CEN2, CEN3, CEN4, CEN5, CEN6, CEN7, CEN8, CEN9, CEN10, FS3, FS4, FS5
	Fauche NULLE	
	Irrigation REGULIERE	
6	Pâturage BOVIN	C1, C2, C3, C4, C5, FN1, FN6
	Fauche OUI	
	Irrigation IRREGULIERE	
7	Pâturage EQUIN	CES3, CES4, CES5, CES6, CES7, CES8, CES9
	Fauche OUI	
	Irrigation REGULIERE	
8	Pâturage BOVIN	FN2, FN3, FN4, FN5
	Fauche OUI	
	Irrigation REGULIERE	

Tableau 1 - Tableau référençant les parcelles concernées par combinaison de modes de gestion, les parcelles en gras sont celles qui ont été sélectionnées après échantillonnage aléatoire stratifié¹. Les parcelles « NV » correspondent aux clos de tri (zones d'entraînement des chevaux, de manœuvre du manadier), qui ne sont pas des prairies au sens agronomique et ont donc été exclues de l'échantillonnage. La combinaison 4 (ni pâturée, ni fauchée) se distingue des autres par sa proximité avec un écosystème de sansouïre, ce qui en fait un cas particulier au sein de l'échantillon, même si elle est classée comme prairie au sens de la PAC, elle sera traitée plutôt à part dans les analyses et dans la discussion.

¹ L'échantillonnage stratifié consiste à diviser la population étudiée en sous-groupes homogènes (strates), afin de réaliser les observations de façon représentative sans biaiser les résultats obtenus. Un nombre fixe d'individus est ensuite tiré au hasard au sein de chaque strate pour constituer l'échantillon final (Froger, 2016).

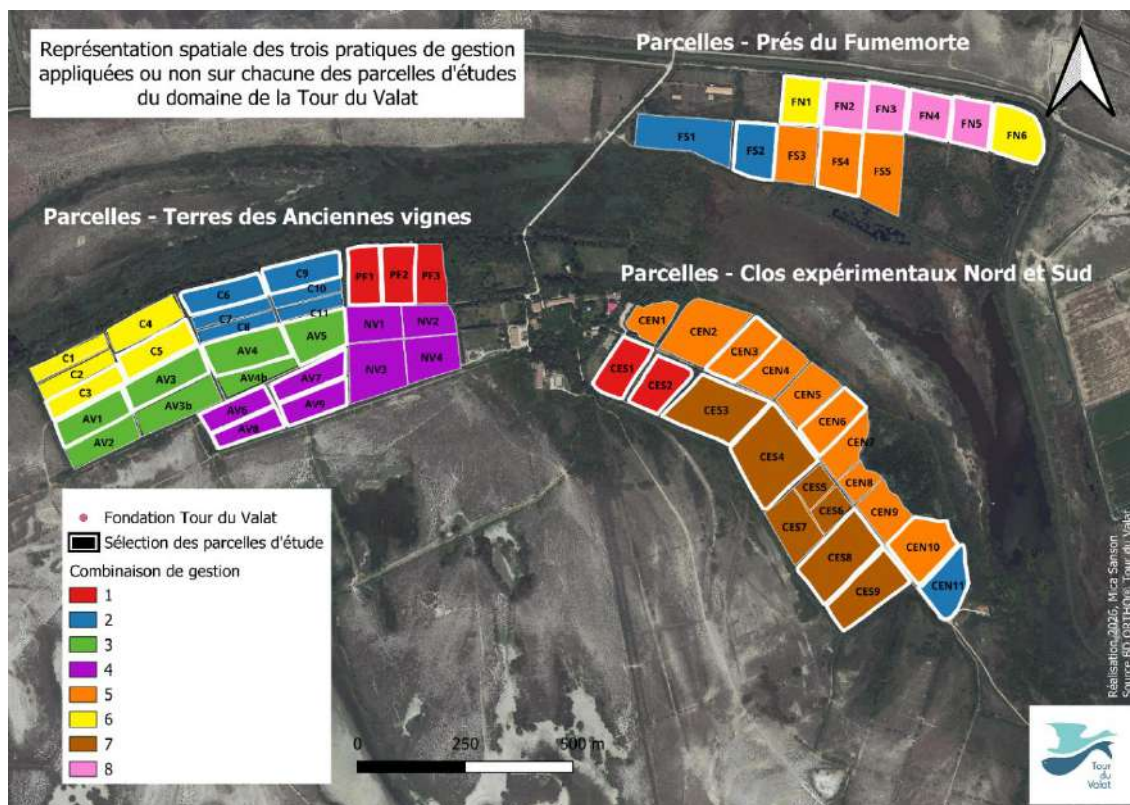


Figure 9 - Représentation spatiale des parcelles du domaine colorées par combinaison de modes de gestion. Les parcelles échantillonnées sont entourées en blanc. @Mica Sanson

B.2. Relevés floristiques et construction de l'indicateur valeur pastorale

B.2.1. Relevés floristiques pour l'analyse de la valeur pastorale

Afin d'évaluer la valeur pastorale des prairies permanentes, nous nous sommes appuyés sur une approche fonctionnelle des communautés végétales, inspirée des travaux de Cruz, Theau et Prud'homme (Theau et al., 2010 ; Cruz et al., 20). Cette méthode repose sur le principe qu'il n'est pas nécessaire d'effectuer un inventaire floristique exhaustif pour caractériser la valeur agronomique d'une prairie : les espèces dominantes sont les principales contributrices à la biomasse et au fonctionnement du couvert végétal (Cruz et al., 2005). Comme le formulent les auteurs de la méthode, l'objectif est de « diminuer le nombre d'espèces à reconnaître par relevé, limitant de ce fait les compétences botaniques à mobiliser et le temps nécessaire au travail de reconnaissance des espèces » (Theau et al., 2010). Les espèces végétales sont ainsi d'abord regroupées en types fonctionnels selon leurs traits fonctionnels (caractéristiques biologiques et agronomiques). Le type fonctionnel permet ensuite de déterminer la valeur d'usage de la parcelle.

Durant cette étude, les relevés floristiques pour la valeur pastorale ont été effectués à partir de début mai durant près d'un mois, sur 32 parcelles d'environ 1 ha. Le relevé était effectué sur dix quadrats par parcelle, numérotés de Q1 à Q10, soit un total de 320 quadrats (de 40 par 40 cm). Les relevés ont été effectués le long d'un transect en diagonale² traversant chaque parcelle afin de prendre en compte l'hétérogénéité des faciès de végétation, avec dix points d'observation répartis à distance

² Il a été choisi de manière arbitraire de garder la même diagonale sur la majorité des parcelles. Cependant, pour certains cas de parcelles entourées de nids de cigognes ou de sites de reproduction d'espèces, la diagonale a été modifiée afin de préserver au maximum ces zones loin de tout dérangement.

égale le long du transect³ (**Annexe 3**). Chaque observation a été réalisée à l'intérieur d'un quadrat de 40 cm de côté, une taille proche de celle utilisée dans la méthode Botanal (Tothill et al., 1992), dont s'inspire en partie le protocole simplifié de Theau et al.⁴. Dans chaque quadrat, le relevé se déroule en deux étapes : La première consiste à répartir l'abondance entre trois grandes catégories fonctionnelles : graminées, légumineuses et autres espèces, en attribuant des notes dont la somme doit être égale à 6, selon la méthode de De Vries. La seconde étape consiste à identifier les espèces dominantes présentes dans le quadrat et à leur attribuer une note d'abondance. Le codage de l'abondance est traduit par une note allant de 0 à 6 (0 si l'espèce est présente mais peu abondante et participe à moins de 1/6^{ème} de l'abondance, 1 si elle participe à 1/6^{ème}, etc.). Ainsi seules les espèces représentant au moins 1/6^{ème} de l'abondance visuelle du cadre, soit environ la taille de la paume de la main, sont retenues. La somme des notes attribuées aux espèces doit rester cohérente avec la répartition initiale entre les grandes formes de vie végétale. Finalement, dans le cas d'un échantillonnage à 10 quadrats, la participation minimale d'une espèce à l'abondance de la parcelle est de 1/60, soit moins de 2 % de l'abondance (J-P. Theau et al., 2010). L'attribution des types fonctionnels est expliquée plus loin.

B.2.2. Construction de l'indicateur valeur pastorale

▪ **Association des espèces dominantes à un type fonctionnel**

La construction de la valeur pastorale s'effectue en plusieurs étapes. D'une part, le travail consiste à associer les espèces dominantes à un type fonctionnel, association qui s'appuie initialement sur la typologie multi-traits de Cruz et al. (2010). Cette typologie classe les graminées fourragères pérennes selon plusieurs traits fonctionnels liés à leur fonctionnement agronomique : la teneur en matière sèche (TMS), la surface spécifique foliaire (SSF), la durée de vie des feuilles, la résistance mécanique des tissus, la date de floraison et la hauteur maximale. Ces traits traduisent des stratégies de croissance, de capture ou de conservation des ressources, ainsi que des réponses différenciées aux pratiques de pâturage ou de fauche : les plantes à forte productivité (types A et B) présentent généralement une SSF élevée et une TMS faible, traduisant une stratégie de « capture » rapide des ressources, alors qu'une TMS élevée est associée à une stratégie de « conservation » et à une productivité moindre (types C et D).

▪ **Les limites de la typologie de Cruz, et le recours à FlorealData**

Cette typologie initiale de Cruz est cependant insuffisante pour la flore de Camargue : elle ne couvre qu'un nombre restreint d'espèces de graminées (38 espèces), qui ont été déterminées pour l'essentiel dans des contextes non méditerranéens, ce qui ne permet pas de classer une bonne partie de la flore des parcelles du domaine de la Tour du Valat. Ainsi, afin de disposer d'une base plus complète, il a été décidé de contacter directement Jean-Pierre Theau (INRAE) et François Prud'homme (Conservatoire botanique national des Pyrénées et de Midi-Pyrénées), les auteurs de la base de données FlorealData, qui ont transmis cet outil ainsi que la méthode détaillée de leur utilisation. Cet outil fait suite au travail proposé par Cruz en généralisant un travail plus simplifié à une quantité plus importante d'espèces. FlorealData est donc une base de données en accès libre regroupant 768 espèces prairiales de Midi-Pyrénées, construite à partir de plus de 2000 relevés phytosociologiques (Theau & Prud'homme, 2021).

³ La distance de la diagonale est mesurée au préalable sur le logiciel QGIS, pour chaque parcelle. Puis cette distance totale de coin à coin est divisée par 11 afin de placer les 10 points de sorte que ni le premier ni le dernier quadrat ne se retrouve en bordure de parcelle souvent très hétérogène et peu représentative du cortège floristique de la parcelle.

⁴ Le choix de cette taille de quadrat constitue un compromis entre la nécessité de représenter la diversité des faciès de végétation présents sur la parcelle et les contraintes de temps imposées par un relevé de terrain rapide, avec un seul observateur.

▪ **Structure des types fonctionnels de plantes (TFP)**

Pour chaque espèce, la base associe un Type Fonctionnel de Plante (TFP) : 7 types pour les graminées (A, B, bb, C, D, Ec, Es), issus directement de la typologie de Cruz et al. (2010) évoquée plus haut, et 36 types pour les espèces non graminéennes (légumineuses, cypéracées, joncacées, autres), construits par Theau et al. (2017). Le TFP non graminéen est construit en combinant l'identification de la famille botanique, la hauteur moyenne de l'espèce et sa précocité de floraison. Ces 36 types se déclinent selon deux paramètres :

- Une classe de taille adulte (B pour < 40 cm, M pour 40 à 89 cm, H pour ≥ 90 cm, associées respectivement à un indice de production de 30, 60 ou 100)
- Une classe de précocité de floraison (1 pour un début de floraison avant mai, 2 pour mai, 3 à partir de juin)

Cette construction de Type Fonctionnel qui se traduit en indice de production repose en effet sur le fait que la taille sert à estimer le potentiel productif, c'est-à-dire la biomasse produite, et la précocité sert à renseigner le stade phénologique à un instant donné et donc la valeur énergétique réelle pour l'animal. Au total, la base compte 43 types fonctionnels de plantes. Le recours à FlorealData permet ainsi de couvrir la majeure partie de la flore méditerranéenne rencontrée sur les parcelles étudiées.

▪ **Espèces absentes de FlorealData**

Certaines espèces n'étaient en revanche toujours pas présentes dans la nouvelle base de données de FlorealData. Ainsi, après conseil de François Prud'homme, le calcul a été effectué en se basant sur les données de hauteur et précocité issues de la Flore (Tison & de Foucault, 2014). La combinaison pour ces nouvelles espèces est présentée en **Annexe 4**.

▪ **Indice de production à partir des abondances des espèces**

Une fois les TFP identifiés par espèces, les mains d'espèces dominantes⁵ sont converties en pourcentage d'abondance par parcelle. Deux tableaux sont ainsi obtenus : d'une part le tableau espèce × pourcentage d'abondance à l'échelle de la parcelle, d'autre part le tableau de correspondance espèces/TFP issu de FlorealData. Ensuite, chaque Type Fonctionnel est associé à plusieurs attributs : un indice de production potentiel (IndProd, 30/60/100), un indicateur de précocité (IndPrec), un indicateur de souplesse d'exploitation (IndSou), un indicateur de refus (IndRef) et une somme de température à floraison (TempFlo). Ce tableau de correspondance est présenté en **Annexe 5**. Nous nous intéressons à l'indice de production que nous assimilons à la valeur fourragère du Type Fonctionnel.

▪ **Indice de refus et correction de l'indice de production**

Après étude, cet indice de production est corrigé en le couplant à l'indice de Refus. En effet, certaines plantes de haute taille produisent certes en biomasse mais sont en réalité des refus de pâturage pour les animaux car trop piquantes, chargées en sel, ou lignifiées... (comme *Juncus acutus*, *Sarcocornia fruticosa*, *Limonium vulgare*). Ce couplage permet de prendre cela en compte et donne ainsi l'Indice de Production corrigé. L'attribution de l'indice de refus à certaines plantes est déterminée avec l'article de Theau et Prud'homme et validée par les dires des experts Antoine Gazaix Chargé de Recherche à la Tour du Valat.

▪ **Calcul de l'indice de production corrigé**

Avec les tableaux obtenus, il est possible de croiser les informations pour déterminer la valeur fourragère. Le calcul consiste à intégrer l'abondance de l'ensemble des espèces présentes dans les quadrats, chacune pondérée par l'indice de production de son type fonctionnel (élevé à 30, 60 ou 100).

⁵ Les mains d'espèces correspondent au nombre d'unité d'abondance équivalentes à la surface de la paume de main évoquée précédemment.

Pour les espèces identifiées comme refus de pâturage, la valeur d'indice de production normalement associée à leur type fonctionnel est remplacée par 0. La formule de l'indice obtenu (Équation 1) évolue ainsi entre 0 (parcelle composée uniquement d'espèces à refus de pâturage) et 100 (parcelle composée uniquement d'espèces à fort potentiel productif).

$$\text{IndProdcorrigé} = \frac{\sum (ab_{\text{TFP}=100} \times 100) + \sum (ab_{\text{TFP}=60} \times 60) + \sum (ab_{\text{TFP}=30} \times 30)}{\sum ab_{\text{toutes espèces}}}$$

Équation 1 - Formule de l'indice de production corrigé où : $ab_{\text{esp TFP}=n}$: somme des abondances des espèces dont le type fonctionnel a un indice de production de n , et $ab_{\text{toutes espèces}}$: somme des abondances de toutes les espèces recensées dans la parcelle, espèces de refus de pâturage comprises.

B.3. Relevés floristiques et construction de l'indicateur valeur écologique

B.3.1. Relevés floristiques pour l'analyse de la valeur écologique

Pour étudier la valeur écologique des parcelles, les relevés floristiques ont été réalisés à l'aide des mêmes quadrats que pour le protocole précédent. L'échantillonnage a été effectué sur les 32 parcelles, avec cinq quadrats par parcelle, soit un total de 160 quadrats. Ces 5 quadrats correspondent à un quadrat sur deux du protocole précédent (valeur pastorale), afin de gagner du temps et de réutiliser le matériel déjà installé sur le terrain⁶. Contrairement au relevé simplifié utilisé pour la valeur pastorale, qui ne retient que les espèces dominantes, cette méthode recense l'ensemble des espèces présentes dans chaque quadrat. Pour chaque quadrat, l'ensemble des espèces végétales présentes est inventorié, avec un pourcentage de recouvrement estimé visuellement pour chacune d'entre elles (5 à 100 %, avec des valeurs intermédiaires à 1 %, <1 % ou <5 % pour les espèces les plus discrètes). L'identification des espèces sur le terrain s'est appuyée sur les flores de référence Flora Gallica (Tison & de Foucault, 2014) et Flore de la France méditerranéenne continentale (Tison, Jauzein & Michaud, 2014).

B.3.2. Construction de l'indicateur valeur écologique

À partir des relevés floristiques, trois indicateurs sont calculés pour caractériser la valeur écologique des prairies étudiées (Mesléard, 2024) par la diversité alpha (diversité locale, au sein d'un même quadrat ou d'une même parcelle) et la diversité bêta (variation de composition entre les quadrats d'une même parcelle). La diversité alpha est appréhendée par deux indicateurs : la richesse spécifique et la diversité spécifique. La richesse spécifique correspond au nombre total d'espèces recensées, après transformation des abondances en données de présence/absence. À l'échelle du quadrat, elle est calculée directement sur les espèces présentes dans le quadrat. À l'échelle de la parcelle, une espèce est comptabilisée dès qu'elle est présente dans au moins un des 5 quadrats de la parcelle. La diversité spécifique est évaluée par l'indice de Shannon-Weaver H' (Équation 1), qui prend en compte à la fois le nombre d'espèces et la répartition de leurs abondances au sein de la surface végétale.

$$H' = - \sum_i p_i \times \ln(p_i)$$

⁶ Ainsi, il a été convenu que les quadrats Q1 à Q10 étaient soumis à un relevé fourrager simplifié, et parmi ceux-là, les quadrats pairs (Q2, Q4, Q6, Q8 et Q10) étaient en plus soumis à un vrai relevé floristique complet et distinct.

Équation 1 - Indice de Shannon-Weaver H' , où p_i correspond à l'abondance proportionnelle de l'espèce i au sein du quadrat

À l'échelle de la parcelle, l'indice est recalculé à partir des abondances sommées sur les 5 quadrats de la parcelle. Ces deux indicateurs de diversité alpha ayant été calculés à l'échelle du quadrat, il devient possible d'en tirer un troisième indicateur : la diversité bêta, ou hétérogénéité intra-parcelle. Elle mesure à quel point les quadrats d'une même parcelle diffèrent entre eux en termes de composition floristique : plus elle est élevée, plus la végétation varie d'un quadrat à l'autre au sein de la parcelle.

B.4. Analyses de sol : pH et salinité

En complément des relevés floristiques, trois facteurs abiotiques du sol ont été mesurés : la conductivité électrique, le pH et l'humidité massique. Les prélèvements ont été réalisés directement sur le terrain à l'aide d'une tarière manuelle. Pour chaque parcelle, un échantillon de sol a été prélevé à deux profondeurs : entre 0 et 20 cm, au niveau des racines des plantes, et entre 20 et 40 cm, en dessous de la zone racinaire. Ces prélèvements, bien que réalisés à deux profondeurs, restent représentatifs de la couche superficielle du sol : aucune mesure n'a été réalisée en profondeur, où la salinité est probablement davantage structurée spatialement, les apports d'eau (irrigation, précipitations) modifiant fortement les conditions de surface. Les prélèvements sont effectués sur 3 des quadrats du transect (Q4, Q6 et Q8). Chaque échantillon est conditionné dans un sachet hermétique, étiqueté avec le nom de la parcelle, la profondeur de prélèvement, ainsi que la date. Les coordonnées GPS et les observations hydrologiques éventuelles sont notées sur les fiches de terrain.

Une fois au laboratoire, les échantillons ont été pesés à l'état frais, puis séchés en étuve à 50°C jusqu'à obtention d'une masse constante. L'humidité massique du sol a été calculée à partir de la perte de masse entre l'état frais et l'état sec. Les échantillons ont ensuite été tamisés à 1 mm pour éliminer les éléments grossiers et homogénéiser le matériau avant analyse.

La salinité d'un sol se mesure par la concentration en sels dissous dans sa solution : plus cette concentration est élevée, plus la solution conduit facilement l'électricité. C'est donc la conductivité électrique qui est utilisée ici comme indicateur de salinité. La méthode retenue est celle de l'extrait aqueux au rapport 1/5ème, adaptée au traitement d'un grand nombre d'échantillons. Elle consiste à mélanger 10 g de sol sec tamisé avec 50 mL d'eau distillée (soit un rapport massique de 1/5ème), à agiter le mélange mécaniquement pendant 5 minutes, puis à le laisser décanter pendant 24 heures. La conductivité électrique de la phase surnageante est ensuite mesurée à l'aide d'un conductimètre étalonné, et les résultats sont exprimés en dS.m^{-1} . Cette méthode (1 : 5ème) produit des valeurs environ 10 fois inférieures à celles obtenues par la méthode de référence sur pâte saturée, à laquelle se réfèrent les seuils standards de tolérance de la végétation à la salinité (François Colin, Ingénieur Docteur spécialisé en hydrologie, UMR G-Eau). Et les mesures n'ayant pu être faites sur pâte saturée, les valeurs obtenues ne sont pas directement comparables à ces seuils.

En complément de la conductivité électrique, le pH du sol est également mesuré dans la même phase surnageante, à l'aide d'un pH-mètre. Ce paramètre renseigne sur la disponibilité des principaux nutriments pour les plantes (azote, phosphore, potassium), la plupart des éléments étant le mieux assimilables à un pH proche de 7 (Julien et al., 2022). L'étalonnage du pH-mètre utilisé s'est révélé peu fiable pour cette étude comme pour d'autres analyses de sols menées à la Tour du Valat. Le pH est néanmoins conservé comme variable explicative dans les analyses, à titre exploratoire, et ses résultats sont interprétés avec la prudence qu'impose cette limite. Ce protocole, pour la conductivité, le pH et l'humidité, a été établi à partir des recommandations du laboratoire d'analyses de sols de l'Institut Agro Montpellier ainsi que de l'équipe d'hydrologie de la Tour du Valat.

En ce qui concerne la conductivité du sol mesurée à deux profondeurs (0-20 cm et 20-40 cm), ces deux mesures étant très fortement corrélées entre elles (**Annexe 6**), la profondeur 20-40 cm a directement été retenue comme variable explicative pour la suite des analyses, cette couche plus profonde étant moins soumise aux variations de surface (pluie, évaporation) et donc probablement plus représentative de la conductivité du sol.

B.5. Variables d'étude et bilan du protocole

L'analyse des propriétés écologiques et pastorales des prairies repose sur les variables explicatives et réponse synthétisées dans le Tableau 2.

Type	Variable	Modalités / échelle
Pratique de gestion	Fauche	Non/oui
	Irrigation	Nulle/irrégulière/régulière
	Animal pâturant	Nul/bovin/équidé
Facteurs abiotiques	Conductivité	Mesure continue
	pH	Mesure continue
	Altitude ⁷	Mesure continue sous QGIS
	Humidité ⁸	Mesure continue
Variables réponse	Richesse spécifique	Calcul
	Diversité spécifique	Calcul
	Indice de Production (IndProd)	Calcul
	Indice de Production corrigé (IndProdcorrigé)	Calcul

Tableau 2 - Tableau présentant les variables explicatives et réponse de l'étude des parcelles

Pour résumer, l'étude se fait sur 32 parcelles, réparties en 4 parcelles par mode de gestion (8 modes). Deux protocoles d'échantillonnage ont été appliqués à des résolutions différentes : un protocole floristique complet, à raison de 5 quadrats par parcelle (soit 160 quadrats), destiné au calcul des indicateurs de richesse et de diversité. Et un protocole ciblé sur les espèces dominantes, à raison de 10 quadrats par parcelle (soit 320 quadrats), destiné au calcul de l'indice de production fourragère.

B.3. Méthodes d'analyse

Les données ont été analysées à l'échelle du quadrat. Et les variables explicatives ont été considérées selon deux échelles : les trois pratiques de gestion prises individuellement (fauche, irrigation, pâturage), et leur combinaison en 8 modes de gestion.

B.3.1. Analyse exploratoire de la composition floristique

Nous avons débuté par une approche exploratoire pour caractériser la structure des communautés végétales à l'échelle du quadrat, indépendamment des pratiques de gestion. Les données de recouvrement ont été converties en coefficients d'abondance-dominance de Braun-Blanquet. Une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été réalisée sur le tableau espèces × quadrats. La significativité de la structuration de la composition floristique selon le mode de gestion a été testée avec une analyse de variance multivariée par permutation (Hervé, 2021, fiche 111), sur une matrice de

⁷ L'altitude a été récupérée par jointure de données sur le logiciel QGIS entre les valeurs de topographie obtenues sur la couche de Modèle Numérique de Terrain fournie par la Tour du Valat, et les valeurs de coordonnées des quadrats d'étude.

⁸ L'humidité a été calculé lors du protocole d'analyse de la conductivité du sol, en calculant la différence entre la masse avant mise en étuve et après séchage complet à l'étuve.

distance de Bray-Curtis. L'homogénéité de la dispersion multivariée entre modes de gestion a été vérifiée au préalable (fonction `betadisper`). Des comparaisons par paires ont permis d'identifier les modes de gestion se distinguant significativement les uns des autres.

B.3.2. Descripteurs généraux : richesse et diversité

Suite à cette analyse exploratoire, la richesse spécifique et l'indice de diversité de Shannon-Weaver ont été calculés à l'échelle du quadrat et de la parcelle. Leur variation selon le mode de gestion a été testée à l'aide de tests non paramétriques : test de Kruskal-Wallis, complété en cas de différence significative par des comparaisons post-hoc deux à deux, les résultats ont été restitués sous forme de lettres de significativité. La diversité bêta (hétérogénéité intra-parcelle) a été traitée avec la même méthodologie.

