



La revue francophone sur les fourrages et les prairies

The French Journal on Grasslands and Forages

Cet article de la revue **Fourrages**,
est édité par l'Association Francophone pour les Prairies et les
Fourrages

Pour toute recherche dans la base de données
et pour vous abonner :

www.afpf-asso.fr



AFPF - Maison Nationale des Eleveurs - 149 rue de Bercy - 75595 Paris Cedex 12
Tel. : +33.(0)1.40.04.52.00 - Mail : contact@afpf-asso.fr

Association Francophone pour les Prairies et les Fourrages

Dynamique floristique, production et valeur alimentaire de prairies du nord Deux-Sèvres gérées en pâturage tournant dynamique

C. Lemoine¹, F. Surault², A. Poilane³, J. Cliquet³, F. Gastal¹

Le pâturage tournant dynamique est une technique de pâturage promue par un certain nombre d'organismes de conseil agricole. Toutefois, on ne dispose à ce jour que de peu de références sur les résultats qu'on peut en attendre. L'objectif de cet article est d'évaluer la dynamique floristique, la production et la valeur alimentaire de prairies exploitées selon cette technique sur un réseau d'éleveurs.

RESUME

Trente-cinq parcelles de prairies multi-espèces d'un réseau d'éleveurs du nord Deux-Sèvres, gérées en pâturage tournant dynamique (PTD, méthode Herby®), ont été suivies de 2015 à 2019. La composition floristique, la biomasse valorisée et la valeur alimentaire ont été mesurées à partir des observations et des prélèvements de terrain. Une variabilité spatiale importante de la pluviométrie a été observée sur la zone étudiée. Le suivi de la dynamique floristique montre une évolution en faveur du raygrass anglais et du trèfle blanc dans les sites plus pluvieux, tandis que la fétuque élevée est devenue dominante dans les sites plus secs. Bien que recevant un niveau de fertilisation modéré, la production d'herbe mesurée en PTD se situe à un niveau très proche des références régionales en exploitation conventionnelle. Les valeurs alimentaires (MAT, UFL) observées en PTD varient de manière importante au cours de l'année, en lien avec la quantité de matière sèche sur pied, la phénologie et la composition floristique, notamment la proportion de légumineuses. L'herbe pâturée sur ce réseau PTD présente tout au long de l'année des teneurs en MAT bonnes et souvent même au-delà de l'optimum défini dans INRA (2007) pour les bovins allaitants et laitiers. L'équilibre énergie/protéines est également souvent proche des références optimales. Au total, la méthode de pâturage tournant mise en œuvre sur ce réseau permet d'obtenir un bon niveau quantitatif de production, avec une fertilisation modérée, et un bon niveau de valeur alimentaire. Cette étude apporte également des connaissances sur les prairies d'une zone d'élevage peu étudiée, le bocage du nord Deux-Sèvres.

SUMMARY

Floristic dynamics, production and food value of grasslands in northern Deux-Sèvres managed under dynamic rotational grazing

Managed under dynamic rotational grazing (DRG, Herby® method), thirty-five multi-species grassland plots of a network of farmers in northern Deux-Sèvres, were monitored from 2015 to 2019. Their floristic composition, biomass value and feed value were measured from observations and field samples. Significant spatial variability in rainfall was observed over the study area. Monitoring of the floristic dynamics showed a shift in favour of perennial ryegrass and white clover in the wetter sites, while tall fescue became dominant in the drier sites. Although receiving a moderate level of fertilization, the grass production measured in DRG is at a level very close to the regional references in conventional farming. The feed values (Total Nitrogenous Matter, French Dairy Feed Unit) observed in DRG vary significantly during the year, in relation to the amount of standing dry matter, phenology and floristic composition, particularly the proportion of legumes. Grass grazed on this DRG network shows throughout the year good TNM contents and often even beyond the optimum levels defined by INRA (2007) for suckling and dairy cattle. The energy/protein balance is also often close to the optimal references. In total, the rotational grazing method implemented in this network allows us to obtain a good quantitative level of production, with a moderate fertilization, and a good level of feed value. This study also provides knowledge on the grasslands of a little-studied breeding area, the bocage of northern Deux-Sèvres.

Devant les difficultés auxquelles sont confrontées un certain nombre d'exploitations d'élevage, une coopérative agricole (CAVEB, Parthenay, Deux-Sèvres) a proposé, en 2013, un projet de territoire mobilisateur, le projet LIFE

Pâturage Tournant Dynamique. L'objectif de ce projet était d'apporter une nouvelle dynamique aux acteurs de l'élevage sur le territoire, à travers une démarche participative mobilisant directement les éleveurs et plusieurs autres acteurs territoriaux, autour de la mise

AUTEURS

1 : INRAE, UE FERLUS, 86600, Lusignan, France, Francois.Gastal@inrae.fr

2 : INRAE, UR P3F, 86600, Lusignan, France

3 : CAVEB, 79 Parthenay, France

MOTS-CLES : Prairies, pâturage tournant dynamique, pédoclimat, composition floristique, production, valeur alimentaire

KEY-WORDS: Grasslands, dynamic rotational grazing, pedoclimatic, floristic composition, production, feed value

REFERENCE DE L'ARTICLE : Lemoine C., Surault F., Poilane A., Cliquet J., Gastal F., (2021). « Dynamique floristique, production et valeur alimentaire de prairies du nord Deux-Sèvres gérées en pâturage tournant dynamique », Fourrages, 246, 51-66

en œuvre d'une méthode innovante de pâturage. En effet, une herbe pâturée permet des bénéfices économiques substantiels pour l'éleveur : Peyraud *et al.*, (2014) ; Huyghe *et al.*, (2017). La dynamique ainsi créée dans le projet a permis de motiver un ensemble d'éleveurs pour pâturer. Elle a également permis de leur apporter des références et un cadre technique relatifs à la pratique du pâturage, alors que le pâturage n'était pas nécessairement une pratique habituelle pour certains d'entre eux. La méthode mise en œuvre, dérivée de la technique dite de pâturage tournant dynamique (PTD), a été diffusée dans le passé, notamment par André Voisin (1957). Depuis, la méthode est utilisée avec succès en Nouvelle-Zélande, Australie ou encore Afrique du Sud (Australia Dairy, 2011 ; Findlay, 2016 ; McCarthy *et al.*, 2010). Le terme « Pâturage Tournant Dynamique » a été inventé en France dans les années 2000 par Mathieu Bessière et Xavier Barat (Bessière et Bessière, 2020), pour décrire une méthode se rapprochant de ces méthodes étrangères, notamment néo-zélandaise, mais adaptée au territoire français. Depuis, ce terme a été largement repris pour décrire une grande diversité de méthodes de pâturage. Un réseau d'acteurs a été constitué sur la zone Charentes-Poitou et en Vendée, mobilisant 131 exploitations d'élevage s'engageant dans la pratique du pâturage tournant dynamique, ainsi que des opérateurs de l'élevage et des organismes territoriaux. Dans ce cadre, de nombreux aspects de la méthode ont été étudiés, notamment les performances végétales, animales, économiques, énergétiques et environnementales (Poilane *et al.*, 2020).

Au sein de ce réseau d'exploitations, 35 parcelles de prairie gérées en pâturage tournant dynamique, réparties sur 26 exploitations du nord Deux-Sèvres et constituant le réseau de prairies dénommé par la suite « réseau Life PTD », ont été suivies durant 5 années consécutives pour étudier de manière plus précise leurs performances végétales. En effet, à ce jour, très peu de références objectives existent concernant la valeur agronomique de prairies gérées en pâturage tournant dynamique. De plus, la diversité de la production prairiale est très mal connue dans toute la zone de bocage du nord des Deux-Sèvres, malgré les spécificités pédologiques et climatiques de ces milieux par rapport au reste du Poitou-Charentes, et malgré la présence majoritaire d'exploitations d'élevage dans cette zone de bocage.