B.3.3. Structuration par les facteurs abiotiques : ACP

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée à l'échelle de la parcelle, à partir de l'ensemble des indicateurs étudiés (richesse spécifique, diversité de Shannon, hétérogénéité, indice de production et indice de production corrigé) et des facteurs abiotiques (conductivité, pH, altitude, humidité). Les individus (quadrats) ont été projetés sur le plan factoriel et colorés selon leur mode de gestion. Comme pour la composition floristique, la structuration du nuage de points selon le mode de gestion a été testée formellement par `permanova`, avec vérification de l'homogénéité de dispersion.

B.3.4. Modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM)

Enfin, pour tester plus finement l'effet des pratiques de gestion et des facteurs abiotiques, des modèles linéaires généralisés mixtes ont été réalisés pour les 3 indicateurs principaux (richesse, diversité, indice de production corrigé), à l'échelle du quadrat, avec la parcelle en effet aléatoire. La distribution de l'erreur résiduelle des modèles a été choisie selon la nature de la variable réponse : une distribution de Poisson pour la richesse spécifique, une distribution gaussienne pour diversité et indice de production. La validité de chaque modèle a été vérifiée à l'aide de résidus simulés.

L'ensemble de ces analyses a été réalisé sous R (R, 2026), à l'aide des packages `vegan` (analyses multivariées), `FactoMineR` (ACP, AFC), `glmmTMB` (modèles mixtes), `DHARMA` (diagnostics de résidus) et `multcompView` (tests post-hoc et lettres de significativité).

C. Présentation des résultats

Ce chapitre présente les résultats obtenus : structuration de la composition floristique, effets des pratiques de gestion sur la richesse, la diversité et la valeur pastorale, et compromis observé entre ces deux dimensions.

C.1. Validation du protocole d'échantillonnage

Avant de présenter les résultats de l'étude, il a été important de vérifier que le protocole d'échantillonnage retenu (quadrats de 40×40 cm) permettait de capter fidèlement la richesse floristique des parcelles. L'effort d'échantillonnage a d'abord été évalué par des courbes d'accumulation des espèces, réalisées séparément pour chacune des 32 parcelles (**Annexe 7**). Ces courbes sont encore ascendantes au cinquième quadrat pour la quasi-totalité des parcelles, sans atteindre de plateau net, la pente restant plus marquée pour les parcelles les plus riches (PF1, CEN3, CES4) que pour les parcelles les plus pauvres (AV1, AV6, AV9, PF2), dont la courbe commence à s'infléchir. Un second protocole a été testé en parallèle sur une surface de 25 m² par parcelle, afin de voir si le protocole en quadrats pouvait suffisamment refléter une richesse floristique des parcelles.

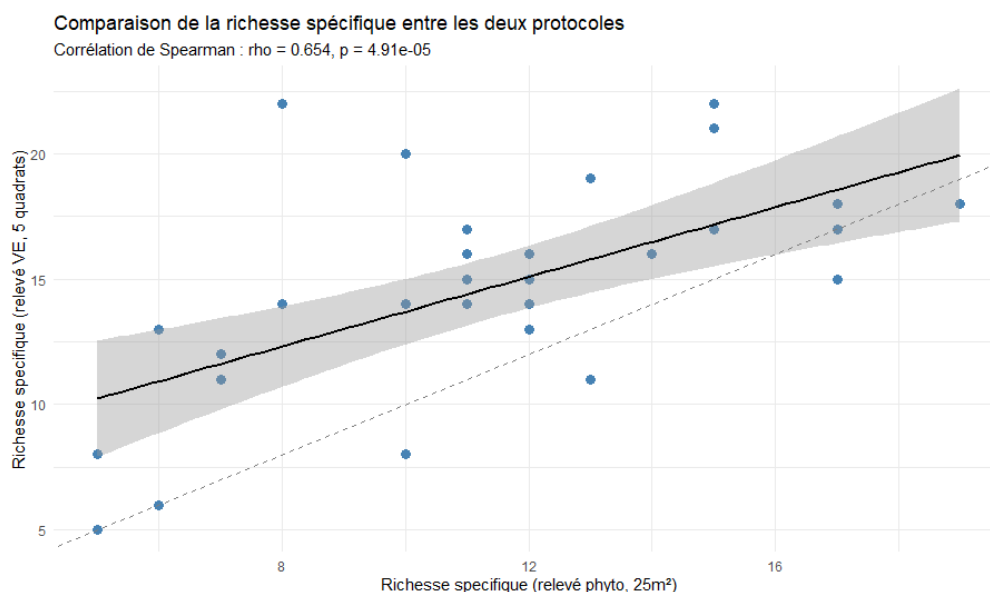


Figure 10 - Richesse spécifique obtenue par le protocole des 5 quadrats en fonction de la richesse spécifique obtenue par le relevé phytosociologique de 25 m². La droite pointillée représente la relation $x=y$ (richesse identique entre les deux protocoles), la droite pleine (avec son intervalle de confiance) la régression observée. Les deux richesses sont fortement et significativement corrélées (Spearman, $\rho = 0,654$, $p < 0,001$)

La richesse spécifique obtenue par les deux protocoles est fortement et significativement corrélée. Une parcelle riche en espèces selon l'un des deux protocoles l'est aussi selon l'autre, ce qui confirme que le protocole en quadrats reflète la richesse relative entre parcelles. La droite de régression se situe au-dessus de la droite $x=y$ sur la majeure partie du graphique : le protocole en quadrats détecte en général davantage d'espèces que le relevé sur 25 m² ce qui confirme sa pertinence pour notre étude

C.2. Caractéristiques générales des résultats

C.2.1. Effectifs préliminaires

Au total, toutes méthodes confondues, 88 espèces ont été recensées : 23 espèces de graminées, 13 espèces de fabacées et 51 espèces appartenant à d'autres familles botaniques (**Annexe 8**). À l'échelle du quadrat, la richesse spécifique varie de 1 à 12 espèces, avec une moyenne de $6,03 \pm 0,19$ espèces par quadrat ($n = 160$). À l'échelle de la parcelle, cette richesse varie de 5 à 22 espèces, avec une moyenne de 14,7 espèces par parcelle. Le protocole ciblé sur les espèces dominantes recense pour sa part 42 espèces, correspondant à 21 des 43 types fonctionnels de la base FlorealData. En ce qui concerne les gradients abiotiques, mesurés à l'échelle du quadrat : la conductivité varie de 36,0 à 5 350,0 $\mu\text{S.m}^{-1}$, avec une moyenne de $1215,5 \pm 134,6$ $\mu\text{S.m}^{-1}$ ($n = 96$). Le pH du sol varie de 7,00 à 9,20, avec une moyenne de $7,94 \pm 0,05$ ($n = 96$), ce qui correspond à des sols neutres à franchement

basiques, cohérent avec le contexte camarguais. L'altitude par quadrat varie de 0,462 à 0,616 m, avec une moyenne de $0,520 \pm 0,002$ m (n = 320).

C.2.2. Répartition des familles et Types Fonctionnels

Caractérisons la répartition des grandes familles (Figure 11) et des types fonctionnels (Figure 12) présents dans l'étude.

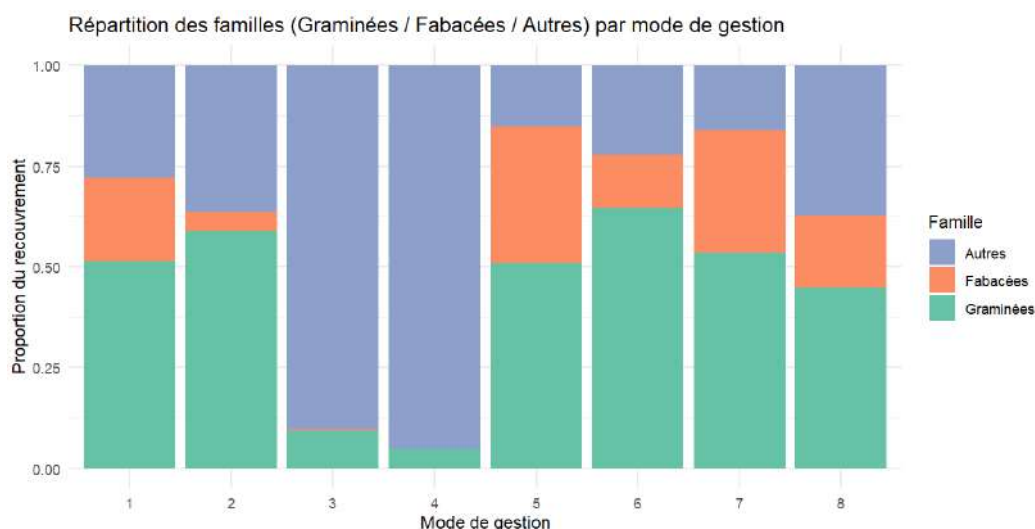


Figure 11 - Proportion du recouvrement total occupée par chaque grande famille botanique (graminées, fabacées, autres familles) par mode de gestion, à l'échelle du quadrat

Les modes 3 et 4 se distinguent clairement des six autres modes : ils sont dominés à plus de 90 % par des espèces n'appartenant ni aux graminées ni aux fabacées. Ces parcelles sont constituées d'une flore typique, dominée par des halophytes (*Sarcocornia fruticosa*, *Limonium vulgare*, *Suaeda vera*) et appelée localement sansouïre. Les autres modes de gestion présentent une part importante de graminées comprise entre 45 et 65 %. Les modes 5 et 7 en irrigation régulière se distinguent par la part de fabacées la plus élevée (photographies jointes en **Annexe 9**).

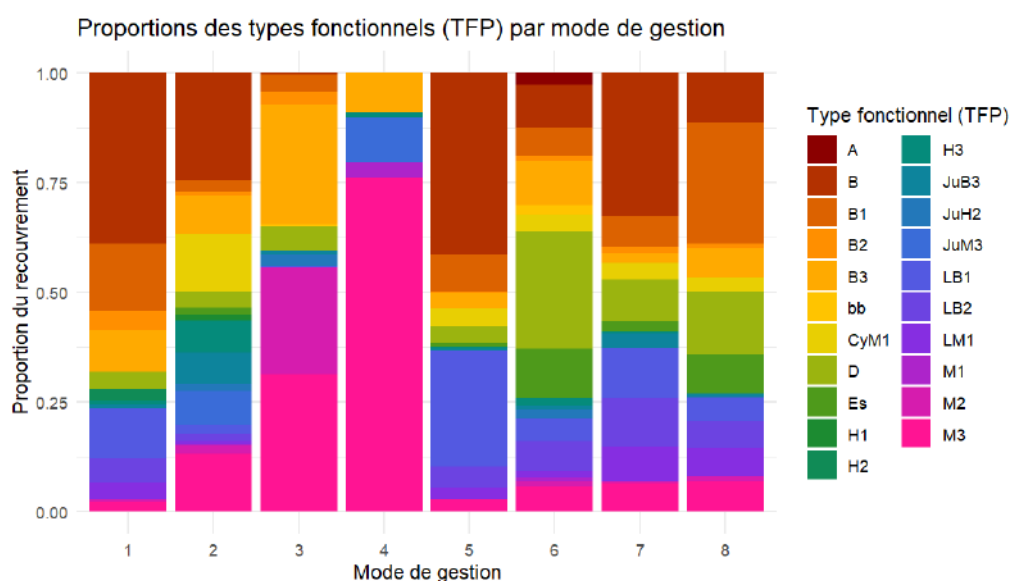


Figure 12 - Proportion du recouvrement total occupée par chaque type fonctionnel de plante (TFPgal, base FlorealData) par mode de gestion, à l'échelle du quadrat

Le mode 4 est très largement dominé par le type M3 (indice de production 60), qui regroupe notamment *Sarcocornia fruticosa*, *Halimione portulacoides* et *Tripolium pannonicum*. Ces trois espèces sont caractéristiques des écosystèmes de type sansouïre.

Les autres modes se distinguent par une grande proportion du type B (indice de production 100), porté presque exclusivement par *Festuca arundinacea* surtout dans les modes 1, 5 et 7. Et le type D (indice de production 30), porté par *Cynodon dactylon*, est très présent dans les modes 6, 7 et 8, tous les 3 fauchés et irrigués. Le mode 2 présente un profil plus diversifié, avec une part importante du type CyM1 (*Carex cuprina*) et des types H (*Phragmites australis*, *Symphiotrichum squamatum*), flore de milieu humide. La répartition plus fine des types fonctionnels par parcelle et par quadrat est présentée en **Annexe 10**.

C.3. Analyses statistiques des résultats

C.3.1. Etude exploratoire de la composition floristique

Une analyse factorielle des correspondances (AFC) a été réalisée sur le tableau espèces × quadrats, à partir des recouvrements transformés en classes de Braun-Blanquet.

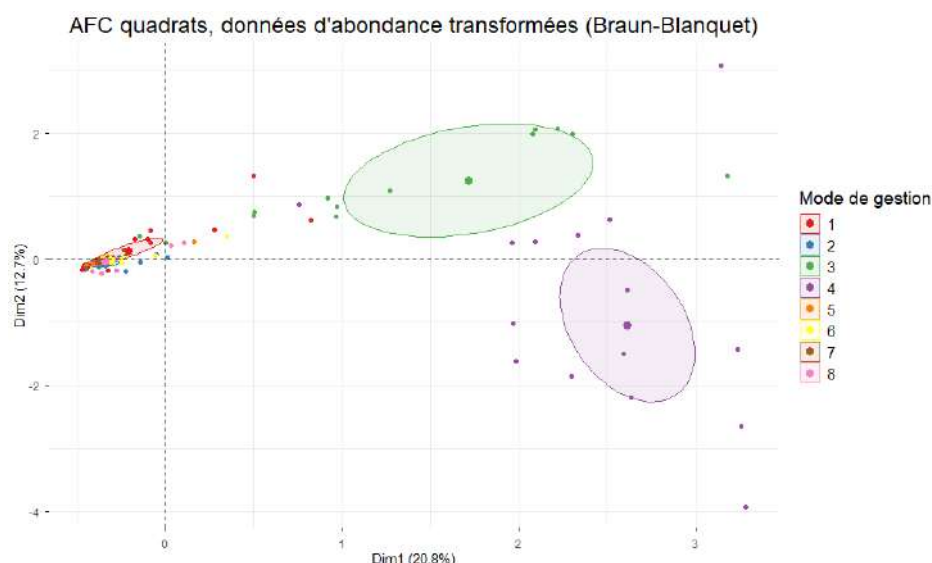


Figure 13 – Projection des quadrats sur le premier plan factoriel de l'analyse factorielle des correspondances (AFC), réalisée à partir des données du relevé floristique complet, avec les abondances transformées en classes de Braun-Blanquet. Les ellipses représentent l'intervalle de confiance à 95 % autour du centroïde de chaque mode de gestion. La structuration de la composition floristique selon le mode de gestion est significative (PERMANOVA sur distance de Bray-Curtis, $F = 11,15$, $p = 0,001$), le mode de gestion expliquant 34,2 % de la variance de composition ($R^2 = 0,342$). La dispersion multivariée ne diffère pas significativement entre modes de gestion (test d'homogénéité de la dispersion, $F = 1,95$, $p = 0,068$).

Le mode de gestion structure significativement la composition floristique. Deux groupes de quadrats se détachent nettement du reste du nuage de points : les modes 3 et 4 qui sont les parcelles sans aucune gestion active sauf du pâturage bovin pour le mode 3. Tous les autres modes restent regroupés au centre du graphique, peu différenciés entre eux. Les comparaisons par paires montrent que le mode 1 se distingue significativement de tous les autres modes, de même que les modes 2, 3, 4 et 6 pris deux à deux. Seuls trois couples de modes ne se différencient pas significativement entre eux : les modes 5 et 7, les modes 6 et 8, et les modes 7 et 8. Les trois modes 6, 7 et 8 associent fauche et/ou irrigation régulière. Il est regardé maintenant si cette structuration tient toujours une fois les modes 3 et 4 retirés de l'analyse.

AFC quadrats, données d'abondance transformées (Braun-Blanquet), modes de gestion 3 et 4 exclus

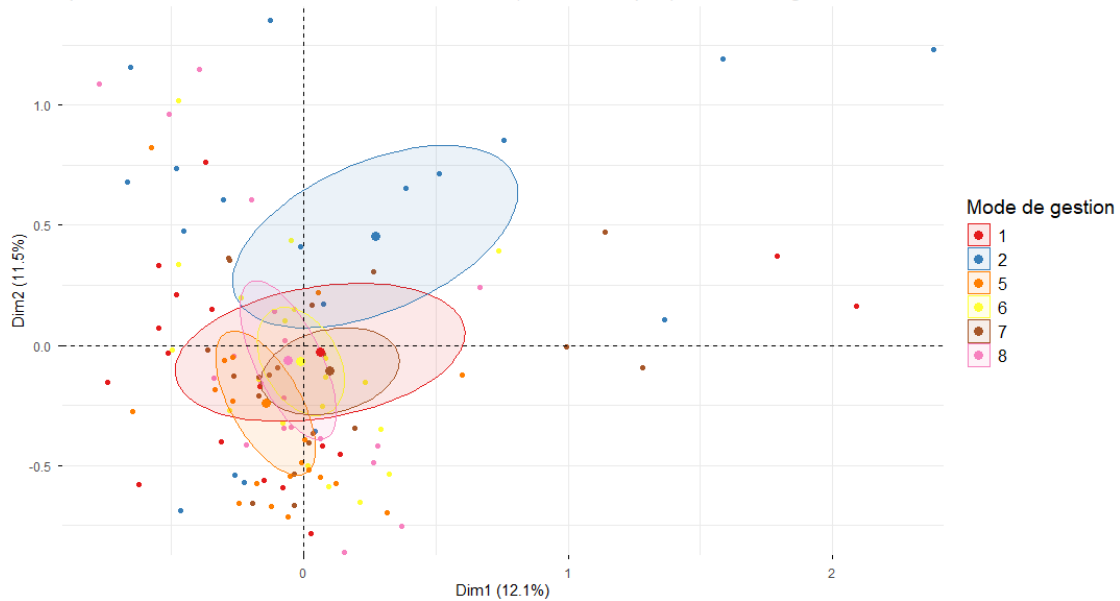


Figure 14 - Projection des quadrats sur le premier plan factoriel de l'AFC réalisée sur les données du relevé floristique complet, abondances transformées en classes de Braun-Blanquet, après exclusion des modes 3 et 4. La structuration de la composition floristique selon le mode de gestion reste significative (PERMANOVA sur distance de Bray-Curtis, $F = 3,39$, $p = 0,001$), le mode de gestion expliquant désormais 12,9 % de la variance de composition ($R^2 = 0,129$). La dispersion multivariée ne diffère pas significativement entre modes de gestion (test d'homogénéité de la dispersion, $F = 2,22$, $p = 0,062$), ce qui valide l'interprétation du test PERMANOVA.

En retirant les modes 3 et 4, la structuration reste significative mais la part de variance expliquée chute de 34,2 % à 12,9 %. Ainsi une bonne partie de l'effet du mode de gestion sur la composition floristique observé précédemment était portée par les modes 3 et 4 très différents des autres. Les comparaisons par paires distinguent deux ensembles de modes qui se différencient entre paires (modes 5 et 7) et (modes 6 et 8) et aussi nettement des modes 1 et 2. Le mode 2 se distingue significativement de tous les autres.

C.3.2. Etude de la richesse et de la diversité

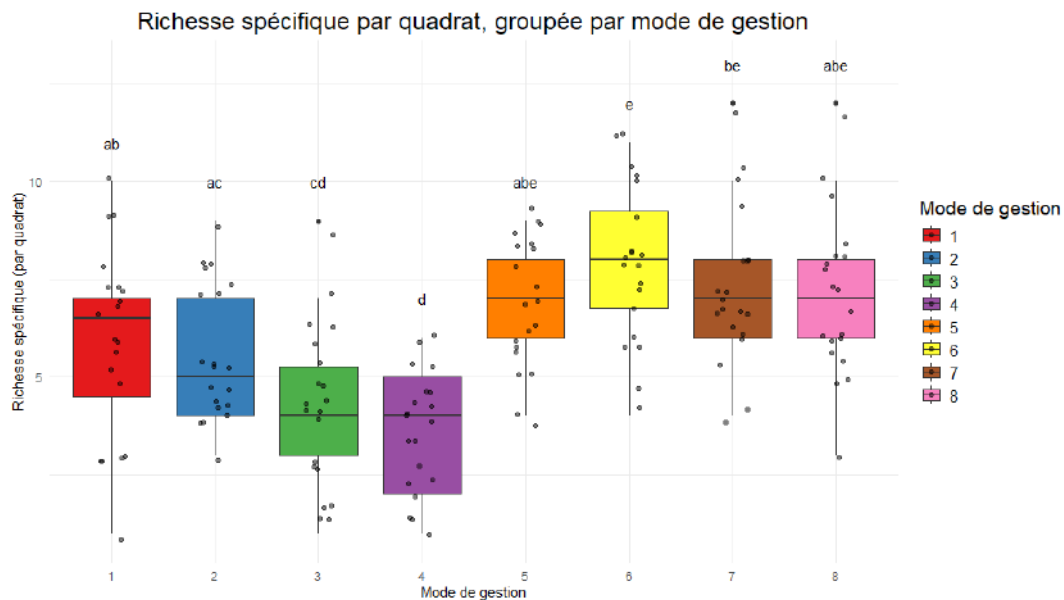


Figure 15 - Richesse spécifique par quadrat selon le mode de gestion. Les points représentent les quadrats individuels ; les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de modes significativement différents (test post-hoc de Dunn). La richesse spécifique diffère significativement selon le mode de gestion (test de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 58,81$, ddl = 7, $p < 0,001$).

Les modes 3 et 4 présentent la richesse spécifique la plus faible, significativement inférieure à celle de la plupart des autres modes, sans être significativement différents l'un de l'autre. Parmi les

autres modes, les écarts sont plus limités : seul le mode 6 se distingue significativement des modes 1 et 2, et le mode 7 se distingue du mode 2. Le mode 6 (pâturage bovin + fauche + irrigation irrégulière) présente par ailleurs la richesse la plus élevée de l'ensemble. La même structure se retrouve pour la diversité de Shannon : les modes 3 et 4 sont significativement moins diversifiés que le mode 8 (pâturage bovin + fauche + irrigation régulière), qui présente la diversité la plus élevée **Annexe 11** Les études par quadrats groupés par parcelle sont aussi présentées en **Annexe 12** Ce constat ne se maintient pas à l'échelle de la parcelle : la richesse et la diversité parcellaire (**Annexe 13**) ne diffèrent pas significativement selon le mode de gestion, probablement en raison du faible effectif par mode à cette échelle (n = 4 parcelles), qui limite fortement la puissance statistique du test pour détecter des différences entre catégories.

C.3.3. Etude de l'Indice de Production corrigé

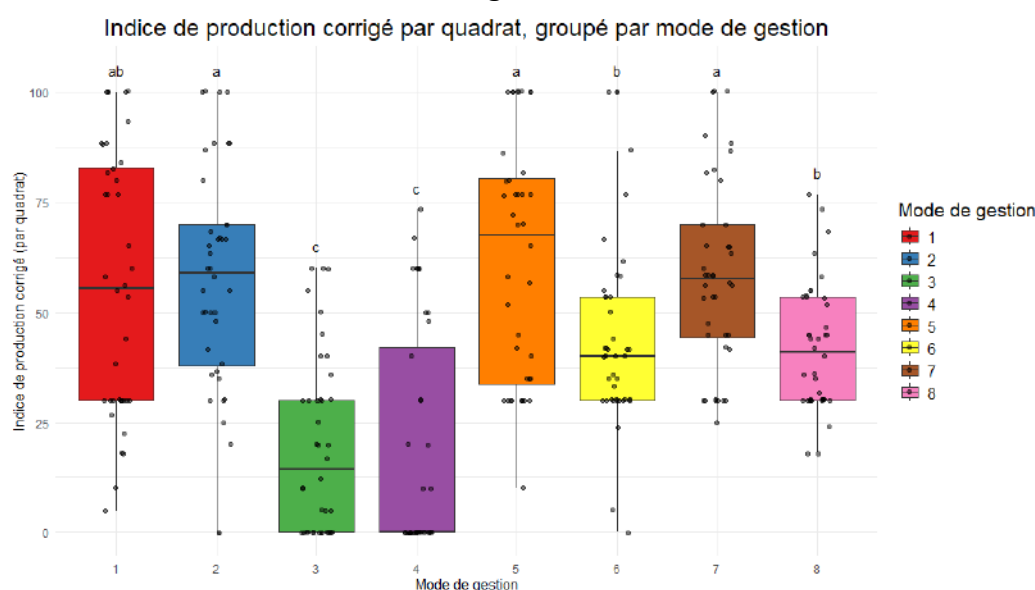


Figure 16 - Indice de production corrigé par quadrat selon le mode de gestion. Les points représentent les quadrats individuels, les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de modes significativement différents (test post-hoc de Dunn). L'indice de production corrigé diffère significativement selon le mode de gestion (test de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 96,95$, ddl = 7, $p < 0,001$)

En ce qui concerne, l'Indice de Production corrigé, trois groupes de modes se distinguent nettement. Les modes 3 et 4 présentent l'indice de production corrigé le plus faible, significativement inférieur à celui de tous les autres modes, sans se différencier l'un de l'autre : les parcelles sans fauche ni irrigation régulière offrent donc la valeur fourragère la plus basse. À l'opposé, les modes 1, 2, 5 et 7 forment un groupe à indice élevé, sans différence significative entre eux. Les modes 6 et 8 occupent une position intermédiaire. Avec l'indice de production non corrigé, le mode 4 (sans aucune gestion) ne ressort pas comme le plus défavorisé (**Annexe 14**), car sa production est en grande partie portée par des espèces à refus de pâturage. Une fois ces espèces retirées du calcul, le mode 4 rejoint le mode 3 au niveau le plus bas, ce qui correspond mieux à la réalité du terrain. Les études à l'échelle du quadrat groupés par parcelle sont aussi présentées en **Annexe 15**. Par ailleurs, l'hétérogénéité intra-parcellaire (distance moyenne de Bray-Curtis entre quadrats d'une même parcelle) a également été comparée entre modes de gestion, sans mettre en évidence de différence significative (test de Kruskal-Wallis).

C.3.4. Structuration des descripteurs par rapport aux autres variables

Suite à cette description, il est intéressant d'analyser la distribution de ces variables en fonction des autres étudiées, avec une Analyse en Composantes Principales. Elle a été réalisée à partir des quatre indicateurs de qualité (richesse, diversité, indice de production, indice de production corrigé) et des quatre facteurs abiotiques (conductivité, pH, altitude, humidité), à l'échelle du quadrat.

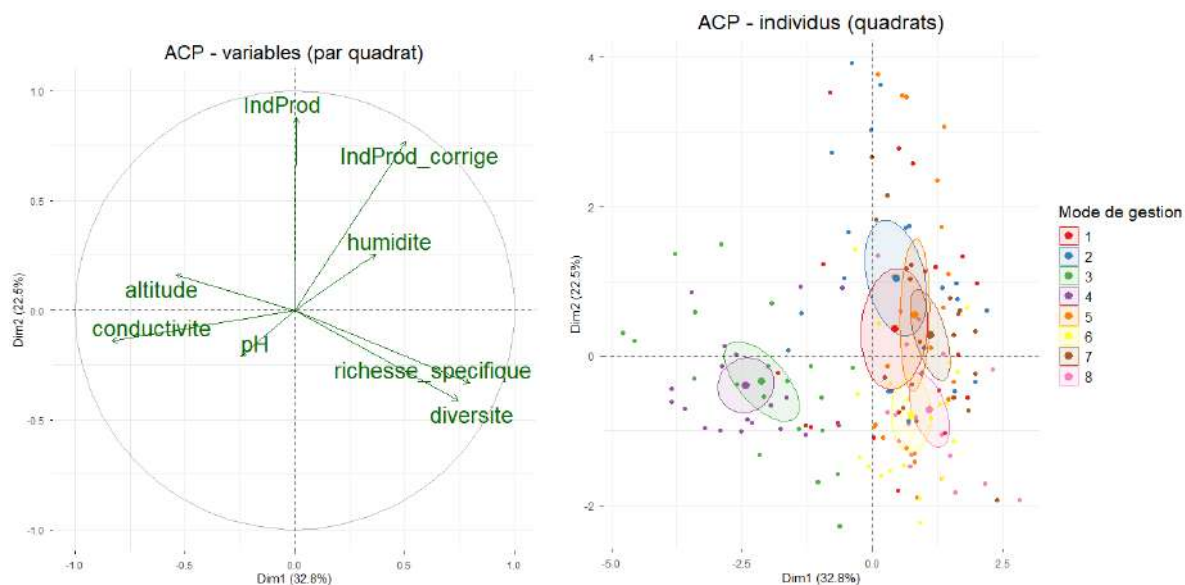


Figure 17 - Analyse en composantes principales (ACP). À gauche, cercle des corrélations des variables sur le premier plan factoriel. À droite, projection des quadrats sur ce même plan, colorés par mode de gestion, avec ellipses de confiance à 95 %. La structuration des quadrats selon le mode de gestion est significative (PERMANOVA, $F = 11,66$, $p = 0,001$), le mode de gestion expliquant 34,9 % de la variance ($R^2 = 0,349$). La dispersion multivariée ne diffère pas significativement entre modes de gestion (test d'homogénéité de la dispersion, $F = 0,78$, $p = 0,599$), ce qui valide l'interprétation du test PERMANOVA.

Le premier axe (32,8 % de variance) oppose l'altitude et la conductivité (négatif) à la richesse, la diversité, l'indice de production corrigé et l'humidité (positif). Le second axe (22,5 %) oppose l'indice de production (positif) à la richesse et la diversité (négatif). Sur ce plan, les quadrats des modes 3 et 4 se détachent clairement, du côté « faible richesse ; faible diversité et forte conductivité », tandis que les autres modes restent regroupés au centre. Les comparaisons par paires distinguent surtout les modes 3, 4, 6 et 8 les uns des autres — les modes 1, 2, 5 et 7 se différenciant moins nettement entre eux.

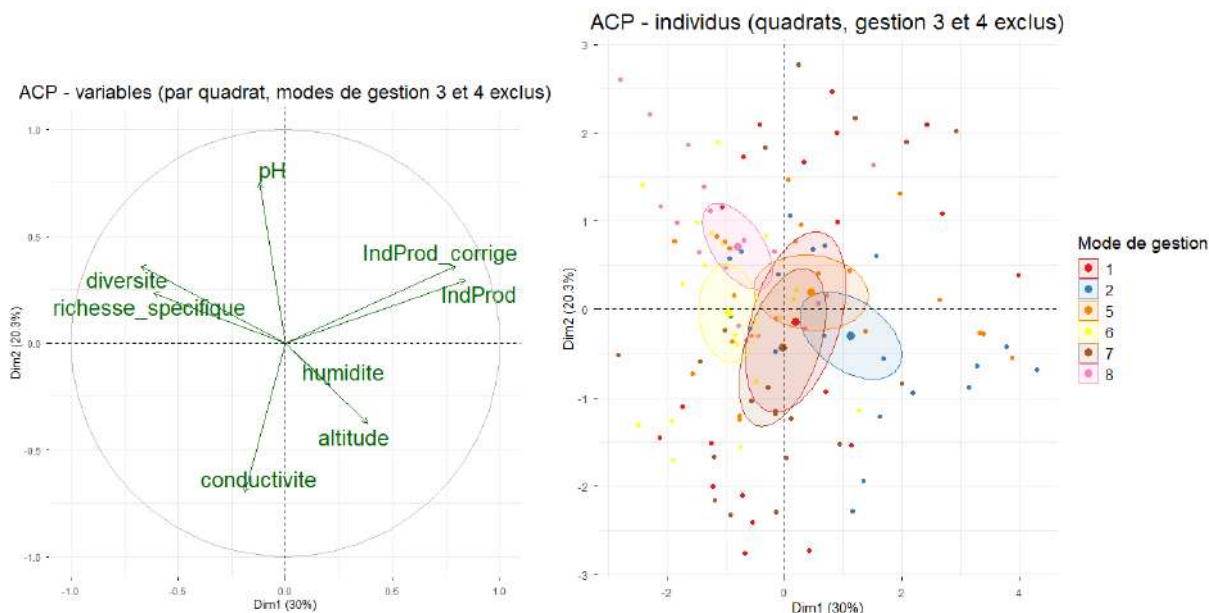


Figure 18 - Analyse en composantes principales (ACP) après exclusion des modes 3 et 4. À gauche, cercle des corrélations des variables sur le premier plan factoriel. À droite, projection des quadrats sur ce même plan, colorés par mode de gestion, avec ellipses de confiance à 95 %. La structuration des quadrats selon le mode de gestion reste significative (PERMANOVA, $F = 4,43$, $p = 0,001$), le mode de gestion expliquant désormais 16,3 % de la variance ($R^2 = 0,163$). La dispersion multivariée ne diffère pas significativement entre modes de gestion (test d'homogénéité de la dispersion, $F = 1,29$, $p = 0,268$), ce qui valide l'interprétation du test PERMANOVA.

Les comparaisons par paires montrent que le mode 1 se détache significativement de tous les autres modes du côté « forte production ». Et les modes 6 et 8 se détachent aussi significativement de l'ensemble des autres modes du côté « forte richesse et forte diversité ». Les modes 2, 5 et 7 restent regroupés entre les deux, avec le mode 2 assez nettement attiré vers le pôle productif.

C.3.5. Un compromis entre richesse spécifique et valeur pastorale ?

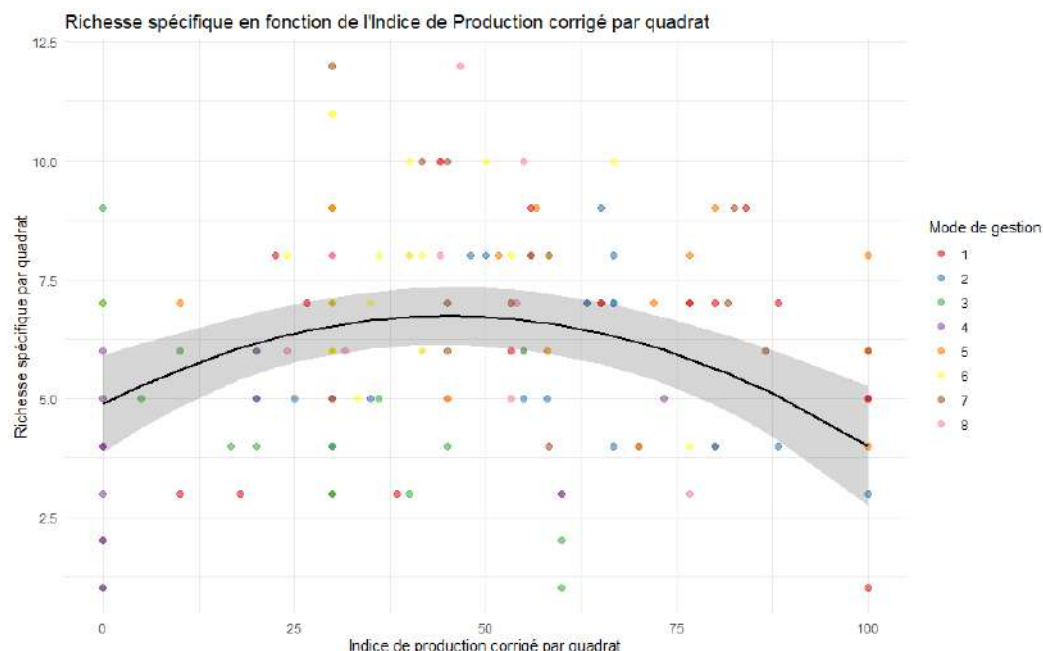


Figure 19 - Richesse spécifique par quadrat en fonction de l'indice de production corrigé. La courbe représente les prédictions d'un modèle linéaire mixte avec un terme quadratique et un effet aléatoire parcelle (bande = intervalle de confiance à 95 %). Le terme linéaire (Estimate = 0,082, $p < 0,001$) et le terme quadratique (Estimate = -0,0009, $p < 0,001$) sont tous deux significatifs, indiquant une relation en cloche avec un maximum situé autour d'un indice de production corrigé de 45.

La corrélation linéaire entre la richesse spécifique et l'indice de production corrigé est positive mais faible (Spearman, $\rho = 0,189$, $p = 0,0165$). Un modèle linéaire mixte est créé avec un effet aléatoire de parcelle et un terme quadratique révèle une relation en cloche : la richesse augmente jusqu'à un maximum situé autour d'un indice de 45, puis diminue au-delà. La diversité de Shannon suit le même patron à cette échelle, avec un optimum à 47 (**Annexe 16**).

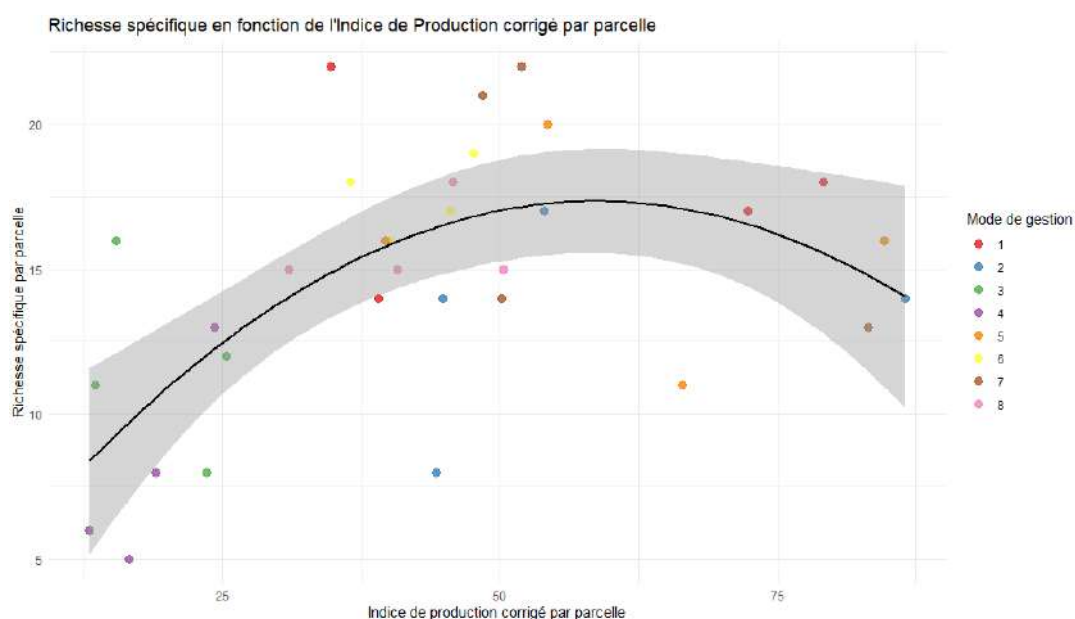


Figure 20 - Richesse spécifique par parcelle, colorée par mode de gestion, en fonction de l'indice de production corrigé. La courbe correspond à l'ajustement d'un modèle quadratique à l'échelle parcelle (bande = intervalle de confiance à 95 %). Le terme linéaire (Estimate = 0,503, $p < 0,001$) et le terme quadratique (Estimate = -0,0043, $p = 0,0022$) sont tous deux significatifs, indiquant une relation en cloche avec un maximum situé autour d'un indice de production corrigé de 59.

À l'échelle de la parcelle, un modèle quadratique simple (sans effet aléatoire) confirme aussi une relation en cloche significative pour la richesse, avec un optimum situé à 59. Un modèle équivalent sur la diversité de Shannon à cette échelle confirme également cette relation, avec un optimum à 47 (**Annexe 17**).

Les parcelles considérées comme proches de l'optimum à l'échelle parcelle sont celles pour lesquelles la richesse spécifique ET la diversité de Shannon restent toutes deux supérieures à 95 % de leur maximum respectif, ce qui correspond à un indice de production corrigé compris entre 44,8 et 54,3 (**Annexe 18**). Les parcelles comprises entre ces valeurs sont : C9, FN1, FN4, C5, CES8, CES9, FN2, CES4, C6 et CEN3 (10 parcelles sur les 32). Sur ces parcelles, la richesse spécifique observée varie de 8 à 22 espèces.

C.3.6. Effet des pratiques de gestion sur les indicateurs (modèles mixtes GLMM)

Des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM, avec un effet aléatoire "parcelle") ont été effectués à l'échelle du quadrat pour les trois indicateurs principaux. L'objectif de cette étude étant d'évaluer l'effet des pratiques de gestion sur les indicateurs écologiques et pastoraux, les modèles ont été construits en conservant systématiquement les trois pratiques de gestion comme variables d'intérêt principal. Les facteurs abiotiques (conductivité, altitude), correspondant à des caractéristiques du milieu non modifiables par la gestion, ont été ajoutées en co-variables, afin de tenir compte de leur effet en complément des pratiques. Le tableau ci-dessous résume le sens et la significativité des effets des trois pratiques de gestion. Le tableau complet, incluant les versions du modèle avec ajout de la conductivité et de l'altitude ainsi que les diagnostics de validation, est présenté en **Annexe 19**.

Facteur de gestion	Richesse	Diversité	Indice de production corrigé
Fauche	↑ * $p = 0,017$	↑ * $p = 0,015$	↓ * $p = 0,020$
Irrigation	↑ * $p = 0,007$	Ns $p = 0,070$	↑ * $p < 0,001$
Animal pâturant	Ns $p = 0,476$	Ns $p = 0,980$	Ns $p = 0,517$

Tableau 3 - Synthèse des effets des trois pratiques de gestion sur les trois indicateurs de qualité floristique et fourragère, testés par GLMM (effet aléatoire "parcelle") à l'échelle du quadrat. Les flèches indiquent le sens de l'effet, "Ns" signifie « Non-significativité », et l'astérisque indique une significativité de la p-value ($p < 0,05$).

La fauche est le seul facteur qui agit sur les trois indicateurs à la fois. Elle augmente significativement la richesse spécifique de 19,5 % et la diversité de Shannon de 0,29 point, tout en diminuant l'indice de production corrigé de 13,1 points en moyenne par rapport à une parcelle non fauchée. Faucher favorise donc nettement la biodiversité floristique de la parcelle, mais au prix d'une perte mesurable de valeur fourragère.

L'irrigation a un effet plus contrasté selon l'indicateur considéré. Sur l'indice de production corrigé, cette pratique a l'effet le plus fort de toute l'étude ($p < 0,001$) : et cet effet ne disparaît pas lorsque la conductivité est ajoutée au modèle ($p = 0,027$). Ce qui veut dire que l'irrigation a un effet direct sur la disponibilité en eau, plus qu'en diluant simplement le sel du sol. Sur la richesse spécifique, l'irrigation a également un effet positif lorsqu'elle est testée seule ($p = 0,007$), mais cet effet disparaît complètement dès que la conductivité est prise en compte ($p = 0,47$) : contrairement à ce qui est

observé pour la production, l'irrigation semble donc agir sur la richesse surtout en diminuant la salinité du sol. Elle n'a aucun effet significatif sur la diversité spécifique.

Dans cette étude, le type d'animal pâturant (bovin ou équin) n'a aucun effet significatif sur aucun des trois indicateurs.

Par ailleurs, il a été constaté que l'altitude a un effet négatif significatif sur la richesse spécifique ($p = 0,038$). En résumé, deux leviers de gestion se dégagent avec des effets opposés et complémentaires : la fauche est le levier de la biodiversité floristique (+19,5 % de richesse, +0,29 point de diversité de Shannon), au prix d'une baisse de 13,1 points de l'indice de production corrigé, et l'irrigation est le levier de la valeur pastorale, sans bénéfice net pour la diversité.

C.3.7. Le cas particulier de *Paspalum*

À l'échelle de la communauté végétale, *Cynodon dactylon* domine largement les quadrats à faible valeur fourragère, tandis que *Festuca arundinacea* domine très largement les quadrats à forte valeur fourragère (près de 85 quadrats sur l'ensemble de l'étude). Et *Paspalum dilatatum* se distingue comme la deuxième espèce la plus fréquemment dominante dans la classe de valeur fourragère intermédiaire (**Annexe 21**). Cette dernière espèce est une espèce exotique envahissante (Perrino et Al, 2021). En effet la reproduction végétative et sexuée du *Paspalum sp.* colonise rapidement l'espace dans les conditions propices, et devient fortement compétitive pour les autres espèces, ce qui peut potentiellement réduire la diversité spécifique des parcelles. Toute la question est de réussir à mieux cerner les conditions propices à son développement pour essayer de limiter son développement et mieux approcher le compromis valeur écologique – valeur fourragère.

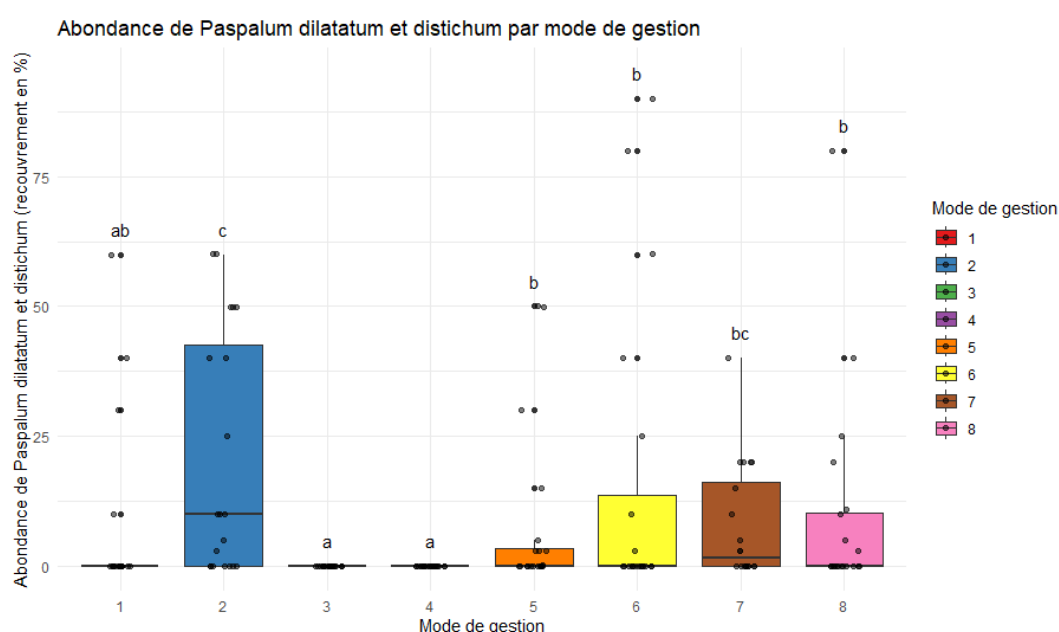


Figure 21 - Abondance de *Paspalum* (*dilatatum* et *distichum* réunis, recouvrement en %) par quadrat selon le mode de gestion. Les points représentent les quadrats individuels ; les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de modes significativement différents (test post-hoc de Dunn). L'abondance de *Paspalum* diffère significativement selon le mode de gestion (test de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 38,21$, ddl = 7, $p < 0,001$)

L'abondance de *Paspalum sp.* est très inégale selon les parcelles : de nombreuses parcelles n'en contiennent aucune trace, tandis qu'elle est nettement plus élevée dans le mode 2 (pâturage bovin, fauche nulle, irrigation irrégulière), significativement supérieur à celle de tous les autres modes sauf le mode 7. À l'inverse, les modes 3 et 4 (sans gestion) présentent l'abondance la plus faible, sans se différencier l'un de l'autre ni du mode 1, mais ils sont significativement inférieurs à l'abondance des modes 2, 5, 6, 7 et 8.

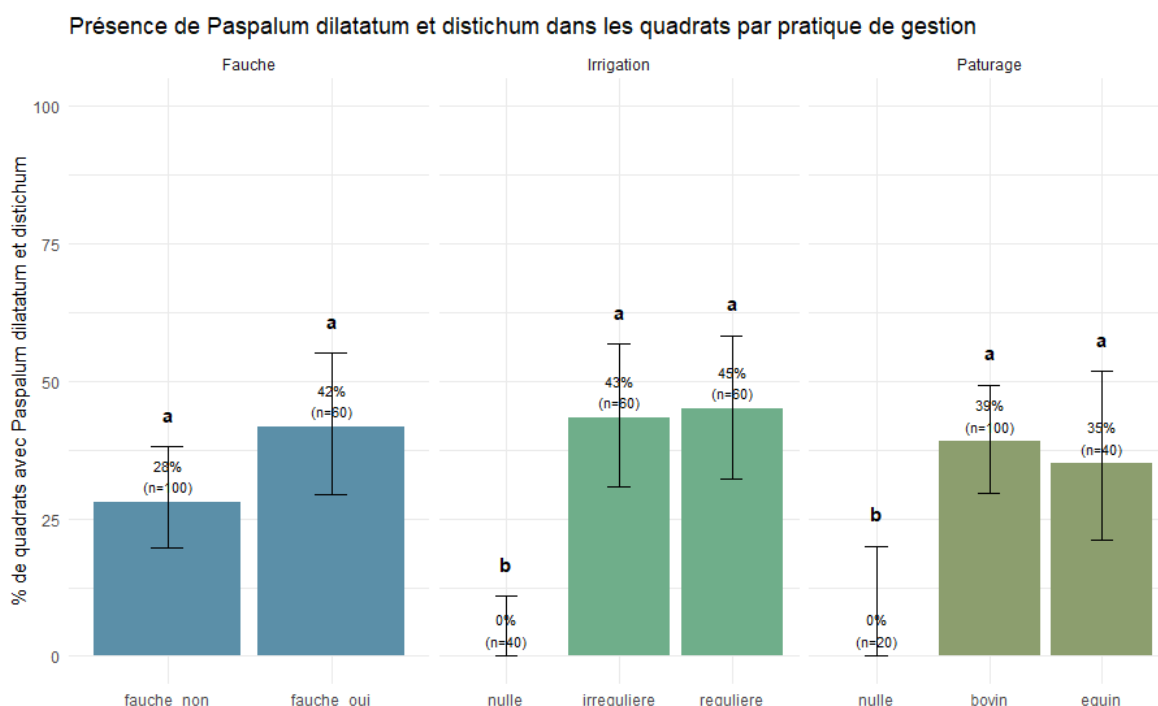


Figure 22 - Pourcentage de quadrats contenant *Paspalum* selon chaque pratique de gestion prise séparément (fauche, irrigation, pâturage), avec intervalle de confiance à 95 % et nombre de quadrats concernés (n) indiqué pour chaque modalité. Les lettres au-dessus des barres indiquent les modalités significativement différentes au sein de chaque pratique (test de comparaison des proportions par paires).

En regardant chaque pratique séparément : la fauche n'a pas d'effet significatif sur la présence de *Paspalum*. L'irrigation, en revanche, joue un rôle significatif : 0 % des quadrats sans irrigation contiennent *Paspalum*, contre 43,3 % en irrigation irrégulière et 45,0 % en irrigation régulière. Le pâturage suit le même schéma : 0 % des quadrats sans pâturage contre 39,0 % en pâturage bovin et 35,0 % en pâturage équin. Ce résultat est cohérent avec l'écologie de l'espèce : le piétinement lié au pâturage, en l'absence de contrôle par la fauche, favorise sa reproduction végétative, tandis que l'irrigation lui apporte l'humidité nécessaire à son développement (Mesléard, 2024).

De plus, il a été constaté que plusieurs parcelles dans lesquelles *Paspalum* était peu ou pas visible au moment de l'échantillonnage ont connu, une fois l'irrigation mise en œuvre, une explosion de son abondance, accompagnée d'une chute visible de la diversité floristique locale (**Annexe 20**). Cette observation est certes qualitative, mais suggère tout de même que la phénologie de *Paspalum* est fortement saisonnière et étroitement liée au calendrier des pratiques de gestion, en particulier à l'irrigation. Un relevé unique, réalisé à un instant donné du cycle de gestion, ne permettrait probablement pas tellement de capter l'ampleur de la dynamique de cette espèce ni son impact final sur la diversité des parcelles concernées. Un suivi répété dans le temps, à plusieurs moments du cycle de gestion et notamment après irrigation, serait intéressant pour statuer plus précisément sur les conditions qui la favorisent.