L'objectif de cet article est d'apporter une évaluation objective de la dynamique floristique, de la productivité et de la valeur nutritive de l'herbe d'un réseau de prairies exploitées en pâturage tournant dynamique, ainsi qu'une analyse de leur diversité spatiale dans le contexte de la zone nord Deux-Sèvres. Sur ce réseau de prairies ont été analysées sur une période de 5 années : (i) les caractéristiques pédologiques et climatiques, (ii) l'évolution de la composition floristique, (iii) la productivité et (iv) la valeur alimentaire de l'herbe pâturée.

1. Matériel et méthode

1.1. Le réseau de parcelles

Les 35 parcelles de prairie étudiées se situent dans l'ouest de la France, sur le territoire d'élevage de la moitié nord du département des Deux-Sèvres (Gâtine, bocage du Bressuirais, Thouarsais ; Figure 1). Ces parcelles sont constituées dans leur très grande majorité de prairies qui ont été semées plus ou moins récemment dans les 10 années antérieures, pouvant être devenues semi-naturelles pour les plus âgées d'entre elles. Elles ont été suivies de 2015 (21 parcelles) ou 2016 (14 parcelles) à 2019, hormis 2 cas de changement de gestion en cours de période. Les prairies âgées de 1 à 5 ans à la première date d'observation (16 parcelles) ont été qualifiées de « temporaires » (Huyghe, 2005), bien que quelques-unes aient atteint plus de 6 ans en fin de projet. Les prairies âgées de 6 ans ou plus à la première date d'observation (19 parcelles) ont été qualifiées de « permanentes ». L'âge des prairies à la première date de prélèvement variait de 0,5 à 4 ans (moyenne de 1,8 an) pour les prairies temporaires, et de 6 à 10 ans (moyenne de 8 ans) pour les prairies permanentes (à l'exception de 2 prairies plus anciennes dont l'âge n'est pas connu). Ces âges étaient bien entendu augmentés de 4 ou 5 années en fin de période d'étude.

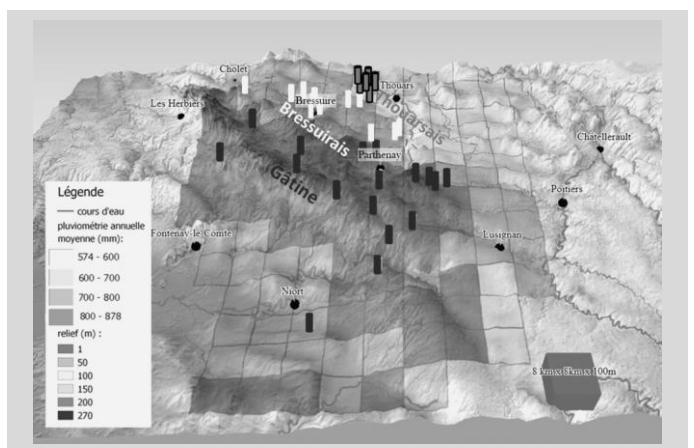


FIGURE 1 : Topographie de la zone d'étude et répartition spatiale de la pluviométrie annuelle moyenne de 2015 à 2018. Les cylindres représentent l'emplacement des paddocks étudiés (Foncé : Gâtine ; Clair : Bressuirais ; gris : Thouarsais ; sources : BRGM, IGN et Météo-France).

Figure 1: Topography of studied area and spatial distribution of mean annual rainfall from 2015 to 2018.

La composition en espèces semées de ces prairies n'est pas toujours connue avec précision, du fait que le semis datait de plus de 6 ans pour plus de la moitié d'entre elles. Toutefois, ces prairies ont pratiquement toutes été semées en tant que prairies multi-espèces, avec une base quasiment systématique de raygrass anglais, fétuque élevée et trèfle blanc. Assez

fréquemment, du trèfle violet et du raygrass d'Italie ou hybride et du dactyle étaient ajoutés à cette base. Lorsqu'elles étaient connues, les espèces semées déclarées par les éleveurs étaient systématiquement retrouvées lors de notre première année d'observation sur le terrain.

Durant la période d'étude, les parcelles étaient pâturées soit par des bovins allaitants (16 parcelles), laitiers (11 parcelles) ou par des ovins viande (8 parcelles). Les parcelles étaient conduites en agriculture conventionnelle (27), biologique (8) ou converties au cours du projet (4). Elles se répartissent sur 3 zones géoclimatiques établies sur la base des valeurs de pluviométrie annuelle : l'axe Les Herbiers-Parthenay-Lusignan, qu'on dénommera Gâtine par la suite (21 parcelles), le Bressuirais (8 parcelles) et le Thouarsais (6 parcelles) (Tableau 1 ; Figure 1 ; Lemoine *et al.*, 2020a).

	Gâtine (axe Les Herbiers- Parthenay- Lusignan)	Bressuirais	Thouarsais
Prairies temporaires	7 (6)	4 (3)	4 (4)
Prairies permanentes	10 (9)	8 (4)	2 (2)

TABLEAU 1 : Répartition du nombre de parcelles suivies selon la zone géographique et leur type, temporaire ou permanente (entre parenthèses : nombre de parcelles dans lesquelles les données étaient complètes au moins 3 années sur 5, et retenues pour les analyses de production).

Table 1: Distribution of the number of plots monitored according to the geographical area and their type, temporary or permanent.

Les prélèvements d'herbe n'ont parfois pas pu être réalisés sur certaines parcelles à certaines dates de pâturage, ou du fait d'un changement de gestion au cours de la période d'étude. Sur 28 des 35 parcelles suivies, la production d'herbe a pu être mesurée de manière complète, à tous les cycles de l'année, au moins 3 années sur 5 (Tableau 1). Les autres parcelles n'ont pas été suivies soit parce qu'elles n'ont pas pu être gérées en pâturage tournant, soit parce que la production n'a pas pu être mesurée à chaque cycle de l'année. Les analyses de production d'herbe présentées dans la suite de l'étude ont été réalisées sur ces 28 parcelles.

1.2. Principe et mise en œuvre de la méthode de pâturage PTD

La méthode de pâturage mise en œuvre dans le projet Life PTD a été nommée Herby®. Une marque a été déposée sur ce nom commercial, dans l'objectif de rattacher les résultats obtenus à une méthode précise de pâturage. Cette méthode de pâturage est basée sur la compréhension et le respect de la physiologie des

graminées (Gastal et Lemaire, 2015). L'objectif est de chercher la performance animale au pâturage, tout en pérennisant les prairies et en diminuant le besoin en intrants.

Les règles de gestion sont liées à l'observation des graminées :

- Attendre le stade 3 feuilles avant de pâturer, c'est-à-dire attendre qu'au moins 2,5 feuilles aient repoussé depuis le dernier pâturage ;
- Ne pas pâturer les repousses des graminées avant ce stade, ce qui implique de limiter le temps de présence, à trois jours maximum au printemps par exemple ;
- Sortir les animaux avant qu'ils ne pâturent la gaine des graminées : les animaux consomment en premier la strate superficielle du couvert. En changeant les animaux au bon moment, on leur permet de ne consommer que les limbes.