D. Discussion des résultats

L'objectif de la discussion est d'interpréter les résultats au regard de la problématique et des hypothèses attendues du mémoire.

D.1. Effet des pratiques de gestion sur la composition et la diversité floristique

Le mode de gestion constitue un facteur majeur de différenciation des communautés végétales. L'AFC à l'échelle des quadrats avec tous les modes de gestion, montre qu'il explique 34,2 % de la variation de la composition floristique. La différenciation est particulièrement marquée pour les modes 3 et 4, qui se distinguent nettement des autres modes. Le pourcentage montre tout de même que bien d'autres facteurs sont à l'origine de l'hétérogénéité.

Les différences de composition floristiques se traduisent par des différences de richesse et diversité. La richesse spécifique varie significativement entre les modes de gestion, avec notamment de faibles valeurs pour les modes 3 et 4. Ce sont les deux seuls modes de gestion du dispositif sans aucune fauche et sans irrigation régulière. Or, les modèles mixtes montrent que la fauche et l'irrigation sont précisément les deux seules pratiques qui augmentent significativement la richesse spécifique lorsqu'elles sont testées isolément. À l'inverse, les modes qui associent fauche et irrigation, qu'elle soit irrégulière (mode 6) ou régulière (mode 8), comptent parmi les plus riches en espèces.

La fauche apparaît comme le principal levier associé positivement à la biodiversité : elle augmente significativement la richesse et la diversité spécifique. Cette relation peut s'expliquer par la limitation de la dominance des espèces les plus compétitives avec une perturbation régulière du couvert, mais aussi par l'export de biomasse qu'elle engendre : en exportant les nutriments prélevés dans le sol sans restitution complète, la fauche répétée tend à appauvrir la fertilité de la parcelle, ce qui favorise l'installation d'espèces adaptées aux milieux pauvres, généralement plus nombreuses et diversifiées, au détriment des espèces compétitrices dominantes en contexte fertile. L'absence de fauche pourrait favoriser une fermeture du milieu et une diminution de la coexistence entre espèces (Humbert, 2018).

L'irrigation en revanche est surtout associée à une augmentation de la production, et son effet sur la richesse disparaît lorsque les conditions abiotiques sont prises en compte. De plus, la diversité répond significativement à la fauche mais pas à l'irrigation. Cette dissociation suggère que l'irrigation, tout en augmentant le nombre d'espèces présentes, ne rééquilibre pas nécessairement leur abondance relative au sein de la communauté. Ceci s'explique peut-être parce qu'elle favorise en parallèle des espèces déjà dominantes comme *Festuca arundinacea*, identifiée précédemment comme largement dominante dans les quadrats à forte valeur fourragère.

Le pâturage, quant à lui, ne présente pas d'effet différencié selon le type d'herbivore. Cette absence d'effet détectable du pâturage doit être interprétée avec prudence car les données disponibles ne renseignent que le type d'animal pâturant (bovin ou équin) et sa présence ou absence, sans information sur la charge animale en UGB, la durée précise de pâturage ou la période de l'année à laquelle il intervient. Ces paramètres sont pourtant susceptibles de moduler fortement l'effet du pâturage sur la végétation, et cette étude n'a pas permis de les documenter faute de temps.

Ces résultats suggèrent que la réponse de la végétation dépend davantage de la combinaison et de l'intensité des pratiques que d'un effet isolé de chaque pratique. La première hypothèse est donc globalement confirmée : les pratiques de gestion participent bien à la structuration des communautés floristiques, mais leur effet reste lié aux caractéristiques propres aux parcelles.

D.2. Relation entre valeur écologique et valeur pastorale

La relation entre richesse spécifique et indice de production corrigée s'avère quadratique et significative, à l'échelle du quadrat comme à l'échelle de la parcelle. Ce résultat met en évidence un compromis non linéaire entre valeur écologique et valeur pastorale. Les faibles niveaux de production sont associés à des communautés peu diversifiées sous l'effet notamment de contraintes environnementales fortes (salinité). À l'inverse, les niveaux de production les plus élevés favorisent la dominance de quelques espèces productives au détriment des espèces moins compétitives. Les situations intermédiaires apparaissent ainsi comme les plus favorables à la coexistence d'un bon potentiel fourrager et d'une richesse relativement élevée.

L'optimum de richesse à l'échelle parcelle (59) est cependant sensiblement plus élevé que celui obtenu à l'échelle du quadrat (45) et que celui de la diversité de Shannon à cette même échelle (47). Cet écart s'explique par la nature différente des deux échelles et des deux indicateurs. À l'échelle du quadrat, la richesse mesure le nombre d'espèces qui coexistent localement sur une surface réduite (5 m²). Or, au-delà d'un certain niveau de production, la dominance de quelques espèces compétitives exclut rapidement les autres. À l'échelle de la parcelle, la richesse cumule les espèces présentes sur l'ensemble des cinq quadrats : une parcelle plus productive, même dominée localement par quelques espèces compétitives, peut conserver une plus grande hétérogénéité spatiale d'un quadrat à l'autre (microtopographie, gradient de salinité, historique de gestion), retardant ainsi l'apparition de la

dominance à l'échelle globale. L'optimum de richesse à l'échelle parcelle reflète donc davantage le renouvellement des espèces entre quadrats (diversité bêta) que leur coexistence locale (diversité alpha). L'indice de Shannon, qui pénalise directement la dominance, reste quant à lui sensible à ce phénomène dès qu'il apparaît localement, ce qui explique que son optimum, à l'échelle parcelle comme à l'échelle quadrat, reste proche de 45-47.

Il n'existe pas de seuil de référence universel permettant de qualifier une valeur de production comme "bonne" dans l'absolu, car celle-ci dépend fortement du type d'usage visé. À titre de comparaison, des valeurs pastorales de l'ordre de 60 à 75 caractérisent des prairies de fauche intensivement gérées, alors que des pâtures et parcours plus extensifs se situent plutôt entre 35 et 48 (Farruggia et al., 2008). Ces valeurs sont en cohérence avec la méthode originale de calcul de la valeur pastorale (Daget & Poissonet, 1972). La fenêtre de compromis identifiée dans notre étude (45-55) se situe donc dans une gamme intermédiaire, cohérente avec la diversité des pratiques observées sur le domaine de la Tour du Valat.

Les résultats floristiques vont dans le même sens : l'espèce *Festuca arundinacea*, de type fonctionnel à forte productivité (Cruz et al., 2010), est associée aux situations les plus productives, tandis que certaines espèces caractéristiques de situations moins productives ou intermédiaires contribuent davantage à la diversité. Maximiser la production ne constitue donc pas nécessairement le meilleur moyen d'optimiser la valeur pastorale et écologique simultanément.

Et cette zone de compromis ne traduit pas un unique mode de gestion, mais plutôt un espace accessible par plusieurs trajectoires de gestion : cinq des huit combinaisons de pratiques y sont représentées. Leur point commun est d'associer un pâturage actif (bovin ou équin) à une irrigation systématique, qu'elle soit irrégulière ou régulière. Aucune parcelle sans pâturage ni irrigation ne se retrouve dans la zone de compromis. Deux stratégies se distinguent donc : d'une part, l'irrigation seule, sans fauche (combinaisons 2 et 5). D'autre part, la combinaison fauche et irrigation (combinaisons 6, 7 et 8), où l'irrigation permet de compenser l'effet négatif de la fauche sur la production. Par ailleurs, la richesse spécifique observée au sein même de cette zone de compromis varie fortement (8 à 22 espèces), ce qui confirme que l'optimum de production intermédiaire ne garantit pas à lui seul une richesse élevée : d'autres facteurs, notamment le mode de gestion précis, modulent ce résultat.

La deuxième hypothèse est ainsi partiellement confirmée sous la forme d'une relation en cloche : les deux fonctions ne sont pas opposées, mais leur coexistence semble favorisée par des niveaux intermédiaires de production.

D.3. Influence des conditions abiotiques

Les conditions abiotiques participent aussi à structurer les communautés végétales, mais de manière plus complexe qu'avec une simple opposition entre milieu contraint et milieu favorable. L'ACP montre que la conductivité et l'altitude évoluent ensemble : les parcelles les plus contraintes (fortement salées, en altitude basse) sont aussi celles où la richesse est la plus faible. Mais une fois les pratiques de gestion ajoutées dans les modèles, seule l'altitude continue d'expliquer la richesse. Et l'effet de la conductivité disparaît. Ce résultat est intéressant dans le sens où altitude et conductivité sont corrélées négativement dans l'étude. C'est ce qu'on retrouve dans les travaux menés en Camargue montrant que la salinité des sols est fortement structurée par la topographie : les zones basses sont davantage exposées à la remontée capillaire et à l'accumulation de sel (Asabere et al., 2026). La carte pédologique du domaine (Figure 4) confirme cette structure : le bloc de parcelles le plus bas en altitude (secteurs C et AV) repose presque entièrement sur des sols de type JAz4, décrits comme présentant à la fois une hydromorphie sur tout le profil et une salure à faible profondeur, tandis que le reste du domaine, plus haut, repose sur des sols SA4 (Debieesse, 2005). Si l'altitude conserve un effet significatif une fois la conductivité contrôlée, il peut être supposé que l'effet de l'altitude pourrait venir de l'engorgement en eau caractéristique des sols JAz4, un problème différent de la salinité mais qui touche les mêmes parcelles.

De plus, l'irrigation agit de deux façons différentes selon ce qui est regardé. Sur la production fourragère, son effet reste fort même quand la conductivité du sol est prise en compte : l'eau profite

directement aux plantes, peu importe la salinité. Mais, sur la richesse son effet disparaît dès que la conductivité est prise en compte : l'irrigation n'augmente pas la richesse en apportant de l'eau, mais en diluant le sel du sol, ce qui rend ensuite le milieu plus accueillant pour davantage d'espèces. Ce mécanisme est cohérent avec le rôle de l'irrigation comme facteur de lessivage des sels en milieu méditerranéen (Stevens et al., 2013) : elle agirait sur la richesse essentiellement en atténuant la contrainte saline, tandis que son effet sur la production relèverait d'un mécanisme plus direct, lié à la disponibilité en eau elle-même.

L'étude de *Paspalum dilatatum* et *distichum* renforce ces interprétations. Ces espèces, totalement absentes des quadrats non irrigués, sont présentes dans 43,3 % des quadrats en irrigation irrégulière et 45,0 % de ceux en irrigation régulière. Les *paspalums* ne survivent pas au-delà de 4 g/l de salinité, et leurs capacités compétitives deviennent médiocres dès 2 g/l (Mesléard, 2024). L'irrigation desserre ainsi la contrainte saline et ne profite pas qu'aux espèces qu'on chercherait à favoriser : elle permet aussi l'installation d'espèces compétitives et envahissantes.

La troisième hypothèse est donc partiellement confirmée : les conditions abiotiques participent bien à la structuration des prairies, mais leur effet ne peut être dissocié des pratiques de gestion, ni réduit à la seule salinité mesurée en surface. La nature pédologique nécessiterait d'être intégrée comme variable explicative à part entière.

D.4. Gestion vs restauration

Les résultats ne visent pas tellement à identifier un mode de gestion unique comme optimal pour l'ensemble des prairies. Ils montrent plutôt que la stratégie dépend de l'état initial des parcelles et des contraintes auxquelles elles sont soumises. Les parcelles des modes 3 et 4 (AV1, AV3, AV4, AV5, AV6, AV7, AV8, AV9) constituent les situations les plus préoccupantes : elles combinent faible richesse, faible diversité et faible production, avec des conditions environnementales plus contraignantes (plus salées). Pour ces parcelles, la simple modification d'une pratique ne garantirait pas une amélioration notable. Une restauration active pourrait s'appuyer sur un travail du sol, avec un semis de graines d'origine locale. Le travail du sol devrait par ailleurs rester limité en profondeur, afin de préserver la structure du sol JA4 déjà en place plutôt que de la détruire au risque de perdre une bonne qualité de sol initial en compatibilité avec le nouveau sol recréé (Boigné, 2017).

À l'inverse, des parcelles comme C9, FN1, FN4, C5, CES8, CES9, FN2, CES4, C6 et CEN3 (parcelles proches de l'optimum du compromis richesse/diversité et indice de production) présentent des niveaux intermédiaires de production associés à une richesse et une diversité élevées, et correspondent donc au compromis le plus intéressant identifié dans cette étude. Leur gestion devrait prioritairement viser à maintenir cet équilibre, plutôt qu'à rechercher une augmentation supplémentaire de la production.

Enfin, des parcelles très productives mais moins diversifiées, comme CEN11, CEN10, CES3, CES1, CES2, CEN6, (situées au-dessus du compromis) pourraient bénéficier d'une adaptation de la fauche pour limiter la dominance des espèces compétitives. La présence de *Paspalum* dans les parcelles fauchées est cependant problématique : contrairement aux autres espèces dominantes, ni la fauche ni le pâturage ne permettent de contrôler son expansion, le piétinement favorisant au contraire sa reproduction végétative (Mesléard, 2024). Seuls un assec estival strict⁹ ou une salinisation du milieu limiteraient son développement. Et ces deux leviers sont difficilement conciliables avec les autres objectifs de gestion du domaine, ce qui fait de l'espèce *Paspalum* un cas à vraiment traiter isolément pour certaines parcelles très impactées (C6, C9, C5, FS4, FN6, CES4, CES8, CES9, FN3 et FN4) plutôt qu'à intégrer dans un ajustement global des pratiques.

Les résultats demandent de réfléchir à une gestion plutôt différenciée qu'à une stratégie uniforme. La restauration devrait être réservée aux situations où les contraintes du milieu sont les plus importantes : les parcelles du secteur des Anciennes Vignes (modes 3 et 4). Pour le reste, l'objectif

⁹ François Mesléard évoque cet assec strict comme une absence d'irrigation maintenue de la fin du printemps à l'arrivée de l'automne (Mesléard, 2023)

serait de conserver les situations déjà équilibrées et d'ajuster la gestion des parcelles déséquilibrées. Ces préconisations sont résumées dans un tableau ainsi que cartographiées afin de les visualiser spatialement.

Catégorie	Parcelles	Caractéristiques	Recommandations
A restaurer	AV1 AV2 AV3 AV4 AV5 AV6 AV7 AV8 AV9	Faible richesse Faible diversité Faible production Conditions environnementales contraignantes	Restauration active à envisager (travail du sol + semis)
A améliorer	FN5 FN6 PF1 PF2 FS4 FN3 FS2 C3	Production en dessous de l'optimum Richesse et diversité modérées	Irrigation plus régulière
A préserver	C9 FN1 FN4 C5 CES8 CES9 FN2 CES4 C6 CEN3	Richesse et diversité élevées Production intermédiaire Proches de l'optimum	Maintenir équilibre actuel des pratiques Interventions ciblées pour le <i>Paspalum</i> (assec)
A ajuster	CEN11, CEN10, CES3, CES1, CES2, CEN6	Faible diversité Production élevée Présence de <i>Paspalum</i> sur certaines irriguées	Adapter la fauche pour limiter la dominance

Tableau 4 – Tableau résumant les différentes préconisations agricoles sur les parcelles d'étude

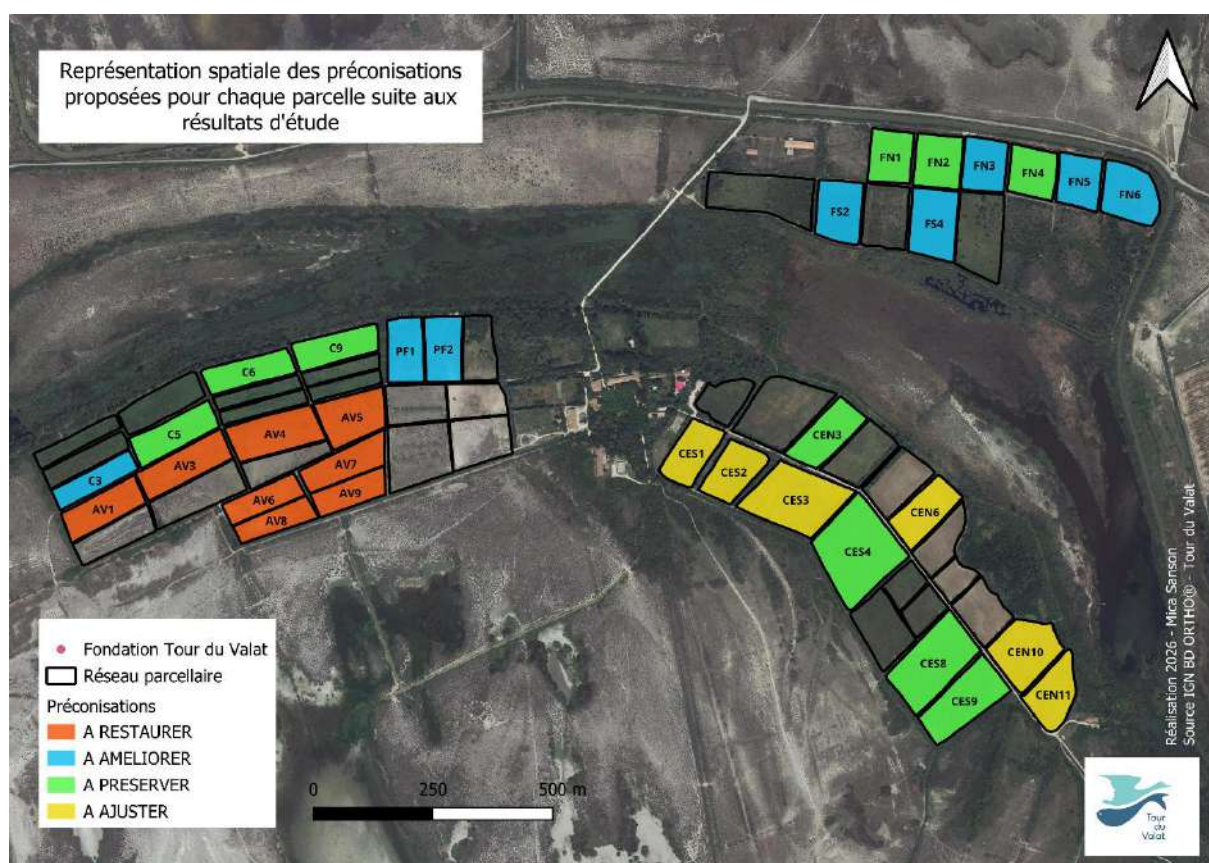


Figure 23 – Représentation spatiale des préconisations proposées pour chaque parcelle suite aux résultats d'étude

Une tension apparaît cependant pour les parcelles à préserver les plus touchées par le *Paspalum* (C9, FN4, C5, CES8, CES9, C6) : les leviers efficaces contre cette espèce (assec estival strict, salinisation) sont incompatibles avec le maintien de l'irrigation qui soutient leur équilibre actuel, et le pâturage lui-même favorise sa germination et son expansion par piétinement. Pour ces parcelles, une intervention ciblée à l'échelle du végétal (arrachage manuel ou mécanique localisé, suivi régulier de

l'évolution du recouvrement) paraît donc préférable à toute modification globale de la gestion, qui risquerait de compromettre le compromis production – diversité déjà atteint.

D.5. Limites de l'étude

D.5.1. Autocorrélation spatiale

Dans les modèles GLMM, la variance associée à l'effet aléatoire "parcelle" est estimée proche de zéro. Mais ce résultat est interprété avec prudence car il peut masquer la structure spatiale que le modèle ne capture pas. Par exemple si des parcelles sont voisines et partagent un même mode de gestion, elles peuvent se ressembler juste parce qu'elles sont proches géographiquement. Et en réalité, sur le domaine, il arrive que plusieurs parcelles d'un même mode de gestion soient côte à côte. Cependant, avec 32 parcelles au total, l'échantillon n'était pas assez conséquent pour caractériser finement les paramètres abiotiques (conductivité, altitude). Cette proximité géographique entre parcelles d'un même mode n'est pas vraiment un choix méthodologique qui aurait pu être évité : elle découle du plan de gestion du domaine déjà posé, qui attribue les pratiques par unité de gestion cohérente, et non au hasard dans l'espace. Il n'était donc pas possible de dissocier totalement l'effet du mode de gestion de celui de la position géographique des parcelles. Pour le filtre gestion, il est possible de dire que des parcelles voisines partageant un même mode de gestion peuvent se ressembler en partie parce qu'elles sont proches, et pas uniquement parce qu'elles sont gérées de la même façon. Mais, pour le filtre abiotique, cet impact se discute plus : la cartographie de la salinité et de la topographie du domaine montre des gammes de valeurs comparables d'une zone à l'autre, sans gradient spatial massif qui viendrait confondre entièrement position géographique et conditions abiotiques. En soit, même si les modes de gestion sont spatialement regroupés, les parcelles étudiées ne semblent pas se distribuer selon un réel gradient abiotique. Donc le dispositif offre malgré tout un cadre abiotique comparable entre les différents modes de gestion.

D.5.2. Autres limites de l'étude

Le faible effectif par mode de gestion constitue une première limite importante. Avec seulement 4 parcelles par mode sur les 32 étudiées, la puissance statistique des comparaisons catégorielles entre modes reste limitée, comme l'illustre l'absence de différence significative détectée à l'échelle parcelle malgré des écarts visuellement marqués entre certains modes. Un effectif plus important par mode aurait permis de trancher plus nettement entre un réel effet du mode de gestion et un simple manque de puissance statistique.

La caractérisation du pâturage reste par ailleurs peu approfondie dans cette étude. Seuls le type d'animal (bovin ou équin) et la présence ou l'absence de pâturage ont été renseignés, sans données sur la charge instantanée (UGB/ha), la durée de présence des animaux, ni la période précise de l'année à laquelle le pâturage intervient. Ces informations sont surtout très variables d'une année à l'autre sur le domaine, ce qui a limité leur intégration à l'analyse. Une caractérisation plus fine du pâturage à l'échelle de l'animal, du comportement alimentaire ou la sélection végétales par les animaux pourrait permettre à l'avenir d'affiner la compréhension du rôle de cette pratique dans les résultats observés.

La méthode FlorealData, à partir de laquelle ont été estimés certains traits fonctionnels des espèces, présente aussi une limite de validité biogéographique : elle a été constituée sur des territoires de Midi-Pyrénées, en zones atlantiques et montagnardes. Certains traits pourraient ainsi être différents en contexte méditerranéen (Theau & Prud'homme, 2021).

Aussi, la saisonnalité de *Paspalum* n'a pas pu être prise en compte dans cette étude. Les relevés floristiques ayant été réalisés à une période donnée de l'année, ils ne rendent compte que d'un

moment instantané du recouvrement de cette espèce, alors qu'elle présente une forte dynamique saisonnière et liée aux pratiques d'irrigation notamment (Mesléard et al., 1993). Le niveau d'impact de *Paspalum* sur certaines parcelles pourrait donc être sous-estimé ou surestimé selon la période exacte du relevé, et un suivi répété au cours de la saison serait nécessaire pour caractériser précisément sa dynamique d'expansion.

Enfin, comme évoqué dans la méthode, la mesure du pH était suggérée comme peu fiable en raison d'un étalonnage plutôt incertain du pH-mètre utilisé. Cette variable doit donc être interprétée avec prudence.

E. Conclusion et perspectives

Ce stage visait à comprendre dans quelle mesure les pratiques de gestion et les conditions abiotiques des prairies de la Tour du Valat expliquent leur hétérogénéité floristique, et comment adapter le pâturage, la fauche et l'irrigation pour concilier valeur pastorale et valeur écologique. Les résultats permettent de répondre aux hypothèses. La première hypothèse est globalement validée : le mode de gestion structure significativement la composition floristique des prairies. La fauche et l'irrigation agissent comme deux leviers complémentaires mais ont des effets opposés : la fauche favorise la richesse et la diversité des espèces au prix d'une baisse de la valeur fourragère. Et l'irrigation, elle, accroît fortement la production sans bénéfice net pour la diversité. La deuxième hypothèse précise le compromis richesse – production : La relation entre richesse spécifique et indice de production se révèle non pas linéaire, mais en forme de cloche. On observe que les milieux les plus contraints ou les milieux les plus productifs ne maximisent pas de manière simultanée les deux fonctions. Le compromis satisfaisant est atteint à des niveaux de production intermédiaires, associant généralement pâturage actif et irrigation. Enfin, les résultats permettent de discuter la troisième hypothèse : les conditions abiotiques participent à la structuration de la végétation, mais leurs effets restent étroitement imbriqués avec ceux des pratiques de gestion, notamment avec l'action de l'irrigation sur le lessivage du sel.

Ces résultats concluent sur la préconisation d'une gestion différenciée plutôt que d'une stratégie uniforme sur l'ensemble du domaine. Les parcelles les plus dégradées, notamment celles du secteur des Anciennes Vignes, cumulent faible richesse, faible diversité et faible production dans un contexte de forte contrainte de salinité. Pour ces parcelles, si le souhait est de les conserver en prairies permanentes productives, une restauration active par un travail du sol et un semis de graines d'origine locale, paraît être plus approprié qu'un simple ajustement des pratiques. Les parcelles déjà proches de l'optimum de compromis entre richesse et production devraient avant tout conserver leurs pratiques actuelles. Enfin, les parcelles très productives mais peu diversifiées peuvent être ajustées avec une fauche pour limiter la dominance des espèces compétitives. Le cas de *Paspalum sp.*, favorisé par l'irrigation et le piétinement, constitue une exception à prendre en compte. La gestion de cette espèce exotique envahissante est difficilement compatible avec les autres objectifs du domaine, elle doit donc être traitée de façon localisée.