La description précise de cette méthode est donnée dans Poilane et Cliquet (2020) et Bessière et Bessière (2020). La conduite Herby® se distingue de la conduite usuelle du département par une sortie plus précoce, un temps de retour variable, plus de cycles d'exploitation dans l'année, une hauteur d'entrée plus faible et une hauteur résiduelle plus importante.

Les parcelles choisies sont toutes gérées par des éleveurs ayant suivi une formation à la méthode de pâturage assurée par les ingénieurs du projet, bénéficiant de conseils individualisés et participant, au moins ponctuellement, à des réunions d'échanges entre éleveurs sur la gestion du pâturage. Cependant, les prairies suivies étant gérées par les éleveurs, il peut y avoir un écart entre les préconisations et les pratiques de pâturage observées sur le réseau.

Les parcelles étudiées ont été divisées en paddocks dont la surface et donc le nombre ont été calculés selon la production potentielle de la prairie et les caractéristiques de capacité d'ingestion du troupeau. En fonction des besoins alimentaires saisonniers du troupeau et de la production saisonnière de l'herbe, la taille du lot d'animaux, le temps de présence ou plus accessoirement la surface des paddocks peuvent être modulés. Ainsi, le nombre de paddocks par système d'exploitation a varié de 5 à 50, pour des surfaces de 0,2 à 1 ha chacun. Les données relatives au pâturage, à la végétation et au sol ont été mesurées sur un paddock par parcelle, identifié aléatoirement au début de la période d'étude et conservé similaire ensuite. Le chargement a été compris entre 60 et 150 UGB/ha selon le potentiel de production des surfaces et la capacité d'ingestion des UGB pâturant. La hauteur herbomètre moyenne à l'entrée des animaux a été de 12,3 (+/-3,5) cm.

La méthode Herby® nécessite de débrayer certaines parcelles pour conserver une bonne valeur alimentaire au printemps, ce qui implique que certains paddocks ont été ponctuellement fauchés au cours du

projet. Au total, 126 exploitations de l'herbe ont eu lieu sur les 5 années et les 29 prairies suivies pour la production : 116 en pâturage PTD et 10 en fauche. En moyenne, les prairies ont été exploitées 4,4 (+/- 1,1) fois par an, avec un minimum de 1 et un maximum de 9 fois. La différence importante du nombre d'exploitations entre les années et les sites (Tableau 2) dépend notamment de la pluviométrie.

Année	2015	2016	2017	2018	2019
Nombre moyen d'exploitations	5,4	4,9	4,4	4,3	2,8
Ecart-type	1,1	0,9	1,4	1,0	1,0
Mini	4	3	2	1	1
Max	9	8	9	8	7

TABLEAU 2: Caractérisation du nombre de cycles d'exploitation par année d'étude.

Table 2: *Characterization of the number of operating cycles per each study year.*

La préconisation de pâturer au stade 3 feuilles a été respectée dans 53% des observations effectuées, 8% des pâturages ayant eu lieu avant ce stade et 39% après. Les mesures de hauteur d'herbe faites à l'herbomètre sur nos parcelles montrent que la méthode Herby® aboutit à des caractéristiques de gestion différentes de la gestion plus conventionnelle par hauteur d'herbe (Cliquet et al., 2019). Le temps de repos entre deux exploitations a été en moyenne de 64,8 jours (calcul fait sur la base des 12 mois de l'année) avec un écart type important (42 jours), dépendant bien entendu de la saison et des caractéristiques climatiques de l'année. Le temps de présence des animaux a été de 0,5 à 3 jours selon les exploitations. La date de premier pâturage était en moyenne le 25 mars. Par rapport aux pratiques de pâturage habituelles sur la zone d'étude, le pâturage PTD se distingue par un temps de présence court, un chargement instantané élevé, un temps de retour variable selon les saisons, une hauteur d'entrée plus faible au printemps et une hauteur de sortie plus haute.

1.3. Caractérisation du climat et des sols

Les fonds de cartes (relief, hydrographie, géologie, pédologie) ont été obtenus sur les sites de l'IGN et du BRGM (BRGM, 2006 ; IGN, 2012). Les données climatiques ont été fournies par Météo France dans le cadre de la Convention de recherche Météo France-INRA. Elles reposent sur le module Safran, qui modélise et interpole, sur un maillage de 8 km², les données météorologiques de température, humidité de l'air, rayonnement et pluviométrie enregistrées dans le réseau de stations Météo France. Les données locales relatives aux caractéristiques de sol sont issues de prélèvements effectués *in situ*. Le sol a été prélevé par horizons de 25 cm jusqu'à une profondeur de 75 cm, en

3 placettes sur chaque paddock. Sur chaque placette, 4 prélèvements ont été effectués à la tarière (diamètre 5,5 cm) et regroupés. Les analyses, effectuées en laboratoire régional, ont permis de déterminer la granulométrie des sols et leur teneur en éléments minéraux majeurs (N, P, K) et mineurs et en matière organique. La réserve utile en eau des sols a été calculée à partir des données de granulométrie et de profondeur (Rawls et al., 1982). En complément de ces analyses de minéraux du sol, des analyses de minéraux N-P-K ont été effectuées sur chacun des prélèvements d'herbe décrits plus bas. En effet, face à une diversité de types de sol, les analyses minérales sur végétation permettent d'évaluer de manière plus précise l'état de nutrition de l'herbe et des éventuels déficits que les analyses de minéraux faites à partir du sol (Duru et Thélier-Huché, 1997).

Les prairies suivies ont été peu fertilisées :

- 22 parcelles n'ont reçu aucune fertilisation de 2015 à 2019,
- 11 parcelles ont reçu une fumure organique uniquement, avec environ 14 tonnes de fumier par hectare, 1 à 2 fois sur les 5 ans de suivi, soit une moyenne de 14 à 28 kg N/ha/an environ,
- 2 parcelles ont reçu une fertilisation minérale, avec un apport moyen de 70 kg N/ha/an tous les 2 à 3 ans, soit une moyenne de 28 kg N/ha/an.

Ces valeurs de fertilisation sont faibles comparativement aux moyennes nationales pour 2017, de 42 et 51,8 kg N/ha/an de fertilisation N minérale et organique sur prairie temporaire, ou 26,5 et 19,7 kg N/ha/an de fertilisation N minérale et organique sur prairie permanente (Agreste, 2020).

1.4. Composition floristique

La composition floristique des prairies a été caractérisée en réalisant des relevés botaniques tous les 2 à 3 ans entre le 15 avril et le 15 mai sur chacun des 35 paddocks. La caractérisation floristique a été faite par prospection du paddock entier avec notation de présence/absence et attribution visuelle d'une note d'abondance relative (%) de chaque espèce à l'échelle du paddock. Les espèces « diverses » mentionnées dans la présentation des résultats floristiques correspondent à l'ensemble des espèces autres que les espèces semées.

Pour catégoriser les relevés selon leur composition floristique, une classification hiérarchique ascendante par l'algorithme de Ward a été réalisée (Saporta, 2006). L'algorithme a été implémenté sur la matrice des distances entre relevés, calculées avec la méthode de Bray-Curtis, qui prend en compte l'abondance des espèces. On dispose ainsi, pour chaque prairie et chaque date d'évaluation floristique, de couples prairie X année. Selon l'évolution de sa composition floristique, une prairie initialement dans un groupe floristique donné peut rester dans ce même groupe ou en changer au cours des 5 années du projet. Pour illustrer la répartition de la composition floristique des prairies,

une analyse en coordonnées principales (PcoA) a été réalisée sur la matrice des distances de Bray-Curtis. Elle intègre l'ensemble des relevés de chacune des prairies. Les espèces les mieux corrélées avec la position des relevés ont été représentées *a posteriori* afin d'identifier les espèces dominantes.