Concernant les perspectives de ce travail, plusieurs sont à proposer. Les résultats de ce mémoire reposent sur un échantillonnage ponctuel, réalisé à un instant donné du cycle de gestion annuel. Un suivi pluriannuel, répété à différentes périodes de l'année et notamment avant et après irrigation, permettrait de consolider ces conclusions, de mieux interpréter la dynamique saisonnière de certaines espèces et d'affiner en particulier le suivi de l'expansion de *Paspalum*. Un suivi saisonnier serait aussi plus pertinent puisque le changement climatique va vraisemblablement modifier la

dynamique de croissance de l'herbe en Camargue, avec une reprise végétative probablement différente liées aux périodes de stress hydrique plus marquées et prolongées. Le travail sur la caractérisation du type de sol des prairies pourra être également approfondi, afin de l'intégrer comme variable explicative à part entière. Dix échantillons ont été envoyés au laboratoire de la chambre d'agriculture de l'Aude pour une analyse plus poussée et pourront ainsi permettre une meilleure caractérisation pédologique des parcelles.



Bibliographie

Asabere, S. B., Hielscher, I., Regis, J., Lourenco, M., Boutron, O., and Sauer, D.: Soil salinity and sodicity in the Camargue (Rhône river delta, France) are strongly controlled by elevation, land use, soil depth, EGU General Assembly 2026, Vienna, Austria, 3–8 May 2026, EGU26-20949, 2026 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu26-20949>

Baumont, R., Delaby, L., & Michaud, A. A. (2012). Services fourragers des prairies permanentes : Production d'herbe et valeur alimentaire pour les ruminants. *Fourrages*, 211, np. <https://hal.science/hal-01210368>

Bernard, C., Goudet, C., & Rouveyrol, P. (2025). *Évaluation de l'efficacité de mesures de retard de fauche en sites Natura 2000—Cadre d'analyse.*

Boigné, A. (2019). *Restauration écologique de prairies humides à vocation agricole suite au comblement d'une ballastière en basse vallée de Seine : Incidence du type de sol recréé sur les fonctions pédologiques associées et sur la dynamique de colonisation végétale.*

Brendan **Godoc.** (2021). *Idele.fr.* https://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2F7ee4dd2b-278a-4490-a462-70da75ead88b&cHash=d0f97c0946b2a30777ab2634cf024751

Briand. (2024). *Qu'est-ce qu'une espèce spécialiste ? Et une espèce généraliste ?* <https://www.mnhn.fr/fr/qu-est-ce-qu-une-espece-specialiste>

Brun, F., Lansade, L., & Fleurance, G. (2017). *Le pâturage mixte bovins-équins : De nouvelles données comportementales à la disposition des éleveurs et des détenteurs.* <https://hal.inrae.fr/hal-02622447v1/document>

Cruz, P., Theau, J. P. J. P., Lecloux, E., Jouany, C., & Duru, M. M. (2010). Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes : Une classification multitraits. *Fourrages*, (201), 11. <https://hal.inrae.fr/hal-02667215/document>

Daget P., Poissonet J. (1972). Un procédé d'estimation de la valeur pastorale des pâturages. *Fourrages*, 49, 31-39. <https://afpf-asso.fr/article/un-procede-d-estimation-de-la-valeur-pastorale-des-paturages>

Darnaud, A. (2023, mars 30). La submersion marine : Risque majeur sur le territoire. *SYMADREM.* <https://www.symadrem.fr/actualites/2023/03/30/la-submersion-marine-est-le-risque-littoral-majeur-sur-le-territoire/>

Durand, J.-L. (2020). *Irriguer les prairies : Entre un vrai potentiel agronomique et une ressource en baisse.*
Farruggia, A. A. (2020). *Comparaison d'outils de caractérisation de la flore pour diagnostiquer l'effet des modes de gestion sur les dynamiques de végétation des prairies permanentes.* <https://hal.inrae.fr/hal-02655275v1/document>

Froger, M. (2016). *Outil d'aide à la conception de stratégies d'échantillonnage pour caractériser la composante biotique des agroécosystèmes.* https://www2.dijon.inrae.fr/didactepic/Topaze/res/Outil_echantillonnage.pdf
<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/milieux-agricoles-et-enjeux-environnementaux-en-france-etat-des-connaissances-en-2025>

Humbert, J.-Y. (2018, septembre 1). Des régimes de fauche alternatifs pour favoriser la biodiversité des prairies. *Agrarforschung Schweiz.* <https://www.agrarforschungschweiz.ch/fr/2018/09/des-regimes-de-fauche-alternatifs-pour-favoriser-la-biodiversite-des-prairies/>

J.-P. Theau & F. Prud'homme. (2021). *Feuilles allindice floreal*. <https://www.cahiersagricultures.fr/articles/cagri/pdf/2021/01/cagri210052.pdf>

J-P. Theau, P. Cruz, C. Jouany, D. Fallour, M. Duru, & E. Lecloux. (2010). *Une méthode simplifiée de relevé botanique pour une caractérisation agronomique des prairies permanentes*. 8.

Julien Jean-Luc, Bourrié Guilhem, Bruand Ary, & Feller Christian. (2022). *PH du sol*. https://mots-agronomie.inrae.fr/index.php/PH_du_sol

Leïla Debiesse. (2005). *Quelles nouvelles orientations pour les friches post-culturelles du Domaine de la Tour du Valat ?* IUP.

Mathevet R (2004) Camargue incertaine : sciences, usages et natures. Buchet-Chastel Éditions, Paris.

Mauchamp, L., Gillet, F., Mouly, A., & Badot, P.-M. (2012). *III. Les fonctions écologiques de la biodiversité*. In *Les prairies : biodiversité et services systémiques*. Besançon : Presses universitaires de Franche-Comté. <https://doi.org/10.4000/books.pufc.12912>

Mesléard François. (2024, février 22). *Eco-grazing and vegetation restoration in Mediterranean wetlands* / MedWet. <https://medwet.org/publications/eco-grazing-and-vegetation-restoration-in-mediterranean-wetlands/>

Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la forêt. (2015). *CAP sur la PAC 2015-2020, les prairies permanentes*. https://agriculture.gouv.fr/sites/default/files/1501-pac-fiche-prairies_permanentes_cle0ba769_0.pdf

Montoroi J.-P. (2018). *Salinisation des sols et gestion des sols salés*. In : Valentin C. (dir.), *Les sols au cœur de la zone critique 5 : dégradation et réhabilitation*. Londres, ISTE Editions, p. 112-139.

Noémie Nojaroff & Damien Cohez (2026). *Plandegestion_20242033_RNR_TourduValat*.

OFB. (2026). *Les prairies, une question d'équilibre* / Office français de la biodiversité. <https://ofb.gouv.fr/les-prairies-une-question-equilibre>

Orth, D., Balay, C., Bonafos, A., Deleglise, C., & Loiseau, P. (2008). Proposition d'une démarche simple pour évaluer la diversité floristique d'une prairie permanente. *Fourrages*, 194, 233-252.

Parc naturel régional de Camargue, Tour du Valat, Société nationale de protection de la nature, & CPIE Rhône Pays d'Arles. (2022). *Plan de gestion des Étangs et Marais des Salins de Camargue 2023–2032. Volet 1 : État des lieux – diagnostic*. Rapport pour le Conservatoire du littoral.

Perrino E.V., Musarella C.M., Magazzini P. 2021. Management of grazing Italian river buffalo to preserve habitats defined by Directive 92/43/EEC in a protected wetland area on the Mediterranean coast: Palude Frattarolo, Apulia, Italy. *Euro-Mediterr J Environ Integr* 6:32

Picon B (1978) L'espace et le temps en Camargue. Éditions Actes Sud.

Plantureux, S., Carrère, P., & Pottier, É. (2012). Concilier les services rendus par les prairies pour répondre aux enjeux et relever les défis. *Journées Professionnelles AFPF 2012 : Prairies Permanentes : des nouveaux atouts pour demain, Prairies Permanentes : des nouveaux atouts pour demain*, 211, 6 p. <https://hal.inrae.fr/hal-02744814>

Prud'Homme, F., & Theau, J. P. (2017). *La phytosociologie au service de l'agroécologie : Exemple des « prairies humides » de Midi Pyrénées*. 12.

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria; 2026. Available from: <https://www.R-project.org/>

Rodier, R., Boutron, O., Béchet, A., & Therond, O. (2025). Interdependencies among hydro-saline dynamics, economic activities, ecological processes, and biodiversity in a deltaic social-ecological system : Insights from the Rhône delta (southern France). *Ecology and Society*, 30(3). <https://doi.org/10.5751/ES-16122-300311>

Scopela. (2018). *Paturajustefichetechnique_2018_pratiquesfauche*. <https://www.paturajuste.fr/parlons-technique/ressource/ressources-generiques/items/choisir-ses-pratiques-de-fauche>

SDES. (2026). *Milieux agricoles et enjeux environnementaux en France – État des connaissances en 2025*. SDES | Statistique publique de l'énergie, des transports, du logement et de l'environnement.

Stevens, R. M., Pitt, T. R., & Dyson, C. (2013). Changes in vineyard floor management reduce the Na⁺ and Cl⁻ concentrations in wine grapes grown with saline supplementary drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 129, 130-137. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.009>

Tison J.-M., de Foucault B. (coords.), Société Botanique de France (2014). *Flora Gallica : Flore de France*. Éditions Biotopie, Mèze, 1196 p.

Tison J.-M., Jauzein P., Michaud H. (2014). *Flore de la France méditerranéenne continentale*. Naturalia Publications, 2079 p.

Tothill J.C., Hargreaves J.N.G., Jones R.M., McDonald C.K. (1992). *BOTANAL — A comprehensive sampling and computing procedure for estimating pasture yield and composition. 1. Field sampling*. Tropical Agronomy Technical Memorandum, 78, CSIRO, Brisbane.

Tour du Valat. (2026). *Nos domaines – Tour du Valat*. <https://tourduvalat.org/fondation-tour-du-valat/le-domaine/>

Willm, L., Yavercovski, N., Mishler, L., Mesléard, F., Baldini, G., & Girard, C. (2017). *Refus de pâturage dans les parcours de Camargue*. https://tourduvalat.org/wp-content/uploads/2017/11/guide_sciences-et-gestion-paturage_web.pdf

Table des figures

Figure 1 - Localisation de la Tour du Valat et présentation des différents secteurs de la Camargue (Cohez, 2026)	7
Figure 2 - Réseaux de canaux de drainage et d'irrigation en Camargue (Cohez, 2026)	9
Figure 3 - Représentation spatiale des parcelles d'études du domaine @Mica Sanson	11
Figure 4 - Représentation spatiale de la nature pédologique des parcelles d'étude @Mica Sanson	12
Figure 5 - Représentation spatiale de la topographie et de la conductivité mesurée sur les parcelles d'étude @Mica Sanson	13
Figure 6 - Schéma présentant l'évolution de la réserve énergétique et de l'intensité de croissance des plantes en contexte de pâturage (Cadars & Greil, 2022)	16
Figure 7 - Graphiques présentant la diversité de fonctionnement des prairies de fauche en fonction des espèces dominantes. On observe l'accumulation du fourrage dans la parcelle et l'évolution de sa composition biochimique (gradient de couleurs) au cours du printemps et de l'été : début de printemps (dP), plein printemps (pP), fin de printemps (fP), été (E). (Scopela, 2018)	18
Figure 8 - Représentation spatiale du système d'irrigation et de drainage des parcelles d'études @Mica Sanson	20
Figure 9 - Représentation spatiale des parcelles du domaine colorées par combinaison de modes de gestion. Les parcelles étudiées sont entourées en blanc. @Mica Sanson	23
Figure 10 - Richesse spécifique obtenue par le protocole des 5 quadrats en fonction de la richesse spécifique obtenue par le relevé phytosociologique de 25 m ² . La droite pointillée représente la relation x=y (richesse identique entre les deux protocoles), la droite pleine (avec son intervalle de confiance) la régression observée. Les deux richesses sont fortement et significativement corrélées (Spearman, rho = 0,654, p < 0,001)	30
Figure 11 - Projection des quadrats sur le premier plan factoriel de l'analyse factorielle des correspondances (AFC), réalisée à partir des données du relevé floristique complet, avec les abondances transformées en classes de Braun-Blanquet. Les ellipses représentent l'intervalle de confiance à 95 % autour du centroïde de chaque mode de gestion. La structuration de la composition floristique selon le mode de gestion est significative (PERMANOVA sur distance de Bray-Curtis, F = 11,15, p = 0,001), le mode de gestion expliquant 34,2 % de la variance de composition (R ² = 0,342). La dispersion multivariée ne diffère pas significativement entre modes de gestion (test d'homogénéité de la dispersion, F = 1,95, p = 0,068).	32
Figure 12 - Projection des quadrats sur le premier plan factoriel de l'AFC réalisée sur les données du relevé floristique complet, abondances transformées en classes de Braun-Blanquet, après exclusion des modes 3 et 4. La structuration de la composition floristique selon le mode de gestion reste significative (PERMANOVA sur distance de Bray-Curtis, F = 3,39, p = 0,001), le mode de gestion expliquant désormais 12,9 % de la variance de composition (R ² = 0,129). La dispersion multivariée ne diffère pas significativement entre modes de gestion (test d'homogénéité de la dispersion, F = 2,22, p = 0,062), ce qui valide l'interprétation du test PERMANOVA.	33
Figure 13 - Richesse spécifique par quadrat selon le mode de gestion. Les points représentent les quadrats individuels ; les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de modes significativement différents (test post-hoc de Dunn). La richesse spécifique diffère significativement selon le mode de gestion (test de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 58,81$, ddl = 7, p < 0,001).	33
Figure 14 - Indice de production corrigé par quadrat selon le mode de gestion. Les points représentent les quadrats individuels, les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de modes significativement différents (test post-hoc de Dunn). L'indice de production corrigé diffère significativement selon le mode de gestion (test de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 96,95$, ddl = 7, p < 0,001).	34
Figure 15 - Analyse en composantes principales (ACP). À gauche, cercle des corrélations des variables sur le premier plan factoriel. À droite, projection des quadrats sur ce même plan, colorés par mode de gestion, avec ellipses de confiance à 95 %. La structuration des quadrats selon le mode de gestion est significative (PERMANOVA, F = 11,66, p = 0,001), le mode de gestion expliquant 34,9 % de la variance (R ² = 0,349). La dispersion multivariée ne diffère pas significativement entre modes de gestion (test d'homogénéité de la dispersion, F = 0,78, p = 0,599), ce qui valide l'interprétation du test PERMANOVA.	35
Figure 16 - Analyse en composantes principales (ACP) après exclusion des modes 3 et 4. À gauche, cercle des corrélations des variables sur le premier plan factoriel. À droite, projection des quadrats sur ce même plan, colorés par mode de gestion, avec ellipses de confiance à 95 %. La structuration des quadrats selon le mode de gestion reste significative (PERMANOVA, F = 4,43, p = 0,001), le mode de gestion expliquant désormais 16,3 % de la variance (R ² = 0,163). La dispersion multivariée ne diffère pas significativement entre modes de gestion (test d'homogénéité de la dispersion, F = 1,29, p = 0,268), ce qui valide l'interprétation du test PERMANOVA.	35
Figure 17 - Richesse spécifique par quadrat en fonction de l'indice de production corrigé. La courbe représente l'ajustement d'un modèle de régression quadratique (bande = intervalle de confiance à 95 %). Le modèle	

quadratique est globalement significatif ($F(2,157) = 19,11$, $p < 0,001$), avec un terme linéaire et un terme quadratique tous deux significatifs ($p < 0,001$) et un R^2 de 0,196 (R^2 ajusté = 0,186) 36

Figure 18 - Abondance de *Paspalum* (*dilatatum* et *distichum* réunis, recouvrement en %) par quadrat selon le mode de gestion. Les points représentent les quadrats individuels ; les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de modes significativement différents (test post-hoc de Dunn). L'abondance de *Paspalum* diffère significativement selon le mode de gestion (test de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 38,21$, ddl = 7, $p < 0,001$) 38

Figure 19 - Pourcentage de quadrats contenant *Paspalum* selon chaque pratique de gestion prise séparément (fauche, irrigation, pâturage), avec intervalle de confiance à 95 % et nombre de quadrats concernés (n) indiqué pour chaque modalité. Les lettres au-dessus des barres indiquent les modalités significativement différentes au sein de chaque pratique (test de comparaison des proportions par paires). 39

Table des tableaux

Tableau 1 - Tableau référençant les parcelles concernées par combinaison de modes de gestion, les parcelles en gras sont celles qui ont été sélectionnées après échantillonnage aléatoire stratifié. Les parcelles « NV » ne sont pas sélectionnées car finalement non incluses dans les prairies. 22

Tableau 2 - Tableau présentant les variables explicatives et réponse de l'étude des parcelles 28

Tableau 3 - Synthèse des effets des trois pratiques de gestion sur les trois indicateurs de qualité floristique et fourragère, testés par GLMM (effet aléatoire "parcelle") à l'échelle du quadrat. Les flèches indiquent le sens de l'effet, "Ns" signifie « Non-significativité », et l'astérisque indique une significativité de la p-value ($p < 0,05$). 37

Table des matières

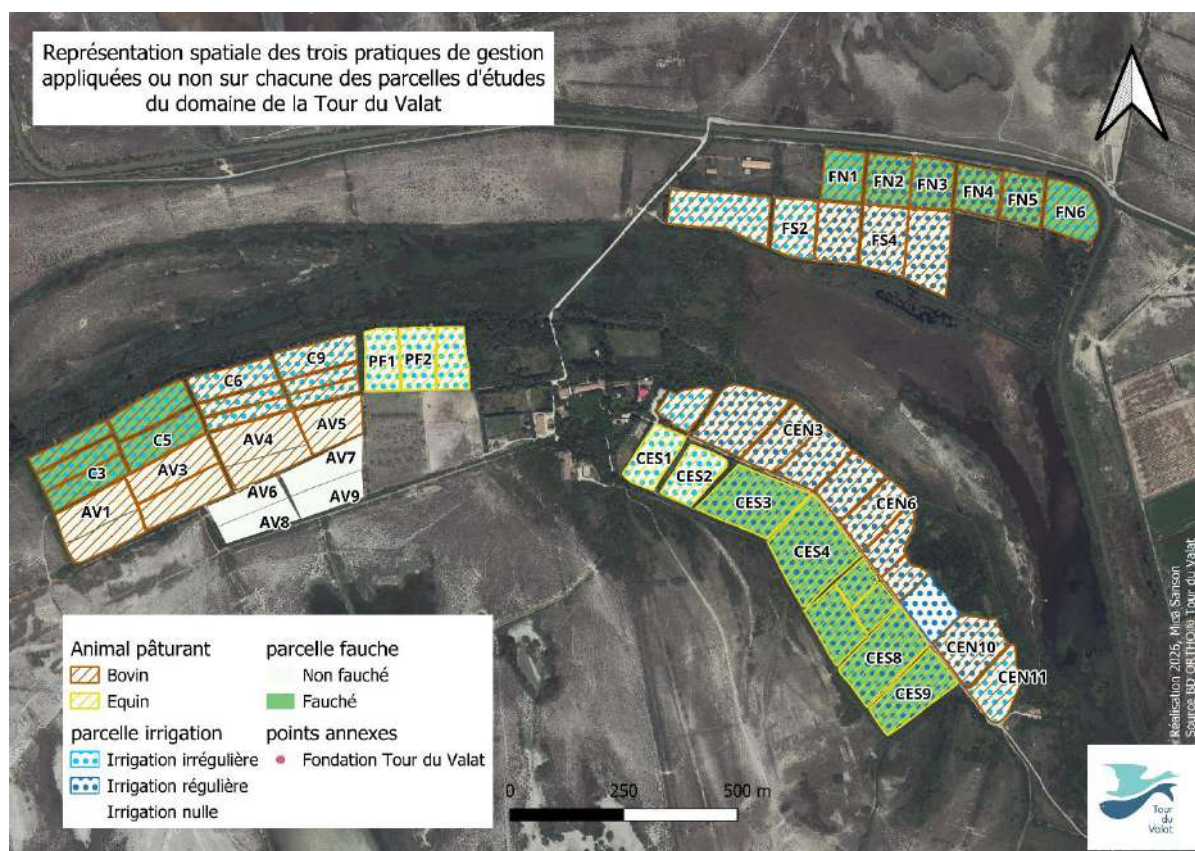
Résumé.....	1
Abstract	1
Remerciements	2
Sommaire	3
Lexique	3
Sigles et acronymes.....	4
Introduction	5
A. Présentation du territoire d'étude.....	7
A.1. Contexte territorial du sujet de recherche	7
A.1.1. Situation géographique	7
A.1.2. Climat méditerranéen provençal et caractéristiques abiotiques	7
A.1.3. Caractéristiques biotiques	8
A.1.4. La Camargue, entre naturel et artificiel.....	8
A.2. Présentation de la Fondation Tour du Valat	9
A.3. Description des prairies du Domaine de la Tour du Valat	10
A.3.1. Les prairies en Camargue	10
A.3.2. Présentation des parcelles d'étude	10
A.3.3. Facteurs abiotiques des parcelles d'études	11
A.4. Historique et pratiques actuelles de gestion des prairies du domaine de la Tour du Valat	13
A.4.1. Historique de gestion	13
A.4.2. Pratiques actuelles – le pâturage	14
A.4.2.1. Définitions du pastoralisme et du pâturage.....	14

A.4.2.2. Caractéristiques majeures du pâturage	14
A.4.2.3. Cheptels de la Tour du Valat.....	15
A.4.2.4. Réaction des plantes au pâturage	16
A.4.3. Pratiques actuelles – la fauche	17
A.4.3.1. Définition et rôle de la fauche.....	17
A.4.3.2. Calendrier de fauche et efficacité	17
A.4.3.3. Stratégie de fauche de la Tour du Valat.....	18
A.4.4. Pratiques actuelles – Irrigation	18
A.4.4.1. Définition et rôle de régulateur climatique.....	18
A.4.4.2. Influences sur la production fourragère et gestion croisée eau-pâturage	18
A.4.4.3. Effets sur la salinité du sol.....	19
A.4.4.4. Stratégie d’irrigation à la Tour du Valat.....	19
A.5. Présentation des deux indicateurs d’étude : Valeur écologique et valeur pastorale	20
A.5.1. Valeur écologique.....	20
A.5.2. Valeur pastorale.....	21
B. Matériels et méthodologie	22
B.1. Echantillonnage des prises de mesure	22
B.2. Relevés floristiques et construction de l’indicateur valeur pastorale.....	23
B.2.1. Relevés floristiques pour l’analyse de la valeur pastorale	23
B.2.2. Construction de l’indicateur valeur pastorale	24
B.3. Relevés floristiques et construction de l’indicateur valeur écologique	26
B.3.1. Relevés floristiques pour l’analyse de la valeur écologique	26
B.3.2. Construction de l’indicateur valeur écologique	26
B.4. Analyses de sol : pH et salinité	27
B.5. Variables d’étude et bilan du protocole	28
B.3. Méthodes d’analyse	28
B.3.1. Analyse exploratoire de la composition floristique	28
B.3.2. Descripteurs généraux : richesse et diversité	29
B.3.3. Structuration par les facteurs abiotiques : ACP	29
B.3.4. Modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM).....	29
C. Présentation des résultats	29
C.1. Validation du protocole d’échantillonnage.....	30
C.2. Caractéristiques générales des résultats	30
C.2.1. Effectifs préliminaires	30
C.2.2. Répartition des familles et Types Fonctionnels	31
C.3. Analyses statistiques des résultats	32
C.3.1. Etude exploratoire de la composition floristique	32
C.3.2. Etude de la richesse et de la diversité	33
C.3.3. Etude de l’Indice de Production corrigé	34
C.3.4. Structuration des descripteurs par rapport aux autres variables	34

C.3.5. Un compromis entre richesse spécifique et valeur pastorale ?	36
C.3.6. Effet des pratiques de gestion sur les indicateurs (modèles mixtes GLMM)	37
C.3.7. Le cas particulier de Paspalum	38
D. Discussion des résultats	39
D.1. Effet des pratiques de gestion sur la composition et la diversité floristique	39
D.2. Relation entre valeur écologique et valeur pastorale	40
D.3. Influence des conditions abiotiques	41
D.4. Gestion vs restauration	42
D.5. Limites de l'étude	44
D.5.1. Autocorrélation spatiale	44
D.5.2. Autres limites de l'étude	44
E. Conclusion et perspectives	45
Bibliographie	47
Table des figures	50
Table des tableaux	51
Table des matières	51
Annexes	54

Annexes

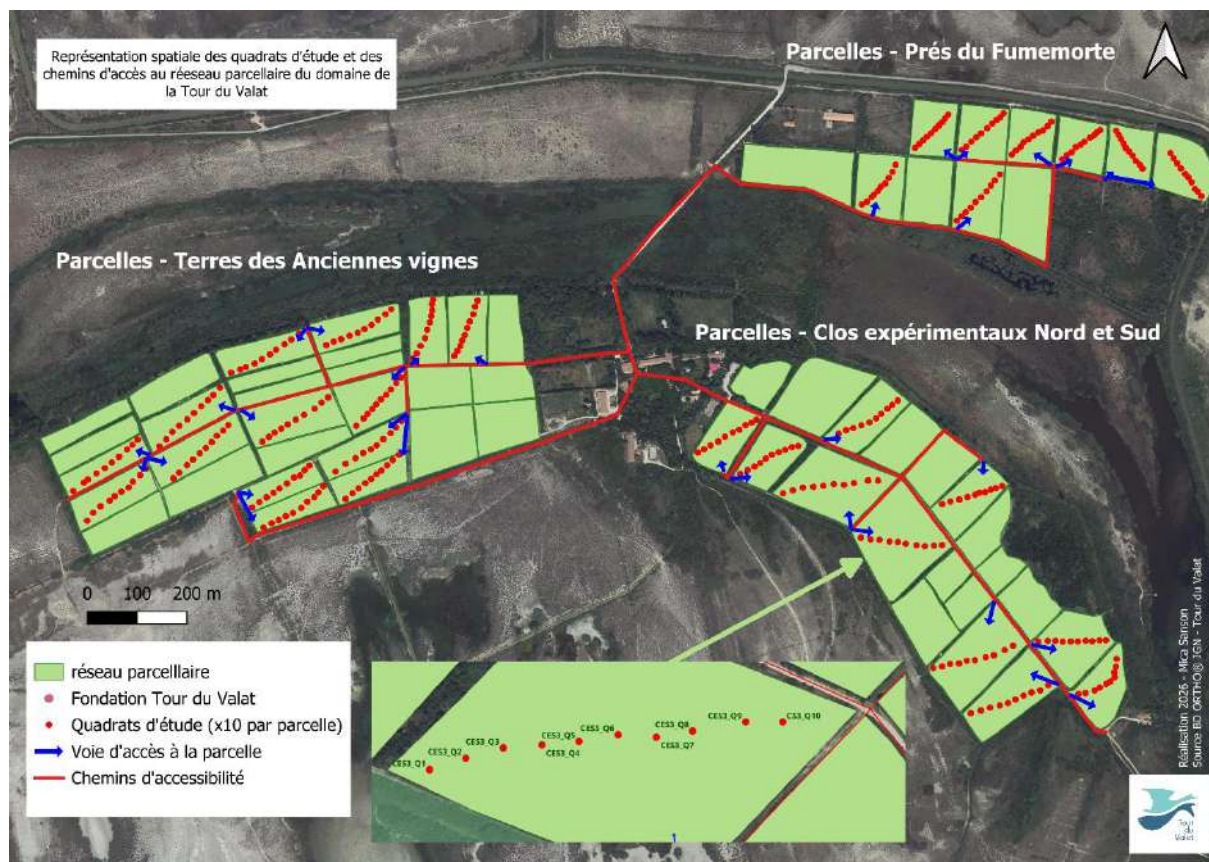
Annexe 1 Carte bilan des différentes pratiques de gestion appliquées aux parcelles du domaine