1.5. Production des prairies et valeur alimentaire de l'herbe pâturée

◆ Mesure de la production et de la valeur alimentaire

La production et la valeur alimentaire de l'herbe ont été mesurées à partir de prélèvements d'herbe effectués sur le terrain 1 ou 2 jours avant chaque cycle de pâturage (ou de rares cas de fauche), de manière aussi systématique que possible de 2015 à 2019. Les prélèvements ont été réalisés sur 3 placettes de 0,5 m² échantillonnées sur chaque paddock. La biomasse a été coupée à la hauteur de la gaine de la dernière feuille, afin de respecter les préconisations du pâturage PTD. Les échantillons prélevés ont ensuite été séchés à l'étuve, pesés pour évaluer la biomasse sèche et envoyés au laboratoire pour déterminer leur composition biochimique (teneurs en matière sèche, matière organique, matières azotées totales (MAT), cellulose brute et en fibres insolubles dans les détergents acides (ADF)). Ces valeurs ont permis de calculer les variables de valeur alimentaire des fourrages (UFL, PDIE, PDIN et UEL pour l'encombrement) selon les concepts et les équations développés dans INRA (2007). Les proportions de légumineuses de chaque échantillon ont été évaluées par spectrométrie dans le proche infrarouge (Surault *et al.*, 2006 ; Chataigner *et al.*, 2009).

Les données de biomasse ont été moyennées pour les trois répétitions de chaque paddock à chaque date de prélèvement. Ainsi, sur la base des 28 parcelles ayant pu être suivies au moins 3 années sur 5, on dispose de données de production et de valeur alimentaire sur 506 cycles d'exploitation. Ces données ont permis de calculer des cumuls de quantité d'herbe valorisée sur l'année ou jusqu'au 15 juillet, des vitesses de croissance par cycle, des nombres de cycles d'exploitation par année et des dates de début ou de fin d'exploitation.

◆ Les références de production régionale et de valeur alimentaire

Pour chaque année de mesure, les productions cumulées sur la première moitié (1^{er} février - 15 juillet) et sur l'ensemble de l'année (1^{er} février - 31 décembre) ont été comparées d'une part aux références de productions départementales publiées par Agreste. Ces références sont issues de simulations de croissance de l'herbe des prairies temporaires et des prairies permanentes par le modèle ISOP, cumulées du début de l'année au 15 juillet et sur l'ensemble de l'année (Rugé *et al.*, 2006). Les productions mesurées sur notre réseau Life PTD ont d'autre part été comparées aux données

communiquées par le réseau de « pousse de l'herbe », qui sont issues de la mesure de la pousse de l'herbe sur le terrain, généralement réalisée jusqu'au 15 juillet, sur un réseau de prairies dans plusieurs départements (Réseau de pousse de l'herbe en Deux-Sèvres et en Vienne ; Desmonière *et al.*, 2019). Ces deux références, Isop/Agreste et « Réseau Pousse de l'herbe » correspondent à des valeurs de production de biomasse, alors que les valeurs mesurées dans notre projet sont des valeurs de biomasse non seulement produite mais aussi prélevée par les ruminants au sens de la méthode PTD (pas de mesure de la biomasse produite si elle n'est pas valorisée par le pâturage ou éventuellement la fauche). Ces deux types de valeurs doivent être proches si l'herbe produite est bien valorisée par le pâturage.

Les valeurs alimentaires mesurées sur les parcelles de la présente étude ont été comparées aux valeurs données dans INRA (2007) pour la zone pédoclimatique la plus similaire (Prairie permanente de plaine, Le Pin au Haras).

◆ Analyse des données

Pour les données liées à la production d'herbe, des analyses de variance multi-facteurs prenant en compte la pluviométrie annuelle ou semestrielle, l'année, la zone géographique, le type de prairie et les états de nutrition N-P-K ont été réalisées sur la base de modèles linéaires à effet mixte, en sélectionnant les modèles les plus adaptés sur la base du critère d'information d'Akaike. Des tests appariés de Student ont été utilisés pour comparer les moyennes entre années et entre zones climatiques.

Concernant les données de valeur alimentaire, des modèles linéaires à effet mixte ont été mis en œuvre et des analyses de variance ont permis de tester les effets de la biomasse à l'entrée des animaux, du pourcentage de légumineuses, de la saison, de l'année, du groupe floristique et du type de prairie (temporaire ou permanente) sur la teneur en MAT et la valeur UFL. Le modèle le plus adapté a été sélectionné comme précédemment. Les interactions étaient non significatives, permettant de simplifier le modèle d'analyse. La significativité a été définie par la p-value du test ANOVA (significatif, très significatif ou hautement significatif pour respectivement $p < 0.05$, $p < 0.01$ et $p < 0.001$; non significatif (NS) pour $p > 0.05$), complétée par la valeur F Fisher si nécessaire.

2. Résultats et discussion

2.1. Contexte pédoclimatique

◆ Topographie et pluviométrie de la zone d'étude

La zone d'étude présente une importante variabilité spatiale en termes de relief, de pluviométrie et de caractéristiques pédologiques (Figure 1 ; Lemoine *et al.*, 2020a). L'altitude varie de 2 à 70 mètres à Niort, culmine à 270 mètres à Saint-Martin-du-Fouilloux au Sud-Sud-

Est de Parthenay (point culminant des Deux-Sèvres) et redescend à 100 mètres vers Thouars. La variabilité pluviométrique est en partie liée à cette variabilité altimétrique.

À l'échelle spatiale, les gradients pluviométriques se superposent aux gradients topographiques. Les masses d'air humide, le plus souvent en provenance de l'Ouest, tendent à se refroidir sur les zones les plus élevées, et donc à s'y décharger. Il en résulte des valeurs de précipitations annuelles qui s'étendent, en moyenne entre 2015 et 2018, de 857 mm/an en Gâtine, à 583 mm/an dans le Thouarsais, en passant par 741 mm/an dans le Bressuirais (Figure 1). Par là même, le Thouarsais présente des taux d'ensoleillement et des températures généralement un peu plus élevés qu'en Gâtine (12.8°C contre 12.2°C de moyenne journalière entre 2015 et 2018).

À l'échelle temporelle, l'année 2017 a bénéficié d'une pluviométrie plus faible que les autres années, notamment sur la saison principale de végétation (avril-mai-juin), alors que les étés 2016, 2018 et 2019 ont été moins pluvieux que les étés 2017 et surtout 2015 (Tableau 3).

	2015	2016	2017	2018	2019	Moyenne 2015- 2019
1 ^{er} janvier - 31 mars	172	328	187	293	126	221
1 ^{er} avril - 30 juin	164	196	123	249	167	180
1 ^{er} juillet - 30 septembre	216	59	131	97	66	120
1 ^{er} octobre - 31 décembre	129	107	152	275	450	227
Total annuel	681	690	593	914	809	737

TABLEAU 3 : Précipitations trimestrielles et annuelles pour chaque année étudiée, en moyenne sur l'ensemble de la zone d'étude (données Météo France).

Tableau 3: Quarterly and annual rainfall for each year studied, in average over the study area.

◆ Caractérisation des sols

Les origines volcaniques granitiques et métamorphiques schisteuses des parties ouest, centre et nord de la zone d'étude sont associées à des sols limoneux (Gâtine, Bressuirais) devenant plus limono-sableux dans le Thouarsais. Les piedmonts du sud-est de la zone d'étude (est de la Gâtine) sont d'origine sédimentaire et sont associés à des sols plutôt argilo-calcaires. De ces caractéristiques granulométriques et d'un gradient global de profondeur des sols, il découle une importante variabilité spatiale de la capacité de drainage et de rétention en eau des sols. La réserve utile en eau des sols est plus faible dans le Thouarsais qu'en Gâtine et dans le Bressuirais (données non montrées), du fait d'une teneur un peu plus élevée en sable et un peu plus faible en argiles et limons. Cette diminution de réserve utile en eau des sols se combine à la diminution de pluviométrie observée sur ce même axe géographique sud-ouest – nord-est pour aboutir à un important gradient décroissant de disponibilité en eau des sols de la Gâtine vers le Bressuirais et le Thouarsais.

Les teneurs en phosphore et en potassium échangeables des sols des paddocks étaient très hétérogènes, avec des valeurs de P_2O_5 variant de 30 à 602 mg/kg et des valeurs de K_2O variant de 50 à 1095 mg/kg. Sur la base des références du Comifer (2019), les valeurs mesurées sur nos parcelles indiquent une grande diversité de situations, allant de parcelles en situation limitante à des parcelles très largement excédentaires en P ou en K.

Face à la large diversité de sols explorée, l'interprétation agronomique des teneurs en P_2O_5 et K_2O des sols reste délicate. L'analyse de l'état de nutrition en phosphore et en potassium de la végétation permet de déterminer des indices de nutrition en N, P et K. Des indices inférieurs à 80%, compris entre 80 et 100% ou supérieurs à 100% indiquent respectivement des situations limitantes, satisfaisantes ou excédentaires en N, P ou K (Duru et Théliier-Huché, 1997). Les résultats obtenus dans notre étude montrent que l'indice de nutrition N (Figure 2A) est resté stable sur la période 2015-2019 et se situait dans une fourchette de 40 à 80% selon les parcelles. L'indice de nutrition P (Figure 2B) est également resté relativement stable au cours des années, à un niveau satisfaisant (entre 80 et 100%) sur la majorité des prairies du réseau. En ce qui concerne l'indice de nutrition K (Figure 2C), une diminution significative a été observée sur la quasi-totalité des parcelles, passant de valeurs plutôt excédentaires en 2015 et 2016, à des valeurs limitantes à partir de 2018 et surtout en 2019.

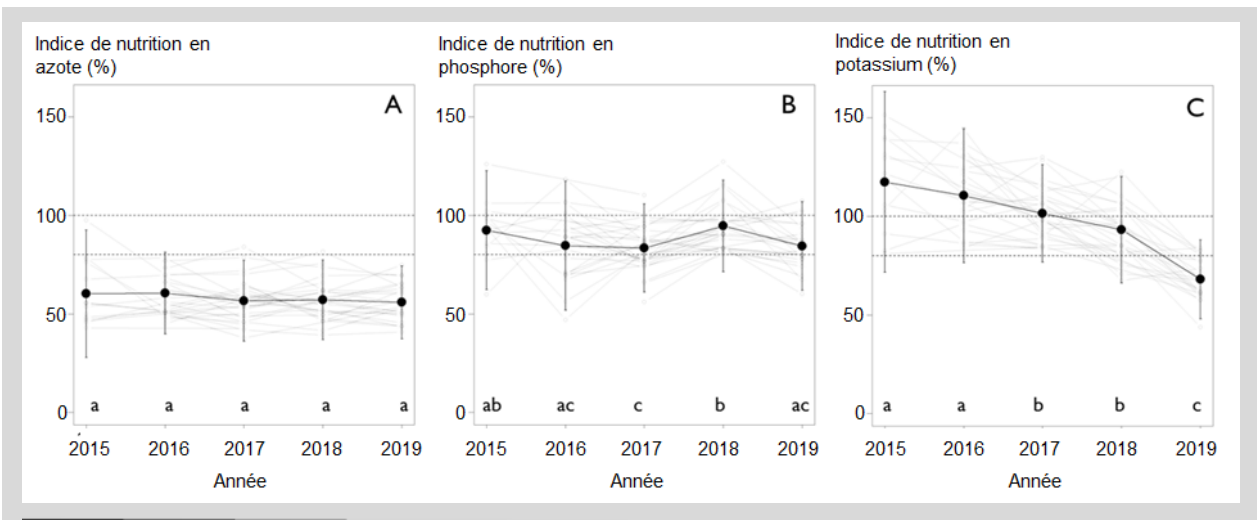


FIGURE 2 : Évolution des indices (%) de nutrition en azote (A), phosphore (B) et potassium (C) sur les parcelles du réseau au cours de la période d'étude (2015-2019). Ces indices indiquent des valeurs de nutrition satisfaisantes entre 80% et 100% (barres horizontales en pointillés), excédentaires au-dessus de 100% et insuffisantes en dessous de 80%. Les courbes en arrière-plan correspondent à chaque paddock. Les points noirs correspondent à la moyenne d'une année et les traits verticaux aux intervalles de confiance à 95%. Des lettres différentes entre 2 années indiquent des différences significatives ($p < 0,05$).

Figure 2: Evolution of nutrition indices (%) in nitrogen (A), phosphorus (B), and potassium (C) in network plots over the study period (2015-2019).

2.2. Composition floristique

◆ Description des groupes floristiques identifiés

La classification hiérarchique ascendante a conduit à l'identification de 6 groupes floristiques (Tableau 4). Ces groupes, composés chacun de 7 à 20 relevés floristiques, comprennent entre 53 et 67 espèces sur les 113 espèces identifiées au total. L'espèce *Ornithogallum umbellatum* était la seule espèce bénéficiant d'un statut de conservation (ZNIEFF) (groupe 5).

Sur l'ensemble des relevés, la fréquence de présence était la plus élevée pour les espèces ray-grass anglais (RGA ; *Lolium perenne*), trèfle blanc (TB ; *Trifolium repens*) et pâturin commun (PC ; *Poa trivialis*) (RGA > 90%, TB > 93% et PC > 78%). Cependant, les moyennes d'abondance relative de ces espèces diffèrent entre les groupes floristiques identifiés, comme le représente l'analyse en coordonnées principales qui permet d'illustrer la séparation des groupes et d'y positionner les espèces dominantes (Figure 3).

Les prairies des groupes 1, 2 et 3 présentent de plus fortes abondances en TB et RGA (plus du RGI pour le groupe 1) que les prairies des trois autres groupes (Tableau 4). Le groupe 1 correspond essentiellement à des prairies temporaires, tandis que les groupes 2, 4, 5 et 6 sont dominés par des prairies permanentes. Le groupe 4 présente la particularité d'être représenté par des prairies permanentes relativement plus anciennes, à végétation semi-naturelle (présence relativement plus importante d'espèces spontanées associées aux espèces semées).