Annexe 2 - Tableau Croisé Dynamique permettant d'identifier les combinaisons existantes et les parcelles correspondantes

Fauche	Animal pâturant	Irrigation nulle	Irrigation irrégulière	Irrigation régulière
Oui	Bovin		FN1 FN6 C1 C2 C3 C4 C5	FN2 FN3 FN4 FN5
	Equin			CES3 CES4 CES5 CES6 CES7 CES8 CES9
	Nul			
Non	Bovin	AV1 AV2 AV3 AV3b AV4 AV4b AV5	C6 C7 C8 C9 C10 C11 FS1 FS2 CEN11	CEN1 CEN2 CEN3 CEN4 CEN5 CEN6 CEN7 CEN8 CEN9 CEN10 FS3 FS4 FS5
	Equin		CES1 CES2 PF1 PF2 PF3	
	Nul	AV6 AV7 AV8 AV9		

Annexe 3 - Carte des quadrats d'étude et des chemins d'accès aux parcelles



Annexe 4 - Tableau de correspondances des Types Fonctionnels de Plante pour les 21 espèces non présentes dans la base de données FlorealData

Début floraison	Classe (JP Theau)
Avant mai	1
Mai	2
Juin	3

Hauteur	Classe (JP Theau)
<4dm	B
4 à 8 ou 9 dm	M
>9dm	H

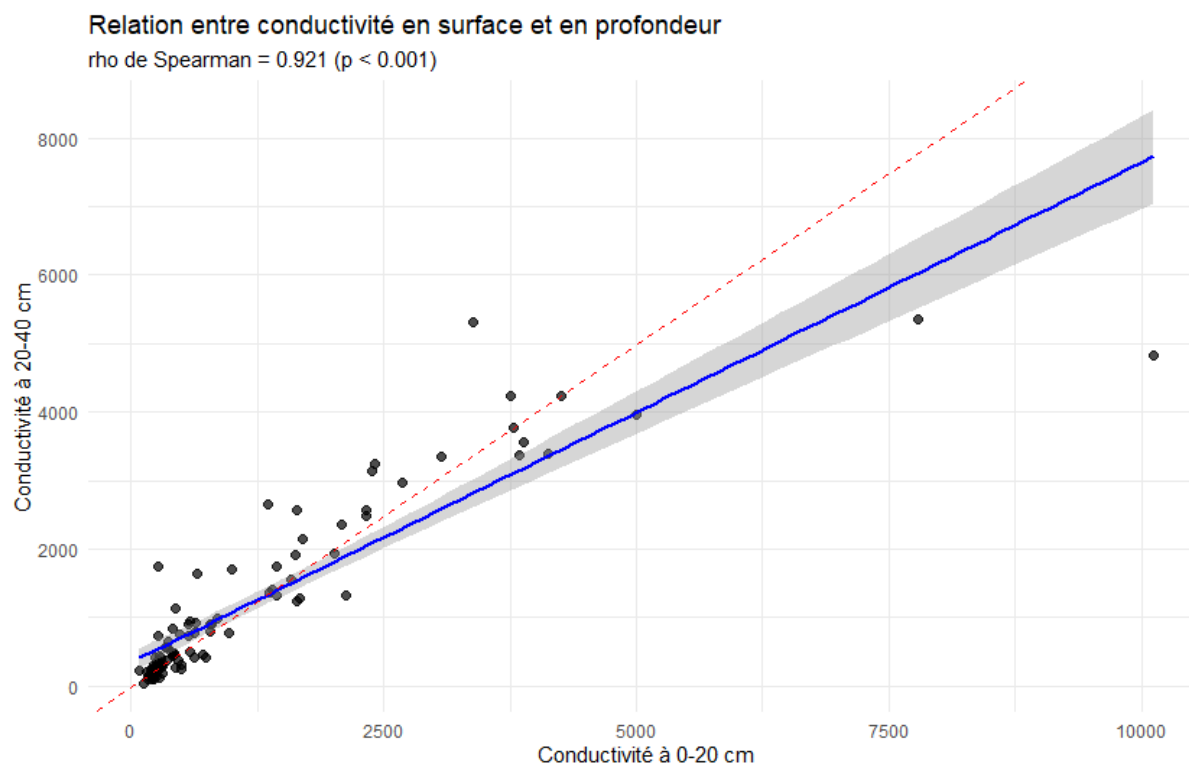
Espèce	Famille fonctionnelle	Taille	Lettre taille	Phénologie	Précocité	TFP
<i>Tripolium pannonicum</i>	Asteracees	1,5-10dm	M	VII-X	3	M3
<i>Trifolium resupinatum</i>	Fabacees	0,5-6dm	B	IV-VI	1	LB1
<i>Trifolium maritimum</i>	Fabacees	1-7dm	M	IV-X	1	LM1
<i>Symphiotrichum squamatum</i>	Asteracees	6-18dm	H	VIII-X	3	H3
<i>Suaeda vera</i>	Amaranthacées	5-10dm	M	V-X	2	M2
<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Amaranthacées	3-10dm	M	VIII-IX	3	M3
<i>Populus alba</i>	Salicacées	100-300dm	H	II-IV	1	H1
<i>Plantago coronopus</i>	Plantaginacées	0,5-4dm	B	IV-X	1	B1
<i>Melilotus parviflorus</i>	Fabacees	1-4dm	B	III-VII	1	LB1
<i>Lotus tenuis</i>	Fabacees	1-5dm	B	V-XI	2	LB2
<i>Lotus dorycnium</i>	Fabacees	1-6dm	B	IV-VI	1	LB1
<i>Limonium vulgare</i>	Plumbaginacées	1,5-6dm	B	VII-IX	3	B3
<i>Juncus maritimus</i>	Joncacées	3-10dm	M	VII-VIII	3	JuM3
<i>Juncus gerardii</i>	Joncacées	1-6dm	B	VI-IX	3	JuB3
<i>Juncus acutus</i>	Joncacées	3-20dm	H	V	2	JuH2
<i>Halimione portulacoides</i>	Amaranthacées	3-9dm	M	VII-X	3	M3
<i>Polypogon monspeliensis</i>	Graminées	1-8dm	M	IV-VI	1	M1
<i>Phragmites australis</i>	Graminées	8-80dm	H	VII-XI	3	H3
<i>Paspalum distichum</i>	Graminées	0,5-3dm	B	VII-X	3	B3
<i>Paspalum dilatatum</i>	Graminées	3-10dm	M	VII-X	3	M3
<i>Hainardia cylindrica</i>	Graminées	0,5-2dm	B	V-VI	2	B2

Annexe 5 - Tableau de correspondance des 43 TFP de FlorealData avec les différents indices

Types végétation	TFP	IndProd	IndPrec	IndSou	IndRef	Tempflo
Graminées	A	100	oui			900
Graminées	B	100	oui			1200
Graminées	bb	60		oui		1600
Graminées	C	30	oui	oui		1300
Graminées	D	30			oui	1800
Graminées	Ec	100	oui			800
Graminées	Es	30	oui			800
Légumineuses	LB1	30	oui	oui		1000
Légumineuses	LB2	30		oui		1200
Légumineuses	LB3	30		oui		1300
Légumineuses	LM1	60	oui	oui		1000
Légumineuses	LM2	60		oui		1200
Légumineuses	LM3	60		oui		1300
Légumineuses	LII1	100	oui	oui		1000
Légumineuses	LII2	100		oui		1200
Légumineuses	LII3	100		oui		1300
Cypéracées	CyB1	30	oui	oui		1000
Cypéracées	CyB2	30		oui		1200
Cypéracées	CyB3	30		oui		1300
Cypéracées	CyM1	60	oui		oui	1000
Cypéracées	CyM2	60			oui	1200
Cypéracées	CyM3	60			oui	1300
Cypéracées	CyII1	100	oui		oui	1000
Cypéracées	CyII2	100			oui	1200
Cypéracées	CyII3	100			oui	1300
Juncacées	JuB1	30	oui	oui		1000
Juncacées	JuB2	30		oui		1200
Juncacées	JuB3	30		oui		1300
Juncacées	JuM1	60	oui		oui	1000
Juncacées	JuM2	60			oui	1200
Juncacées	JuM3	60			oui	1300
Juncacées	JuII1	100	oui		oui	1000
Juncacées	JuII2	100			oui	1200
Juncacées	JuII3	100			oui	1300
Autres	B1	30	oui			1000
Autres	B2	30		oui		1200
Autres	B3	30		oui		1300
Autres	M1	60	oui			1000
Autres	M2	60		oui		1200
Autres	M3	60		oui		1300
Autres	II1	100	oui		oui	1000
Autres	II2	100			oui	1200
Autres	II3	100			oui	1300

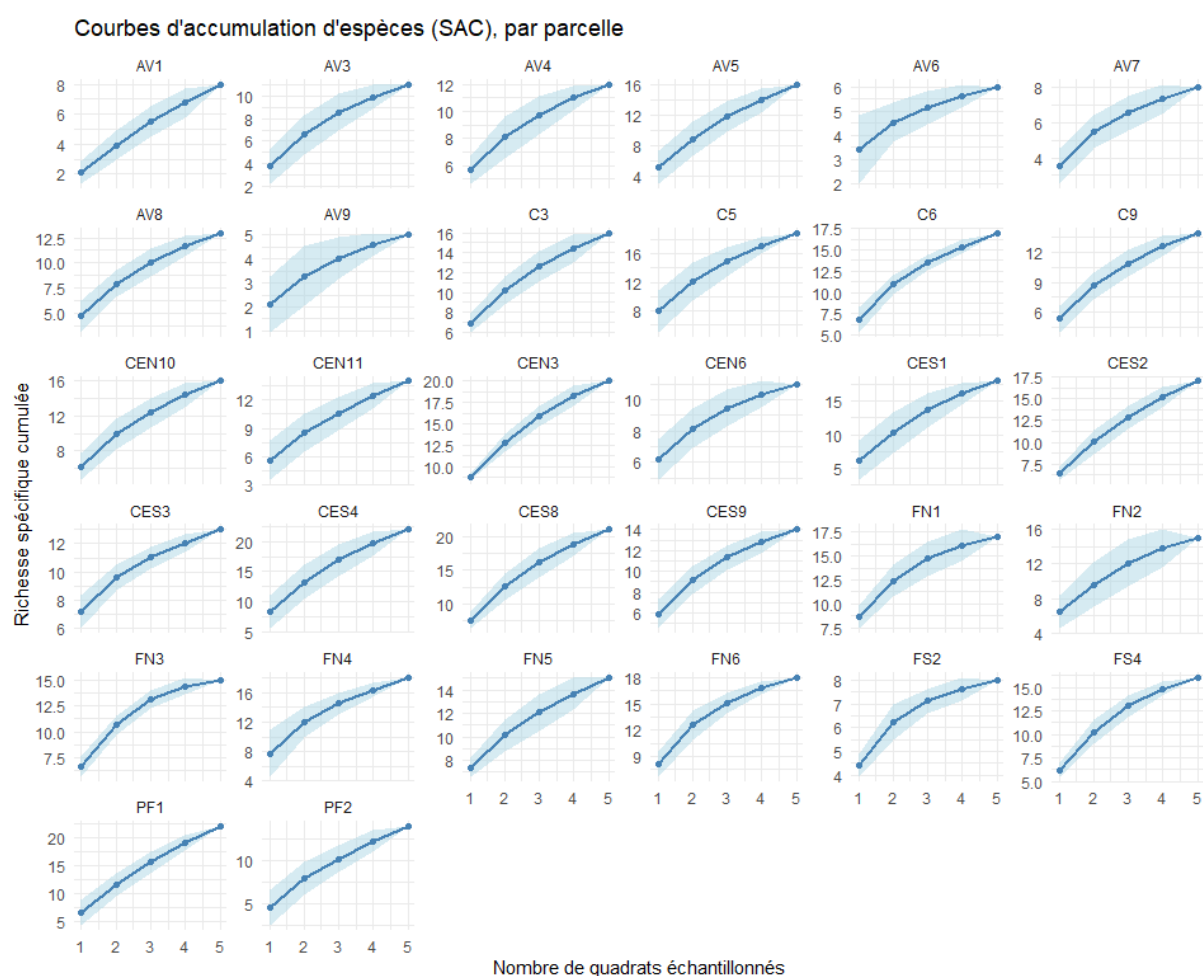
Tableau : Liste des 43 types fonctionnels de plantes par types de végétation et indicateurs retenus pour le calcul des indices agronomiques issu de la méthode FlorealIndices de Jean-Pierre Theau et François Prud'Homme (J.-P. Theau & F. Prud'homme, 2021)

Annexe 6 - Graphique présentant la corrélation entre les deux mesures de conductivité sur 2 profondeurs : 0-20 et 20-40cm



Relation entre la conductivité du sol mesurée à 0-20 cm et à 20-40 cm, par quadrat. La droite pointillée rouge représente la relation $x=y$ (conductivité identique aux deux profondeurs), la droite pleine bleue la régression observée. Les deux mesures sont très fortement et significativement corrélées (Spearman, $\rho = 0,921$, $p < 0,001$), ce qui justifie de ne retenir que la profondeur 20-40 cm comme variable explicative dans les analyses

Annexe 7 - Courbes d'Accumulation d'espèces par parcelle



Courbes d'accumulation des espèces (SAC), construites séparément pour chacune des 32 parcelles à partir de leurs 5 quadrats respectifs. La bande bleue représente l'intervalle de confiance associé à chaque courbe. Aucune parcelle n'atteint de plateau strict au cinquième quadrat, la pente restant plus marquée pour les parcelles les plus riches que pour les parcelles les plus pauvres.

Annexe 8 - Tableau présentant les 87 espèces recensées

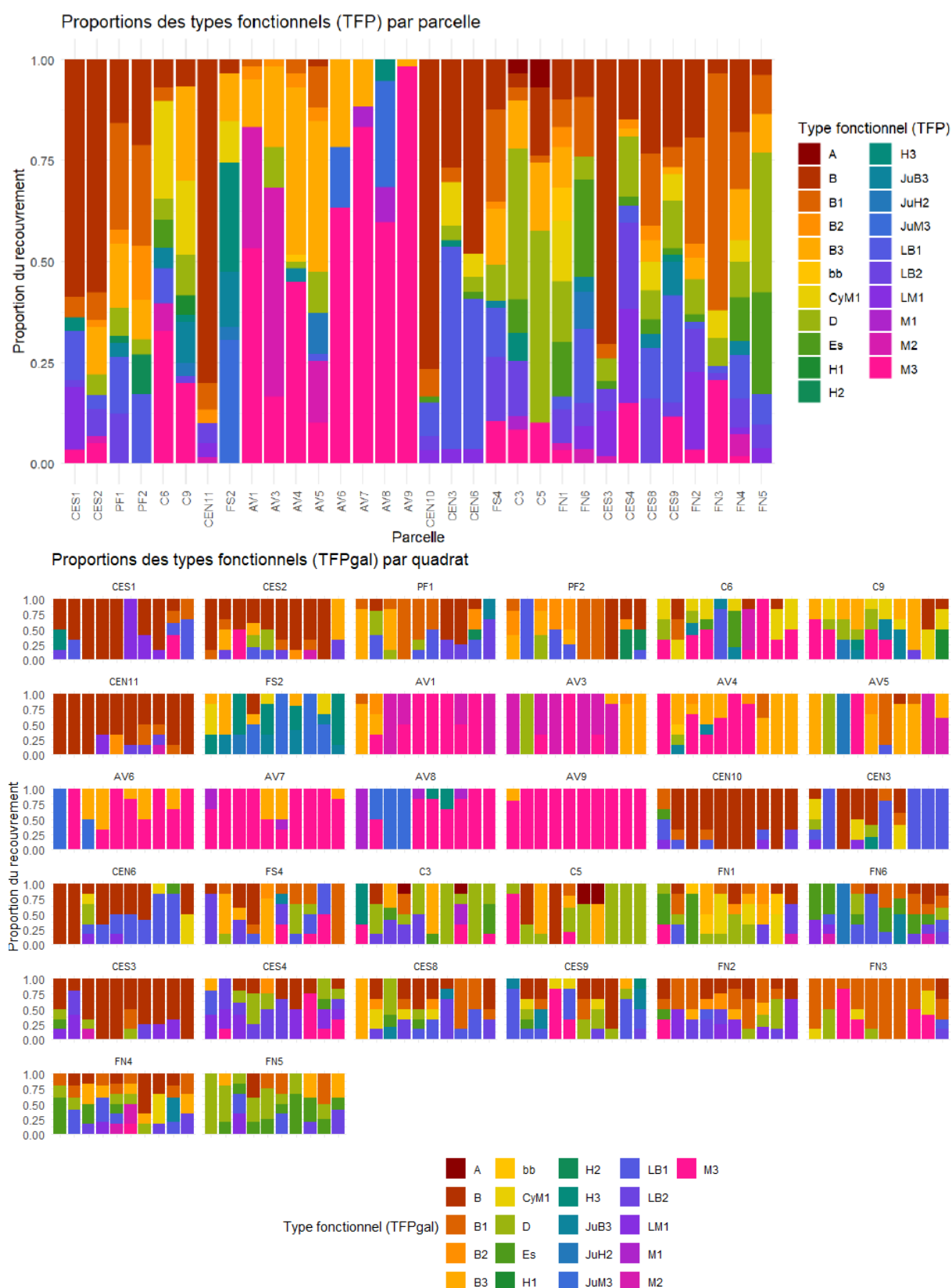
Espèces recensées lors des relevés (tous confondus)	
<i>Agrostis stolonifera</i>	<i>Lotus tenuis</i>
<i>Alopecurus bulbosus</i>	<i>Lysimachia arvensis</i>
<i>Anagallis arvensis</i>	<i>Medicago polymorpha</i>
<i>Anisantha sterilis</i>	<i>Medicago sp.</i>
<i>Anthriscus caucalis</i>	<i>Melilotus parviflorus</i>
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	<i>Oenanthe sp.</i>
<i>Atriplex patula</i>	<i>Parapholis incurva</i>
<i>Bellis annua</i>	<i>Parapholis filiformis</i>
<i>Bromus hordeaceus</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>
<i>Carex cuprina</i>	<i>Paspalum distichum</i>
<i>Carex divisa</i>	<i>Phleum pratense</i>
<i>Centaureum tenuiflorum</i>	<i>Phragmites australis</i>
<i>Convolvulus arvensis</i>	<i>Picris hieracioides</i>
<i>Cornus sp.</i>	<i>Plantago coronopus</i>
<i>Cuscuta campestris</i>	<i>Plantago crassifolia</i>
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Plantago lanceolata</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Plantago major</i>
<i>Aeluropus littoralis</i>	<i>Poa pratensis</i>
<i>Eleocharis palustris</i>	<i>Poa trivialis</i>
<i>Elytrigia repens</i>	<i>Polypogon monspeliensis</i>
<i>Festuca arundinacea</i>	<i>Populus alba</i>
<i>Festuca rubra</i>	<i>Potentilla reptans</i>
<i>Ficaria verna</i>	<i>Ranunculus sardous</i>
<i>Galium palustris</i>	<i>Rubus sp.</i>
<i>Galium verum</i>	<i>Rumex crispus</i>
<i>Geranium dissectum</i>	<i>Lythrum salicaria</i>
<i>Geranium molle</i>	<i>Salicornia europaea</i>
<i>Hainardia cylindrica</i>	<i>Sarcocornia fruticosa</i>
<i>Halimione portulacoides</i>	<i>Sherardia arvensis</i>
<i>Holcus lanatus</i>	<i>Sonchus asper</i>
<i>Hordeum murinum</i>	<i>Spergularia salina</i>
<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Suaeda vera</i>
<i>Juncus acutus</i>	<i>Symphyotrichum sp.</i>
<i>Juncus gerardii</i>	<i>Tamarix gallica</i>
<i>Juncus maritimus</i>	<i>Taraxacum sp.</i>
<i>Juncus subulatus</i>	<i>Tragopogon porrifolius</i>
<i>Lathyrus sp.</i>	<i>Trifolium maritimum</i>
<i>Limonium vulgare</i>	<i>Trifolium pratense</i>
<i>Linum usitatissimum</i>	<i>Trifolium repens</i>
<i>Lolium perenne</i>	<i>Trifolium resupinatum</i>
<i>Lotus corniculatus</i>	<i>Tripolium squamatum</i>
<i>Lotus dorycnium</i>	<i>Ulmus sp.</i>
<i>Lotus maritimus</i>	<i>Verbena officinalis</i>
<i>Vicia sativa</i>	

Annexe 9 - Photographies de terrain : sansouïre



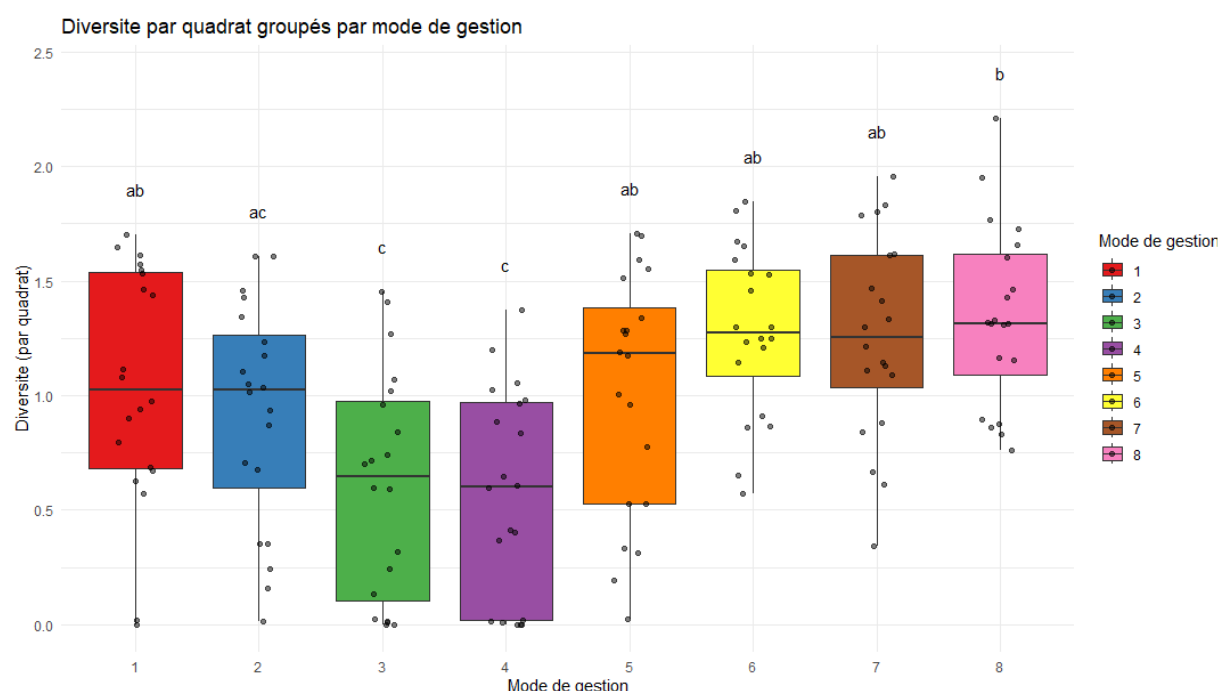
Photographies représentant les parcelles d'écosystème type sansouïre (parcelle AV4 à gauche – *Suaeda vera* au milieu – parcelle AV9)

Annexe 10 - Répartition des Types Fonctionnels par parcelle et par quadrats



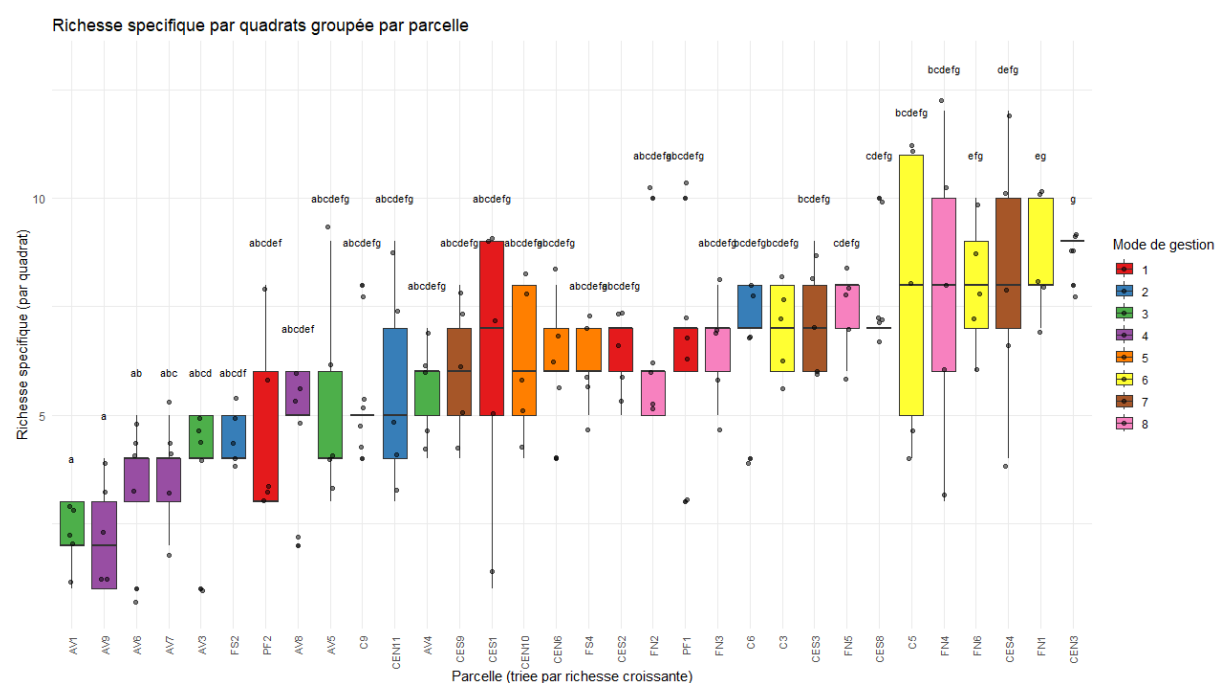
Proportion du recouvrement total occupée par chaque type fonctionnel de plante (TFP) par parcelle et par quadrat