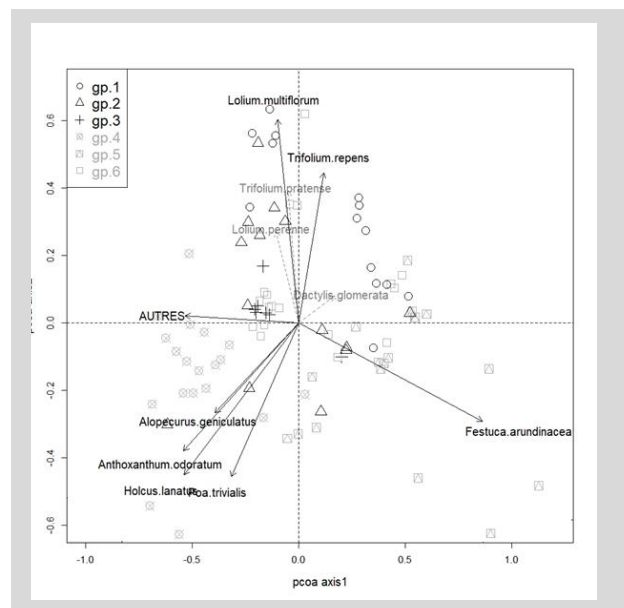


FIGURE 3 : Analyse en coordonnées principales (PCOA) de l'ensemble des couples relevé floristique x année, basée sur les abondances relatives des espèces (distances de Bray-Curtis). Les flèches noires correspondent aux corrélations des espèces avec le positionnement des relevés (1 symbole = 1 relevé). Les relevés en haut de la figure sont dominés par le ray-grass anglais et le trèfle, à gauche par la flouve odorante, la houlque laineuse, le pâturin commun, le vulpin genouillé et autres espèces diverses, à droite par la fétuque élevée.

Figure 3: Principal coordinate analysis (PCOA) of all floristic survey x year, based on relative species abundances (Bray-Curtis distances).

Groupe 1 (n=14)	<p>Groupe dont les relevés présentent des abondances assez équilibrées entre RGA (24%), TB (21%), fétuque élevée (<i>Festuca arundinacea</i>) (11%), trèfle violet (TV ; <i>Trifolium pratense</i>) (6%) et ray-grass italien (RGI ; <i>Lolium multiflorum</i>) (21%). La présence de ces deux dernières espèces et de fétuque élevée est caractéristique de ce groupe.</p> <p>Type de prairie : essentiellement des prairies temporaires (PT : 10 ; PP : 4).</p> <p>Localisation : sur les 3 zones géoclimatiques (Gât. : 3 ; Bres. : 7 ; Thouar. : 4)</p> <p>Evolution : prairies évoluant vers un autre groupe floristique au cours du projet, soit vers le groupe 5 (9 individus) soit vers le groupe 2 (3 individus).</p>
Groupe 2 (n=14)	<p>Groupe dominé par le RGA (63%) et le TB (15%), le premier étant davantage représenté. Faible abondance de fétuque élevée (4%).</p> <p>Type de prairie : généralement des prairies permanentes (PT : 2 ; PP : 12).</p> <p>Localisation : essentiellement en Gâtine et Bressuirais (Gât. : 10 ; Bres. : 4 ; Thouar. : 0).</p> <p>Evolution : pas de prairie quittant ce groupe au cours de la période d'étude. En revanche ce groupe accueille des prairies (3) venant du groupe 1.</p>
Groupe 3 (n=7)	<p>Groupe dominé par le TB (33%) et le RGA (14%), la première espèce étant davantage dominante. Faible abondance de fétuque élevée (2%).</p> <p>Type de prairie : équilibré (PT : 3 ; PP : 4)</p> <p>Localisation : essentiellement en Gâtine (Gât. : 6 ; Bres. : 1 ; Thouar. : 0)</p> <p>Evolution : peu d'évolution, prairies restant dans le même groupe hormis un cas évoluant vers le groupe 2.</p>
Groupe 4 (n=20)	<p>Groupe caractérisé par des présences et abondances relativement élevées en espèces spontanées : houlque laineuse (<i>Holcus lanatus</i>) (7%), flouve odorante (<i>Anthoxanthum odoratum</i>) (6%), pâturin commun (8%) et présence redondante de renoncules (<i>Ranunculus sp.</i>), pissenlits et bromes mous (<i>Bromus mollis</i>). Faible abondance de TB (8%), RGA (14%), fétuque élevée (<1%).</p> <p>Pour une partie des parcelles de ce groupe, le vulpin genouillé (<i>Alopecurus geniculatus</i>), le pâturin des prés (<i>Poa pratensis</i>), la vulpie (<i>Vulpia myuros</i>) ou encore la fétuque rouge (<i>Festuca rubra</i>) sont bien présents.</p> <p>Hormis la houlque laineuse, le vulpin genouillé et le pâturin commun, les espèces dominantes des relevés de ce groupe sont à tendance acidophiles (Julve, 1998).</p> <p>Type de prairie : en général des prairies permanentes semées avant 2007 (PT : 3 ; PP : 17).</p> <p>Localisation : réparties sur les 3 zones pédoclimatiques (Gât. : 9, Bres. : 5, Thouar. : 6).</p> <p>Evolution : peu d'évolution, hormis 2 prairies passant dans le groupe 2.</p>
Groupe 5 (n=19)	<p>L'espèce dominante et présente dans tous les relevés de ce groupe est la fétuque élevée (66 % d'abondance relative). Le dactyle est souvent présent mais de façon éparse (3%). Présence relativement faible de RGA (7%), TB (11%) et pâturin commun (3%).</p> <p>Type de prairie : groupe dominé par les prairies permanentes (PT : 5 ; PP : 14).</p> <p>Localisation : réparties sur les 3 zones pédoclimatiques (Gât. : 5 ; Bres. : 8 ; Thouar. : 6).</p> <p>Evolution : pas de prairie quittant ce groupe. En revanche ce groupe 5 accueille des prairies venant du groupe 1 (6 prairies) et du groupe 6 (2 prairies).</p>
Groupe 6 (n=18)	<p>Abondance intermédiaire de RGA (23%) et TB (9%). Les relevés de ce groupe se différencient par la présence importante de dactyle (29%).</p> <p>Type de prairie : groupe dominé par les prairies permanentes (PT : 3 ; PP : 15).</p> <p>Localisation : prairies réparties sur les 3 zones (Gât. : 8 ; Bres. : 8 ; Thouar. : 2).</p> <p>Evolution : faible, seulement 2 prairies (du Thouarsais) passant dans le groupe 5.</p>

TABEAU 4: Description des groupes floristiques identifiés et de leur dynamique : abondance moyenne des espèces principales, répartition des types de prairie (PT : prairie temporaire ; PP : prairie permanente), localisation géographique (Gât. : Gâtine, Bres. : Bressuirais et Thouar. : Thouarsais), et évolution des groupes de rattachement des prairies au cours de la période d'étude.
Table 4: Description of the identified floristic groups and their dynamics: average abundance of the main species, distribution of the types of grassland (PT: temporary grassland; PP: permanent grassland), geographical location (Gât.: Gâtine, Bres.: Bressuirais and Thouar.: Thouarsais), and evolution of the groups of attachment of the grasslands during the study period.

Les groupes 2 et 3 sont localisés essentiellement en Gâtine et dans une moindre mesure dans le Bressuirais, mais absentes du Thouarsais. Les groupes 4 et 5 sont les groupes proportionnellement les plus représentés dans le Bressuirais et le Thouarsais.

◆ Une évolution dictée en partie par les facteurs pédoclimatiques et l'âge des prairies

Les prairies du groupe 1, constituées en large majorité de prairies jeunes à flore semée multi-espèces, sont celles dont la composition floristique a le plus évolué. Elles ont connu une régression des espèces RGI

et TV, dans une majorité de cas (9 prairies sur 14) en faveur de la fêtuque élevée, devenue dominante, avec une évolution vers le groupe 5 (Tableau 4). Dans 3 autres cas, la régression des RGI et TV s'est faite au profit du RGA, vers le groupe 2. La régression des RGI et TV s'explique par la faible pérennité de ces deux espèces, justement semées pour qu'une transition s'établisse en attendant l'implantation plus lente du RGA et/ou surtout de la fêtuque élevée. Généralement, les prairies qui étaient dominées par la fêtuque élevée en fin de projet (2019), largement rattachées au groupe 5, étaient situées dans un contexte pédoclimatique séchant (Bressuirais et surtout Thouarsais). En revanche, les prairies de RGA et TB du groupe 2 ou 3, en contexte climatique plus humide (majoritairement en Gâtine), ont gardé une composition floristique relativement stable en espèces dominantes. Cette observation d'une évolution des prairies multi-espèces vers la dominance de la fêtuque élevée par rapport au RGA en zones à contexte séchant, a rarement été décrite de manière documentée à l'échelle d'un réseau de prairies. Des travaux récents conduits sur un réseau de prairies de Bretagne et Pays de Loire, rejoignent cette conclusion (Civam, 2020a).

En revanche, les prairies à dactyle du groupe 6, situées en contexte climatique intermédiaire entre celui de la Gâtine et du Thouarsais, sont restées stables ou ont évolué vers une codominance avec le RGA ou la fêtuque élevée, alors qu'on aurait pu penser que le dactyle, espèce également réputée tolérante à la sécheresse, serait devenu, comme la fêtuque élevée, dominant en zone plus sèche. Les prairies du groupe 4, à houlque laineuse et flouve odorante, généralement plus âgées et sur terrain plus acide, sont essentiellement restées dans le même groupe, mais leurs abondances en RGA, TB, PC, agrostide fin et vulpin genouillé ont évolué de façon assez aléatoire.

L'abondance des légumineuses, caractérisée à partir des relevés floristiques en avril-mai, était plus élevée dans les groupes 1, 2 et 3 (moyenne de 30% ±12, 16% ±15 et 35% ±8, respectivement) que dans les groupes 4, 5 et 6 (moyenne de 10% ±10, 11% ±9 et 9% ±7, respectivement). Ces valeurs se situent, pour les groupes 1, 2 et 3, dans la fourchette haute par rapport aux références disponibles dans la littérature. En effet, une proportion moyenne de 11% de légumineuses est rapportée par Jeuffroy *et al.*, (2015) pour les prairies permanentes à l'échelle nationale. Une proportion moyenne de 15 à 23% est rapportée sur un réseau de prairies de Bretagne et Pays de la Loire (Civam, 2020b). Entre la première et la dernière année de suivi, l'abondance des légumineuses a diminué surtout pour les prairies qui sont passées du groupe 1 au groupe 5, de par la diminution voire la disparition du trèfle violet principalement, et en corrélation négative avec l'abondance des graminées ($r=-0,9$). Pour le reste des groupes, l'abondance des légumineuses est restée relativement stable (cf Lemoine *et al.*, 2020b pour plus de détails).

Concernant les espèces « diverses » (espèces autres que les espèces semées), on a observé une augmentation du nombre de ces espèces sur presque tous les paddocks (données non montrées ; cf. Lemoine *et al.*, 2020b). Ceci peut être lié au vieillissement des prairies, à l'effet du pâturage en lui-même, à de faibles niveaux de fertilisation (Socher *et al.*, 2013) ou aussi à une diminution de la compétitivité des graminées vis-à-vis des diverses, en lien avec une diminution de la productivité des prairies. Néanmoins, sur nos prairies du réseau Life PTD, l'abondance totale de l'ensemble de ces espèces « diverses » restait généralement inférieure à 10%. De ce fait, ces espèces « diverses » ne constituaient pas, dans la plupart des cas, un caractère envahissant et pénalisant pour la prairie, surtout lorsqu'il s'agissait d'espèces de petite taille comme les véroniques, myosotis, céraistes, géraniums ou même du plantain lancéolé ou des pissenlits. En revanche, lorsqu'elles étaient présentes et bien qu'elles ne semblaient pas envahissantes durant la période d'étude, certaines espèces comme les cirses, chardons, rumex ou porcelle restent à surveiller.

2.3. Production d'herbe valorisée sur le réseau Life PTD et variabilité entre sites et entre années

◆ Variabilité spatiale

Les quantités d'herbe valorisée, cumulées sur l'année complète ou du 1^{er} février au 15 juillet (saison principale de végétation) de chaque année, ont varié fortement entre parcelles et entre zones (Figure 4, qui permet aussi d'illustrer les variations de dynamique saisonnière d'accumulation de biomasse). À titre d'exemple, les quantités d'herbe valorisée annuelles mesurées variaient de 4 à 14 t MS/ha en 2015, et de 2 à 8 t MS/ha en 2018.

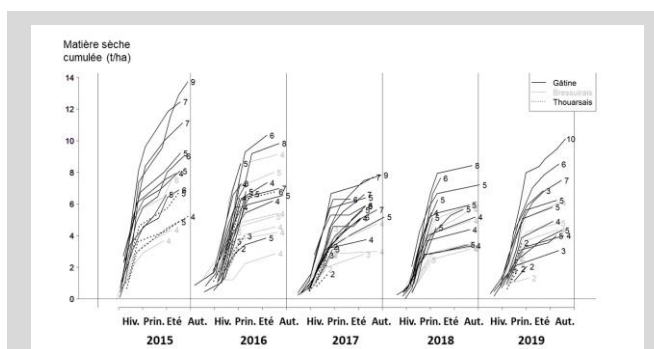


FIGURE 4 : Quantités d'herbe produite et valorisée par les animaux, cumulées au cours de l'année (1 courbe correspond à 1 paddock) pour chaque année d'étude (2015 à 2019). Les courbes noires en traits continus, grises en traits continus et noires en traits pointillés, représentent respectivement les prairies de Gâtine, du Bressuirais et du Thouarsais. Les chiffres indiquent le nombre de cycles par an.

Figure 4: Quantities of grass produced and valued by the animals, accumulated over the year (1 curve corresponds to 1 paddock) for each study year (2015 to 2019).

La zone géo-climatique est un des premiers facteurs explicatifs de la variabilité observée, conduisant à des productions annuelles moyennes sur la période 2015-2019 significativement plus élevées en Gâtine (6,5 t/ha) et plus faibles dans le Bressuirais (4,3 t/ha) et le Thouarsais (3,5 t/ha) ($p < 0.0006$; Figure 5A). La pluviométrie est le premier facteur expliquant les écarts de rendement entre zones. Les valeurs de production de ces 3 zones augmentaient dans le sens du gradient de pluviométrie annuelle. Toutefois, cet effet à l'échelle des zones géo-climatiques ne doit pas faire oublier que les variabilités pédologique, climatique et de production sont également importantes à l'intérieur de chaque zone. Ainsi, sur l'ensemble des données et donc indépendamment des zones géo-climatiques, le rendement de chaque parcelle, cumulé au 15 juillet, était significativement corrélé à la pluviométrie locale de chaque site au premier semestre de l'année, tandis que le rendement de la période été-automne était significativement corrélé à la pluviométrie de la seconde moitié de l'année (données non montrées, cf. Lemoine et al., 2020c pour plus de détails). Des différences de 100 mm de pluviométrie cumulée au 15 juillet ont occasionné des différences de 0,8 t MS/ha pour les rendements cumulés au 15 juillet.

Les prairies les plus productives sont celles qui ont généralement connu le plus de cycles de prélèvements. Le nombre de cycles réalisés par année était plus élevé en Gâtine (5,0) que dans le Bressuirais (3,7) et le Thouarsais (2,9) ($p < 0.036$; Figure 5B). La vitesse de croissance (biomasse / temps de repousse) était plus élevée en Gâtine. Les prairies du Bressuirais ne produisaient ni plus, en quantité par cycle, ni plus rapidement, de biomasse végétale que celles du Thouarsais. Cependant leur période de production et

d'utilisation de l'herbe était davantage prolongée dans la saison (climat et sols plus favorables), expliquant leur nombre de cycles et leurs rendements annuels supérieurs à ceux du Thouarsais.