Annexe 11 - Diversité par quadrats groupée par mode de gestion

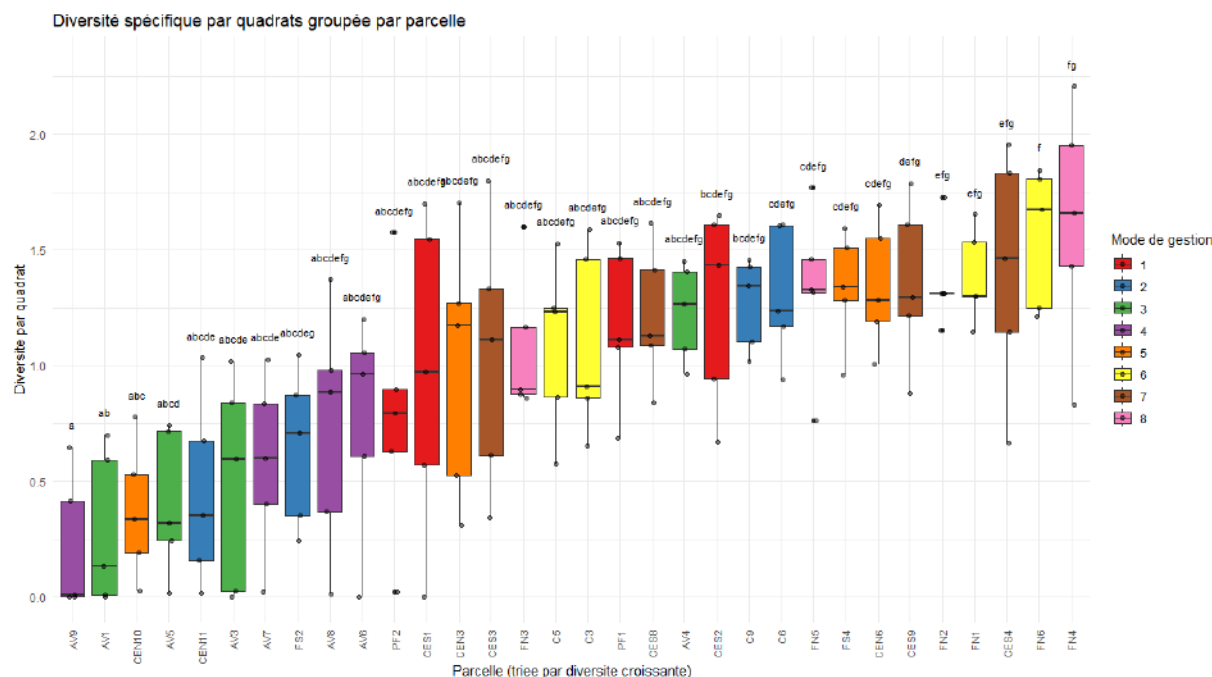


Diversité de Shannon par quadrat (protocole valeur écologique) selon le mode de gestion. Les points représentent les quadrats individuels ; les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de modes significativement différents (test post-hoc de Dunn). La diversité de Shannon diffère significativement selon le mode de gestion (test de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 41,0$, ddl = 7, $p < 0,001$)

Annexe 12 - Richesse et diversité par quadrats groupées par parcelle

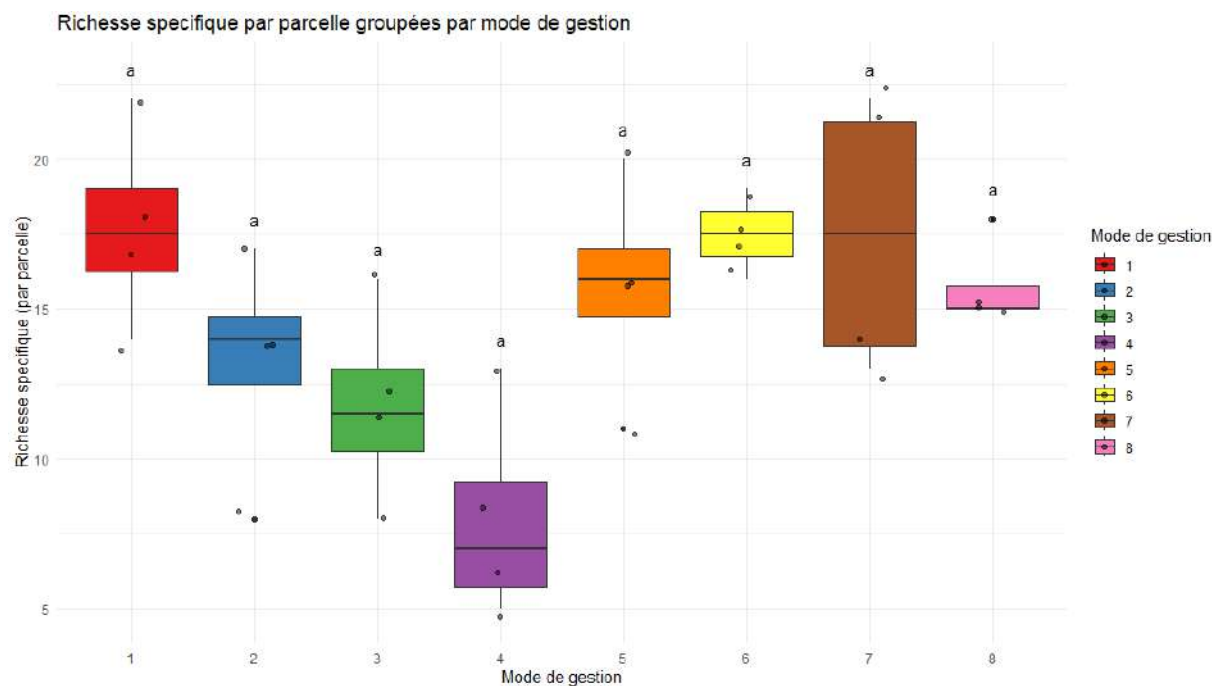


Richesse spécifique par quadrat groupée par parcelle. Les points représentent les quadrats individuels au sein de chaque parcelle et les parcelles sont triées par richesse médiane croissante ainsi que colorées selon leur mode de gestion. Les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de parcelles significativement différents (test de Kruskal-Wallis suivi d'un post-hoc de Dunn) : deux parcelles partageant au moins une lettre commune ne diffèrent pas significativement entre elles.

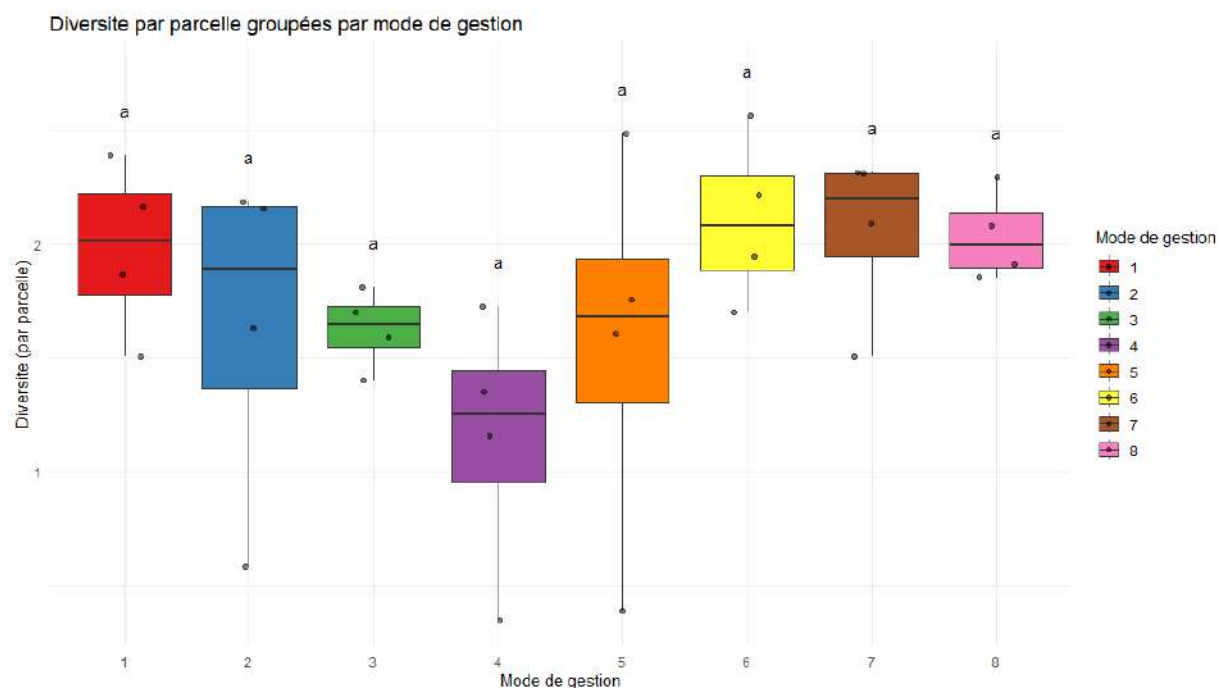


Diversité spécifique par quadrat groupée par parcelle. Les points représentent les quadrats individuels au sein de chaque parcelle et les parcelles sont triées par diversité médiane croissante ainsi que colorées selon leur mode de gestion. Les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de parcelles significativement différentes (test de Kruskal-Wallis suivi d'un post-hoc de Dunn) : deux parcelles partageant au moins une lettre commune ne diffèrent pas significativement entre elles.

Annexe 13 - Richesse et diversité parcellaire groupées par mode de gestion

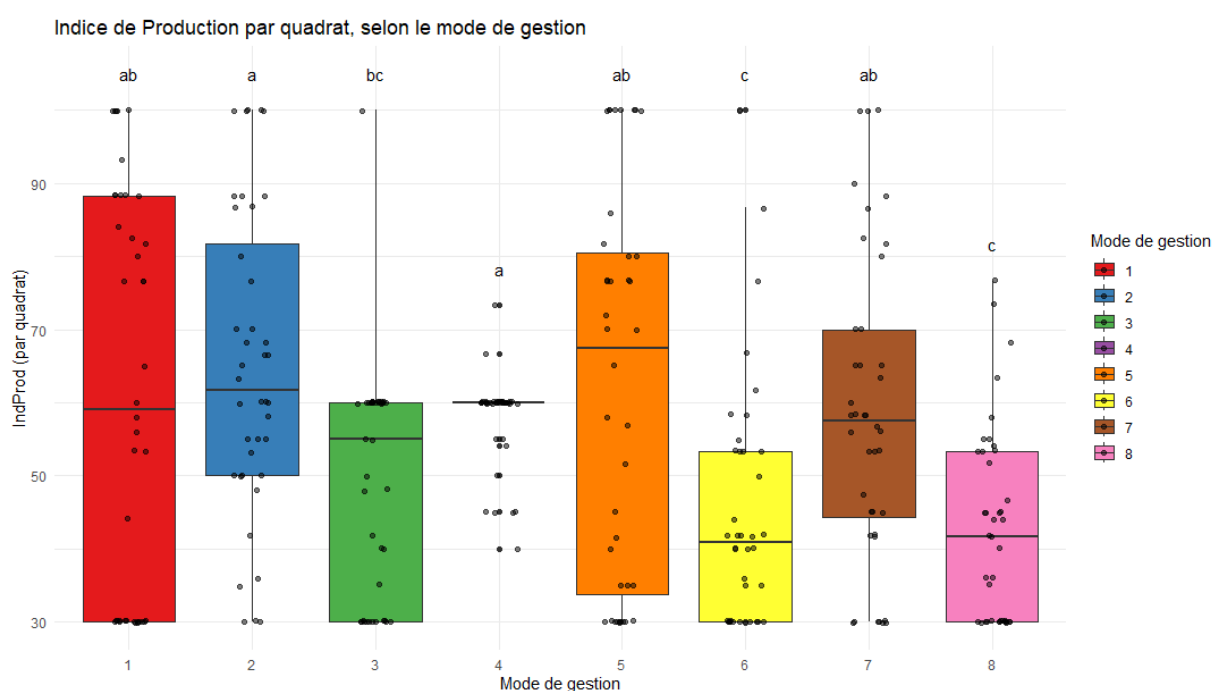


Richesse spécifique par parcelle (union des quadrats, protocole valeur écologique) selon le mode de gestion. Les points représentent les parcelles individuelles ; les lettres au-dessus des boîtes indiquent l'absence de groupes distincts après correction pour comparaisons multiples. Le test global de Kruskal-Wallis est significatif ($\chi^2 = 15,83$, ddl = 7, $p = 0,027$), mais aucune comparaison par paire ne reste significative (test post-hoc de Dunn ; $p_{\text{adj minimal}} = 0,053$, entre les modes 1 et 4)



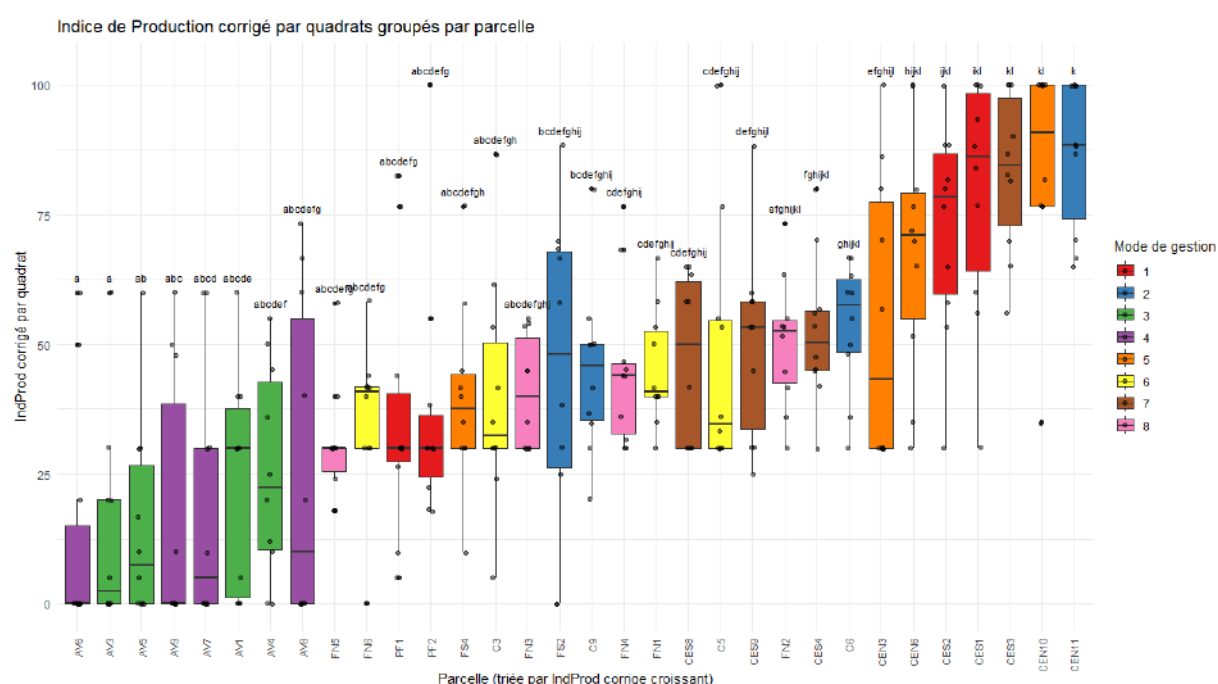
Diversité de Shannon par parcelle (protocole valeur écologique) selon le mode de gestion. Les points représentent les parcelles individuelles. La diversité de Shannon ne diffère pas significativement selon le mode de gestion à cette échelle (test de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 11,13$, ddl = 7, $p = 0,133$) ; aucune comparaison par paire n'est significative (test post-hoc de Dunn)

Annexe 14 - Indice de Production non corrigé



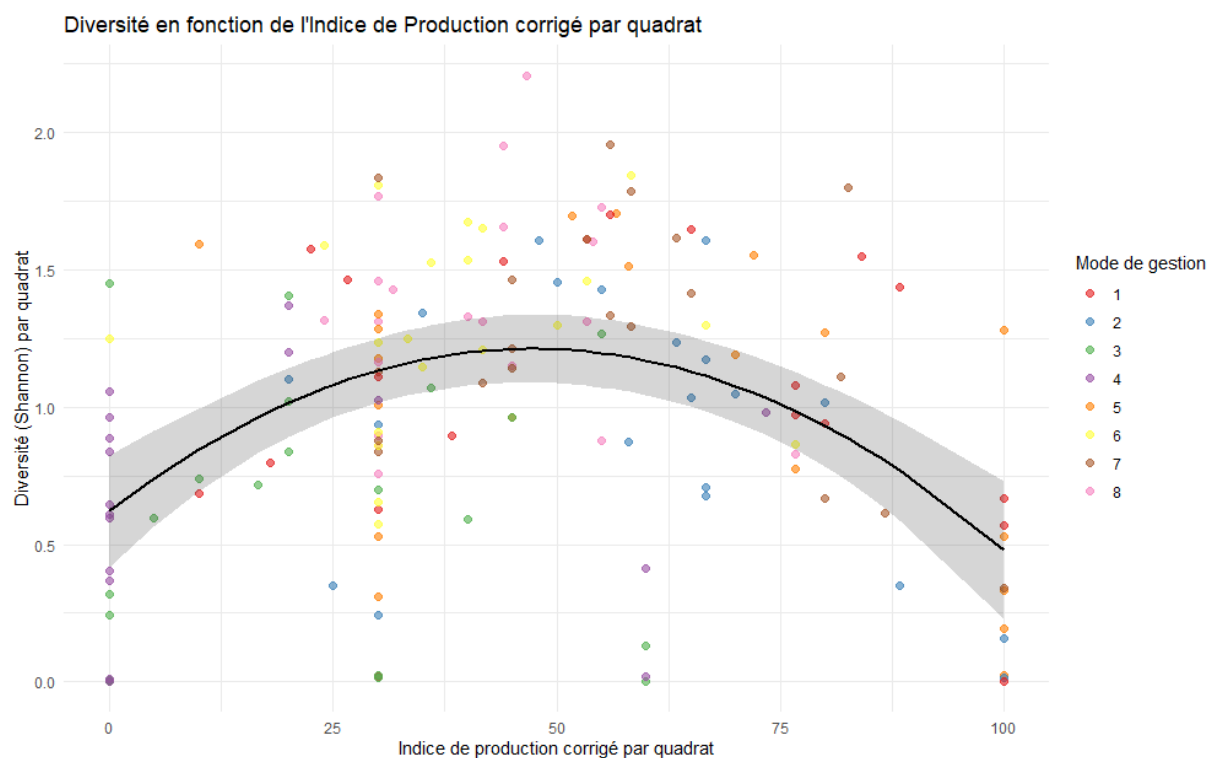
Indice de production (brut) par quadrat selon le mode de gestion. Les points représentent les quadrats individuels ; les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de modes significativement différents (test post-hoc de Dunn). L'indice de production diffère significativement selon le mode de gestion (test de Kruskal-Wallis, $\chi^2 = 44,59$, ddl = 7, $p < 0,001$)

Annexe 15 - Indice de Production corrigé par quadrat groupés par parcelle



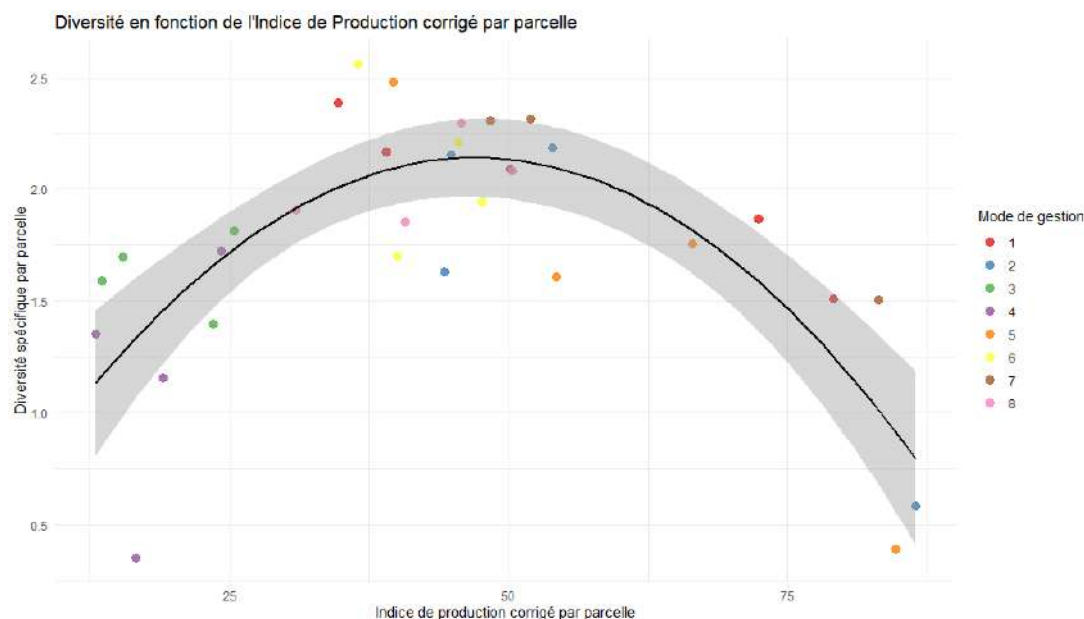
Indice de production corrigé par quadrat, groupé par parcelle. Les points représentent les quadrats individuels au sein de chaque parcelle ; les parcelles sont triées par indice de production corrigé médian croissant et colorées selon leur mode de gestion. Les lettres au-dessus des boîtes indiquent les groupes de parcelles significativement différentes (test de Kruskal-Wallis suivi d'un post-hoc de Dunn) : deux parcelles partageant au moins une lettre commune ne diffèrent pas significativement entre elles.

Annexe 16 - Représentation graphique du compromis diversité – Indice de Production corrigé par quadrat



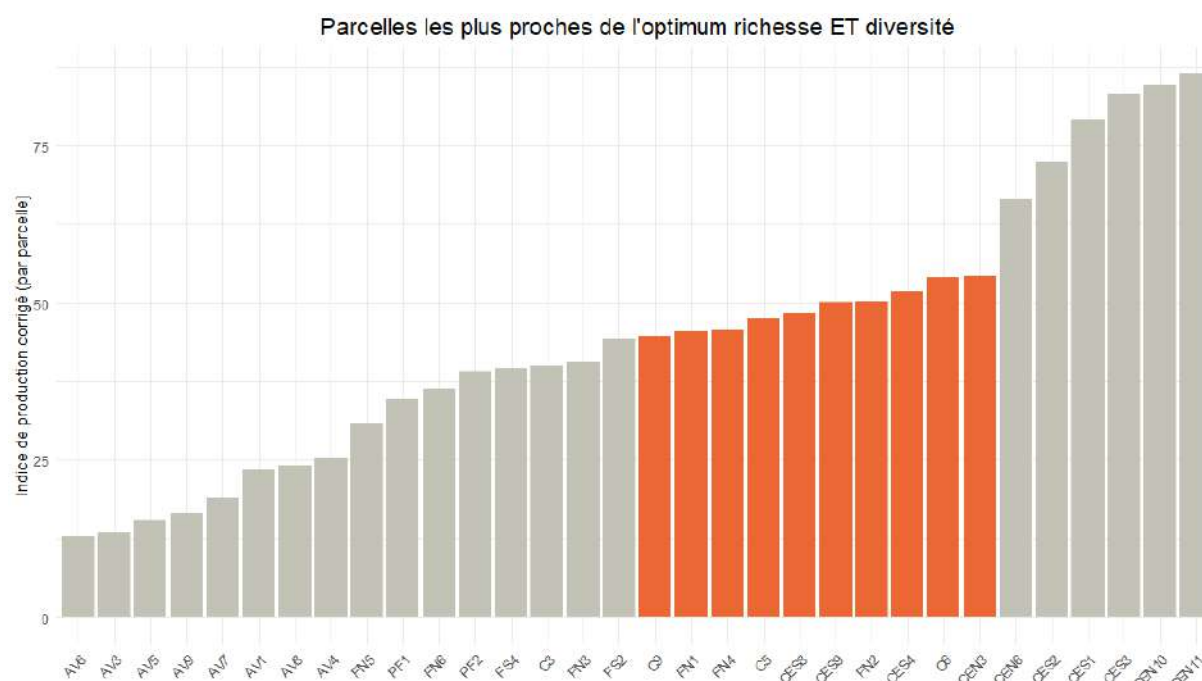
Diversité (indice de Shannon-Weaver) par quadrat en fonction de l'indice de production corrigé. La courbe représente les prédictions d'un modèle linéaire mixte avec un terme quadratique et un effet aléatoire parcelle (bande = intervalle de confiance à 95 %). Le terme linéaire (Estimate = 0,025, $p < 0,001$) et le terme quadratique (Estimate = -0,00026, $p < 0,001$) sont tous deux significatifs, indiquant une relation en cloche avec un maximum situé autour d'un indice de production corrigé de 47.

Annexe 17 - Représentation graphique du compromis diversité – Indice de Production corrigé par parcelle



Diversité de Shannon par parcelle, colorée par mode de gestion, en fonction de l'indice de production corrigé. La courbe représente les prédictions d'un modèle quadratique ajusté à l'échelle parcelle (bande = intervalle de confiance à 95 %). Le terme linéaire (Estimate = 0,082, $p < 0,001$) et le terme quadratique (Estimate = -0,00087, $p < 0,001$) sont tous deux significatifs, indiquant une relation en cloche avec un maximum situé autour d'un indice de production corrigé de 47.

Annexe 18 - Graphique représentant les parcelles proches de l'optimum indice de production – richesse ET diversité



Parcelles les plus proches de l'optimum de richesse et de diversité. Les 32 parcelles sont classées par indice de production corrigé croissant. Les parcelles en orange ($n = 10$) sont celles pour lesquelles la richesse spécifique et la diversité de Shannon, prédites par les modèles quadratiques à l'échelle parcelle, restent toutes deux supérieures à 95 % de leur maximum respectif, soit un indice de production corrigé compris entre 44,8 et 54,3.

Annexe 19 - Tableau complet descriptif des Modèles généralisés mixtes réalisés

Modèle	N	Variable testée	P-value	Signif.	Sens de l'effet	Test ok ?	Interprétation
Richesse ~ Fauche + irrigation + pâturage + (1 parcelle) GLMM Poisson	160	Fauche (fauche oui)	0.0170	*	Positif	Sous-dispersion significative (DHARMa p<2.2e-16) Variance parcelle_id ~0	Fauche augmente significativement la richesse spécifique
		Irrigation (irrégulière / régulière)	0.0067	**	Positif		Irrigation (régulière ou irrégulière) augmente la richesse par rapport à l'absence d'irrigation
		Pâturage (bovin / équin)	0.4758	ns	Positif		
Richesse ~ Fauche + irrigation + pâturage + conductivité + (1 parcelle) GLMM Poisson	160	Fauche (fauche oui)	0.0137	*	Positif	Sous-dispersion significative (DHARMa p<2.2e-16)	Fauche augmente significativement la richesse
		Irrigation (irrégulière / régulière)	0.4724	ns	Positif		Pas d'effet significatif de l'irrigation une fois la conductivité ajoutée
		Pâturage (bovin / équin)	0.8830	ns	Positif		
		Conductivité	0.1351	ns	Négatif		
Richesse ~ Fauche + irrigation + pâturage + altitude + (1 parcelle) GLMM Poisson	160	Fauche (fauche oui)	0.0235	*	Positif	Sous-dispersion significative (DHARMa p<2.2e-16)	Fauche augmente significativement la richesse
		Irrigation (irrégulière / régulière)	0.0793	.	Positif		
		Pâturage (bovin / équin)	0.2215	ns	Positif		
		Altitude	0.0375	*	Négatif		Altitude DIMINUE significativement la richesse
Diversité ~ Fauche + irrigation + pâturage + (1 parcelle) GLMM normale	160	Fauche (fauche oui)	0.0151	*	Positif	Dispersion p=0.328 ok	Fauche augmente significativement la diversité
		Irrigation (irrégulière / régulière)	0.0698	.	Positif		
		Pâturage (bovin / équin)	0.9802	ns	Positif		
Diversité ~ Fauche + irrigation + pâturage + conductivité + (1 parcelle) GLMM normale	160	Fauche (fauche oui)	0.0081	**	Positif	Dispersion p=0.328 ok	Fauche augmente significativement la diversité
		Irrigation (irrégulière / régulière)	0.9279	ns	Positif		
		Pâturage (bovin / équin)	0.7297	ns	Négatif		
		Conductivité	0.0651	.	Négatif		
Diversité ~ Fauche + irrigation + pâturage + altitude + (1 parcelle) GLMM normale	160	Fauche (fauche oui)	0.0138	*	Positif	Dispersion p=0.32 ok	Fauche augmente significativement la diversité
		Irrigation (irrégulière / régulière)	0.2841	ns	Positif		
		Pâturage (bovin / équin)	0.7789	ns	Positif		
		Altitude	0.0679	.	Négatif		
	320	Fauche (fauche oui)	0.0042	**	Négatif	Dispersion p=0.4 ok	Fauche DIMINUE l'indice de production (effet opposé à celui observé sur la richesse)

Modèle	N	Variable testée	P-value	Signif.	Sens de l'effet	Test ok ?	Interprétation
IndProd ~ Fauche + irrigation + pâturage + (1parcelle) GLMM normale		Irrigation (irrégulière / régulière)	0.2006	ns	Positif		
		Pâturage (bovin / équin)	0.2717	ns	Négatif		
IndProd ~ Fauche + irrigation + pâturage + conductivité + (1parcelle) GLMM normale	320	Fauche (fauche oui)	0.0044	**	Négatif	Dispersion p=0.368 ok	Fauche DIMINUE significativement l'IndProd
		Irrigation (irrégulière / régulière)	0.7838	ns	Positif		
		Pâturage (bovin / équin)	0.1901	ns	Négatif		
		Conductivité	0.4161	ns	Négatif		
IndProd ~ Fauche + irrigation + pâturage + altitude + (1parcelle) GLMM normale	320	Fauche (fauche oui)	0.0039	**	Négatif	Dispersion p=0.4 ok	Fauche DIMINUE significativement l'IndProd
		Irrigation (irrégulière / régulière)	0.0811	.	Positif		
		Pâturage (bovin / équin)	0.1313	ns	Négatif		
		Altitude	0.1551	ns	Positif		
IndProd corrige ~ Fauche + irrigation + pâturage + (1parcelle) GLMM normale	320	Fauche (fauche oui)	0.0203	*	Négatif	Dispersion p=0.408 ok	Fauche diminue significativement l'IndProd corrige (même sens que l'IndProd brut)
		Irrigation (irrégulière / régulière)	7.186e-6	***	Positif		Irrigation (régulière ou irrégulière) augmente très fortement l'IndProd corrige
		Pâturage (bovin / équin)	0.5166	ns	Positif		
IndProd corrige ~ Fauche + irrigation + pâturage + conductivité + (1parcelle) GLMM normale	320	Fauche (fauche oui)	0.0212	*	Négatif	Dispersion p=0.384 ok	Fauche diminue significativement l'IndProd corrige
		Irrigation (irrégulier / régulière)	0.0274	*	Positif		Irrigation augmente significativement l'IndProd corrige
		Pâturage (bovin / équin)	0.3450	ns	Mixte		
		Conductivité	0.2569	ns	Négatif		
IndProd corrige ~ Fauche + irrigation + pâturage + altitude + (1parcelle) GLMM normale	320	Fauche (fauche oui)	0.0212	*	Négatif	Dispersion p=0.408 ok	Fauche diminue significativement l'IndProd corrige
		Irrigation (irrégulière / régulière)	1.744e-5	***	Positif		Irrigation augmente TRES fortement l'IndProd corrige (effet le plus net du tableau)
		Pâturage (bovin / équin)	0.4887	ns	Mixte		
		Altitude	0.6958	ns	Positif		

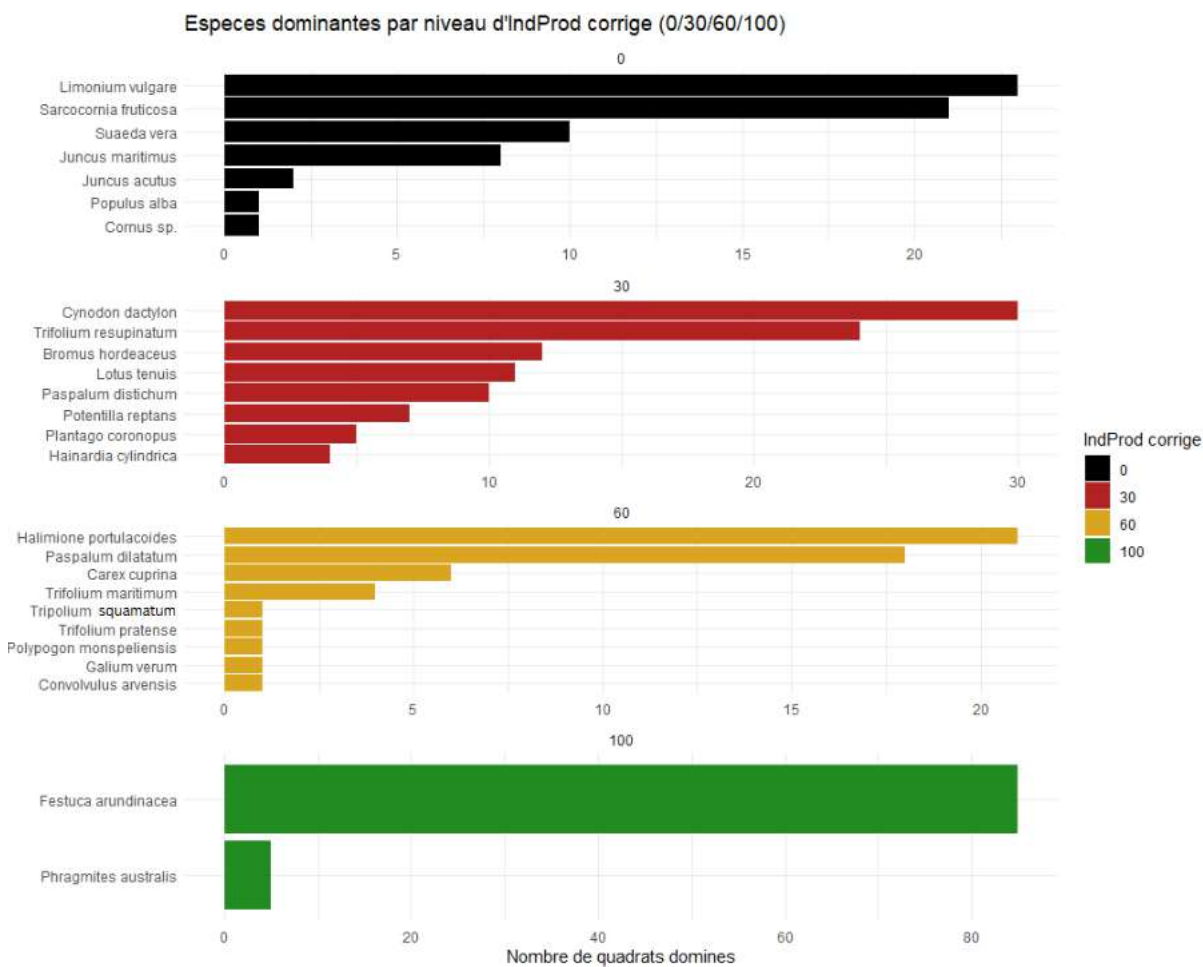
Détail des modèles linéaires généralisés mixtes (GLMM, distribution gaussienne, effet aléatoire "parcelle") testant l'effet des pratiques de gestion à l'échelle du quadrat (N = 320). Pour chaque modèle sont indiqués la p-value et le sens de l'effet de chaque variable testée, ainsi que le résultat du test de dispersion des résidus (package DHARMA) validant l'ajustement du modèle. Codes de significativité : *** p < 0,001 ; ** p < 0,01 ; * p < 0,05 ; . p < 0,1 ; ns = non significatif.

La sous-dispersion détectée par DHARMA pour la richesse est ici peu préoccupante : contrairement à la sur-dispersion, elle a tendance à rendre les tests plus conservateurs (p-values légèrement surestimées plutôt que sous-estimées). Donc les effets significatifs identifiés sur la richesse peuvent être interprétés avec une confiance raisonnable malgré cette réserve statistique.

Annexe 20 - Photographie de Paspalum dilatatum sur la parcelle CEN11



Annexe 21 - Dominance des espèces pour les Indices de Production faible intermédiaire et fort



Nombre de quadrats dans lesquels chaque espèce est l'espèce dominante, pour chacun des quatre niveaux d'indice de production corrigé (0, 30, 60, 100). Les couleurs distinguent les quatre niveaux.

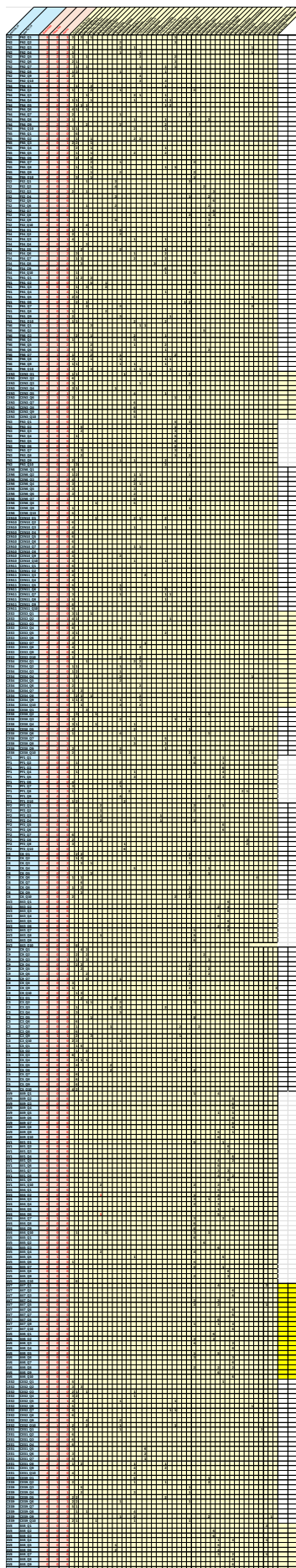
Données supplémentaires de l'étude :

- Analyse de 10 échantillons de sol à 30cm de profondeur au Laboratoire d'analyses de sols de la Chambre d'Agriculture de l'Aude : Tableau de résultats et carte contenant la localisation des échantillons étudiés

SECTION PARCELLE	prof cm	SABLES GROSSIERS p.mille	SABLES FINS p.mille	LIMONS GROSSIERS p.mille	LIMONS FINS p.mille	ARGILE p.mille	PH	MO g/Kg	CONDUCTIVITE mS/cm	CARBONE g/Kg	AZOTE TOTAL g/Kg	C/N	MAGNESIUM mg/Kg	MgO mg/Kg	POTASSIUM mg/Kg	K2O mg/Kg	SODIUM mg/Kg	Na2O mg/Kg	CEC mmol+/Kg	CEC (cmol+) cmol+/Kg
C3 Q6	30	36	202	237	350	175	8.3	30.4	0.4	17.70	1.88	9.41	27.49	553.92	1.77	83.37	16.40	508.40	83	8
C6 Q6	30	430	138	75	193	164	7.9	38.9		22.60	2.39	9.46	14.07	283.51	3.38	159.20	0.79	24.49	102	10
AV4 Q6	30	30	154	220	366	230	8.2	38.0	2.1	22.10	2.00	11.05	48.62	979.69	6.45	303.80	89.00	2759.00	104	10
AV7 Q6	30	11	85	184	436	283	8.3	20.8	8.5	12.10	1.26	9.60	75.64	1524.15	4.14	194.99	302.00	9362.00	88	9
FN4 Q6	30	24	130	130	415	299	8.3	31.3	0.2	18.20	1.95	9.33	16.81	338.72	5.42	255.28	4.00	124.00	102	10
FN6 Q6	30	20	177	191	392	219	8.3	31.3	0.2	18.20	1.98	9.19	18.74	377.61	4.68	220.43	5.50	170.50	96	10
F54 Q6	30	11	163	227	389	209	8.3	27.2	0.2	15.80	1.54	10.26	15.24	307.09	3.49	164.38	1.20	37.20	78	8
CEN10 Q6	30	19	150	212	390	228	8.3	40.6	1.8	23.60	2.42	9.75	78.82	1588.22	10.32	486.07	55.00	1705.00	92	9
CE53 Q6	30	27	80	119	452	320	8.2	36.8	0.2	21.40	2.27	9.43	18.43	371.36	5.60	263.76	3.40	105.40	132	13
CE54 Q6	30	15	111	205	426	242	8.3	35.1	0.2	20.40	2.12	9.62	21.60	435.24	2.33	109.74	6.80	210.80	106	11



- Tableau de données des valeurs d'abondance des espèces pour le relevé Valeur Ecologique



- Tableau des données mesurées de conductivité et pH

parcelle	quadrat	id	quadrat	prof	profondeur	masse avant etu	masse apres etu	masse s	masse d'eau	conductivité	pH
AV9	AV9_Q4	AV9_Q4_20		20		385.9	314.8		71.1	1754	8.45
AV9	AV9_Q6	AV9_Q6_20		20		474.1	392.9		81.2	5310	8.07
AV9	AV9_Q8	AV9_Q8_20		20		423.3	354.8		68.5	3150	8.32
CES1	CES1_Q4	CES1_Q4_20		20		346.7	324.2		22.5	235	7.57
CES1	CES1_Q6	CES1_Q6_20		20		497.1	452.1		45	245	7.95
CES1	CES1_Q8	CES1_Q8_20		20		266.5	241.3		25.2	295	7.53
CES2	CES2_Q4	CES2_Q4_20		20		467.8	417		50.8	469	8.57
CES2	CES2_Q6	CES2_Q6_20		20		476.5	419.6		56.9	375	8.49
CES2	CES2_Q8	CES2_Q8_20		20		471.8	411.1		60.7	416	8.38
CEN11	CEN11_Q4	CEN11_Q4_20		20		377.1	306.2		70.9	467	7.57
CEN11	CEN11_Q6	CEN11_Q6_20		20		397.9	322.5		75.4	558	7.63
CEN11	CEN11_Q8	CEN11_Q8_20		20		365.1	293.9		71.2	430	7.64
CES9	CES9_Q4	CES9_Q4_20		20		399.4	330.2		69.2	237	7.21
CES9	CES9_Q6	CES9_Q6_20		20		474.2	392.6		81.6	1320	7.01
CES9	CES9_Q8	CES9_Q8_20		20		450	378.4		71.6	780	7.25
CES8	CES8_Q4	CES8_Q4_20		20		458.4	386.3		72.1	1554	7
CES8	CES8_Q6	CES8_Q6_20		20		453	378.2		74.8	1278	7.24
CES8	CES8_Q8	CES8_Q8_20		20		290.8	241.8		49	914	7.18
CEN10	CEN10_Q4	CEN10_Q4_20		20		518.2	433.1		85.1	508	7.49
CEN10	CEN10_Q6	CEN10_Q6_20		20		479.3	399.3		80	1234	7.55
CEN10	CEN10_Q8	CEN10_Q8_20		20		387.3	311.9		75.4	264	7.89
FS4	FS4_Q4	FS4_Q4_20		20		352.9	292.8		60.1	195	8.48
FS4	FS4_Q6	FS4_Q6_20		20		364.9	305.4		59.5	154	8.45
FS4	FS4_Q8	FS4_Q8_20		20		369.2	295.9		73.3	146	8.24
FN2	FN2_Q4	FN2_Q4_20		20		534.8	426.1		108.7	183	7.73
FN2	FN2_Q6	FN2_Q6_20		20		334.8	279.5		55.3	156	7.78
FN2	FN2_Q8	FN2_Q8_20		20		324.1	265.4		58.7	102	7.85
FN1	FN1_Q4	FN1_Q4_20		20		390.7	337.9		52.8	556	7.55
FN1	FN1_Q6	FN1_Q6_20		20		408	327.9		80.1	362	7.49
FN1	FN1_Q8	FN1_Q8_20		20		367.6	306.5		61.1	234	7.75
CEN3	CEN3_Q4	CEN3_Q4_20		20		329.4	294.3		35.1	993	7.26
CEN3	CEN3_Q6	CEN3_Q6_20		20		343.7	300.8		42.9	283	7.85
CEN3	CEN3_Q8	CEN3_Q8_20		20		388.8	343.4		45.4	934	7.69
C6	C6_Q4	C6_Q4_20		20		355.1	264.8		90.3	284	7.82
C6	C6_Q6	C6_Q6_20		20		361.3	303		58.3	125	7.78
C6	C6_Q8	C6_Q8_20		20		356	273.6		82.4	119	7.87
AV5	AV5_Q4	AV5_Q4_20		20		296.2	271.3		24.9	1641	7.88
AV5	AV5_Q6	AV5_Q6_20		20		270.4	249.2		21.2	897	8.05
AV5	AV5_Q8	AV5_Q8_20		20		321	292.2		28.8	1400	8.42
C9	C9_Q4	C9_Q4_20		20		369.5	306.7		62.8	643	8.28
C9	C9_Q6	C9_Q6_20		20		343.1	283.3		59.8	503	7.98
C9	C9_Q8	C9_Q8_20		20		396.6	326.3		70.3	951	7.78
AV4	AV4_Q4	AV4_Q4_20		20		333.4	302		31.4	2150	7.88
AV4	AV4_Q6	AV4_Q6_20		20		291.6	262.5		29.1	2360	7.77
AV4	AV4_Q8	AV4_Q8_20		20		305.4	282.5		22.9	833	8.12
FN6	FN6_Q4	FN6_Q4_20		20		299.6	246.9		52.7	153	7.9
FN6	FN6_Q6	FN6_Q6_20		20		276	224		52	413	7.86
FN6	FN6_Q8	FN6_Q8_20		20		356	293.5		62.5	252	8.1
FN5	FN5_Q4	FN5_Q4_20		20		308	253		55	294	8.32
FN5	FN5_Q6	FN5_Q6_20		20		277.1	226		51.1	270	8.15
FN5	FN5_Q8	FN5_Q8_20		20		345.5	281.3		64.2	419	8.27
FN4	FN4_Q4	FN4_Q4_20		20		327.8	315.4		12.4	101	8.18
FN4	FN4_Q6	FN4_Q6_20		20		373.3	325.3		48	219	8.17
FN4	FN4_Q8	FN4_Q8_20		20		335.7	317.2		18.5	36	8.04
FN3	FN3_Q4	FN3_Q4_20		20		394.1	315.9		78.2	412	8.4
FN3	FN3_Q6	FN3_Q6_20		20		519	418.1		100.9	765	8.67
FN3	FN3_Q8	FN3_Q8_20		20		389.6	308.3		81.3	484	7.97
CEN6	CEN6_Q4	CEN6_Q4_20		20		366.6	316.2		50.4	380	7.79
CEN6	CEN6_Q6	CEN6_Q6_20		20		307.3	270.9		36.4	448	7.69
CEN6	CEN6_Q8	CEN6_Q8_20		20		296.4	261.7		34.7	467	7.85
CES4	CES4_Q4	CES4_Q4_20		20		351.7	281.6		70.1	1140	7.64
CES4	CES4_Q6	CES4_Q6_20		20		376.1	294.5		81.6	742	7.9
CES4	CES4_Q8	CES4_Q8_20		20		329.4	263		66.4	1705	7.55
FS2	FS2_Q4	FS2_Q4_20		20		325.6	270.1		55.5	256	7.96
FS2	FS2_Q6	FS2_Q6_20		20		364.8	308.8		56	320	7.54
FS2	FS2_Q8	FS2_Q8_20		20		375	327.5		47.5	743	7.49
PF1	PF1_Q4	PF1_Q4_20		20		279.6	232.6		47	2560	7.54
PF1	PF1_Q6	PF1_Q6_20		20		262.2	222.5		39.7	1318	7.47
PF1	PF1_Q8	PF1_Q8_20		20		312.4	260.9		51.5	780	7.47
PF2	PF2_Q4	PF2_Q4_20		20		304	257.4		46.6	2490	7.68
PF2	PF2_Q6	PF2_Q6_20		20		298.5	253		45.5	1369	7.64
PF2	PF2_Q8	PF2_Q8_20		20		236	202		34	801	7.81
AV3	AV3_Q4	AV3_Q4_20		20		258.5	228.5		30	3360	7.95
AV3	AV3_Q6	AV3_Q6_20		20		270.9	238.9		32	4230	7.61
AV3	AV3_Q8	AV3_Q8_20		20		339	286.4		52.6	899	7.75
C5	C5_Q4	C5_Q4_20		20		238.1	209.1		29	340	7.93
C5	C5_Q6	C5_Q6_20		20		285.6	241.9		43.7	1913	7.56
C5	C5_Q8	C5_Q8_20		20		277.6	246.5		31.1	2980	7.55
C3	C3_Q4	C3_Q4_20		20		301.3	258.6		42.7	1747	8.82
C3	C3_Q6	C3_Q6_20		20		263.5	224.8		38.7	149	8.98
C3	C3_Q8	C3_Q8_20		20		279.9	240.5		39.4	96	8.2
AV1	AV1_Q4	AV1_Q4_20		20		283.5	246.3		37.2	4240	7.85
AV1	AV1_Q6	AV1_Q6_20		20		334.9	290.6		44.3	3780	7.95
AV1	AV1_Q8	AV1_Q8_20		20		200.5	175		25.5	3560	8.04
CES3	CES3_Q4	CES3_Q4_20		20		257.9	214.1		43.8	201	8.97
CES3	CES3_Q6	CES3_Q6_20		20		234.2	196		38.2	240	8.6
CES3	CES3_Q8	CES3_Q8_20		20		265.3	216.4		48.9	308	8.52
AV6	AV6_Q4	AV6_Q4_20		20		458.3	373		85.3	2580	9.2
AV6	AV6_Q6	AV6_Q6_20		20		250.2	208		42.2	2650	8.86
AV6	AV6_Q8	AV6_Q8_20		20		192.2	160.1		32.1	3240	8.51
AV7	AV7_Q4	AV7_Q4_20		20		267.9	232.3		35.6	3960	8.23
AV7	AV7_Q6	AV7_Q6_20		20		257.5	222.5		35	5350	8.28
AV7	AV7_Q8	AV7_Q8_20		20		234.9	200.1		34.8	4820	8.38
AV8	AV8_Q4	AV8_Q4_20		20		288.3	253.1		35.2	1941	7.69
AV8	AV8_Q6	AV8_Q6_20		20		284.3	249.2		35.1	3380	7.88
AV8	AV8_Q8	AV8_Q8_20		20		292.1	255.5		36.6	3390	8.04