Au-delà de la pluviométrie, de nombreux autres facteurs peuvent expliquer la variabilité des rendements. Dans la présente étude, la comparaison du type de prairie, temporaire ou permanente, a montré une légère différence de production en faveur des prairies permanentes, avec une moyenne supérieure de 0,18 t/ha ($p < 0,018$) à la production des prairies temporaires sur l'ensemble de la période. Par ailleurs, les rendements étaient plus élevés ($p < 0.0022$) pour les prairies dominées par le ray-grass anglais et le trèfle blanc (groupes 2 et 3, moyenne de 7,2 t MS/ha/an) que pour les prairies des groupes 4, 5 et 6 (moyenne de 5,3 t MS/ha/an). Toutefois les prairies des groupes 2 et 3 étaient largement situées en Gâtine, de sorte qu'il peut y avoir confusion d'effet entre la composition floristique et la plus grande pluviométrie de cette zone géo-climatique.

Aucun effet des concentrations en N total, P_2O_5 ou K_2O échangeables des sols sur la variabilité spatiale des rendements n'a pu être identifié. Ces concentrations dans les sols ne reflètent pas forcément la disponibilité de chacun des éléments minéraux, qui peut aussi dépendre du pH, de la texture et d'encore bien d'autres caractéristiques. En revanche, les corrélations positives ($r > 0,5$) et significatives ($p < 0,001$) qui ont été observées entre les rendements en herbe et les indices de nutrition en potassium et en azote, indiquent que la nutrition en potassium et en azote est un facteur qui peut expliquer en partie la variabilité spatiale des rendements, en plus des facteurs mentionnés précédemment.

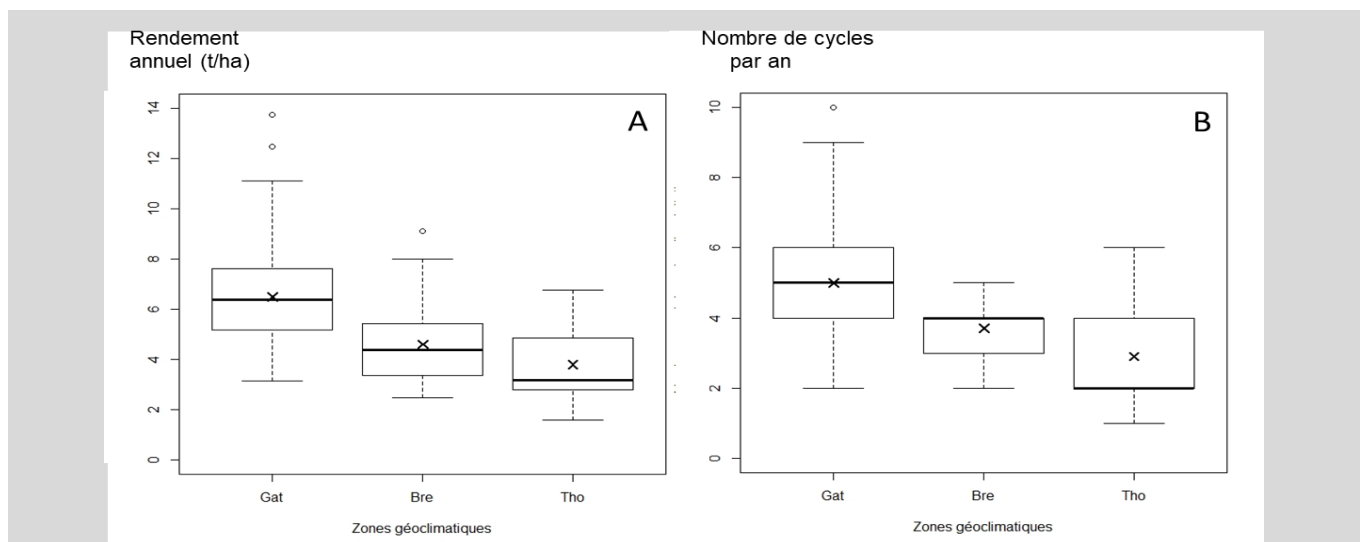


FIGURE 5 : Rendements cumulés annuels (A) et nombre annuel de cycles de pâturage (B) selon les zones géoclimatiques (Gâtine, Bressuirais et Thouarsais). Les boîtes à moustache représentent les valeurs minimales, maximales, les quartiles supérieurs et inférieurs, la moyenne (croix) et la médiane (trait gras).

Figure 5: Annual cumulative yields (A) and annual number of grazing cycles (B) by geoclimatic zone (Gâtine, Bressuirais et Thouarsais).

◆ Variabilité temporelle

Les comparaisons interannuelles montrent que les rendements annuels ont diminué de manière significative de 2015 à 2017 et semblent être restés stables entre 2017, 2018 et 2019 (Figure 6B). La baisse moyenne des rendements annuels était de 1,7 t MS/ha par an de 2015 à 2017. Les rendements annuels sont fortement dépendants des rendements cumulés au 15/07. Les rendements cumulés de janvier au 15/07 étaient significativement plus faibles en 2017-2018-2019 qu'en 2015-2016, avec en moyenne 2,3 t MS/ha en moins (Figure 6A).

La production supplémentaire valorisée dans la seconde partie de l'année, entre le 15/07 et le 31/12, reste faible (0,6 t MS/ha en moyenne sur la durée du projet) mais non négligeable. Cette production d'automne est néanmoins relativement aléatoire et variable entre années, du fait de la variabilité de la date de retour des pluies à cette période dans cette région, et aussi du fait que la portance des sols à l'automne peut être évaluée différemment selon les éleveurs et leur type de sol.

Les différences de production entre années peuvent s'expliquer en partie par les aléas climatiques. Toutefois, d'autres causes, de nature très diverse, peuvent être en jeu. La comparaison des données de notre réseau Life PTD aux données de référence ISOP/Agreste, qui prennent en compte les effets et la

variabilité climatiques, toutes autres causes stables par ailleurs, permet de tester l'origine climatique ou non climatique des variations de production entre années.

◆ Comparaison des productions mesurées sur le réseau Life PTD aux références régionales

Les rendements cumulés au 15/07 mesurés sur notre réseau Life PTD sont globalement du même ordre de grandeur que ceux mesurés sur le réseau « pousse de l'herbe » en Deux-Sèvres et Vienne (Figure 6A ; losanges entre deux histogrammes), du moins sur les 3 premières années. La comparaison des rendements de notre réseau Life PTD avec les données de référence ISOP / Agreste (Figures 6A, B ; carrés au-dessus des histogrammes) montre également des productions du même ordre de grandeur. Même si ces deux références régionales ont également une part d'imprécision, elles sont très cohérentes entre elles puisque les productions mesurées au 15/07 sur le réseau « pousse de l'herbe », qui ne différencie pas les prairies temporaires et permanentes, sont systématiquement situées entre les valeurs pour les prairies temporaires et permanentes du réseau Isop / Agreste à cette même date.

Ainsi, cette comparaison montre que la production valorisée sur le réseau Life PTD est très proche du potentiel de production régionale. Cette conclusion est confortée par la cohérence des valeurs de production entre les deux références « pousse de l'herbe » et Isop / Agreste. Ce résultat doit être analysé en prenant

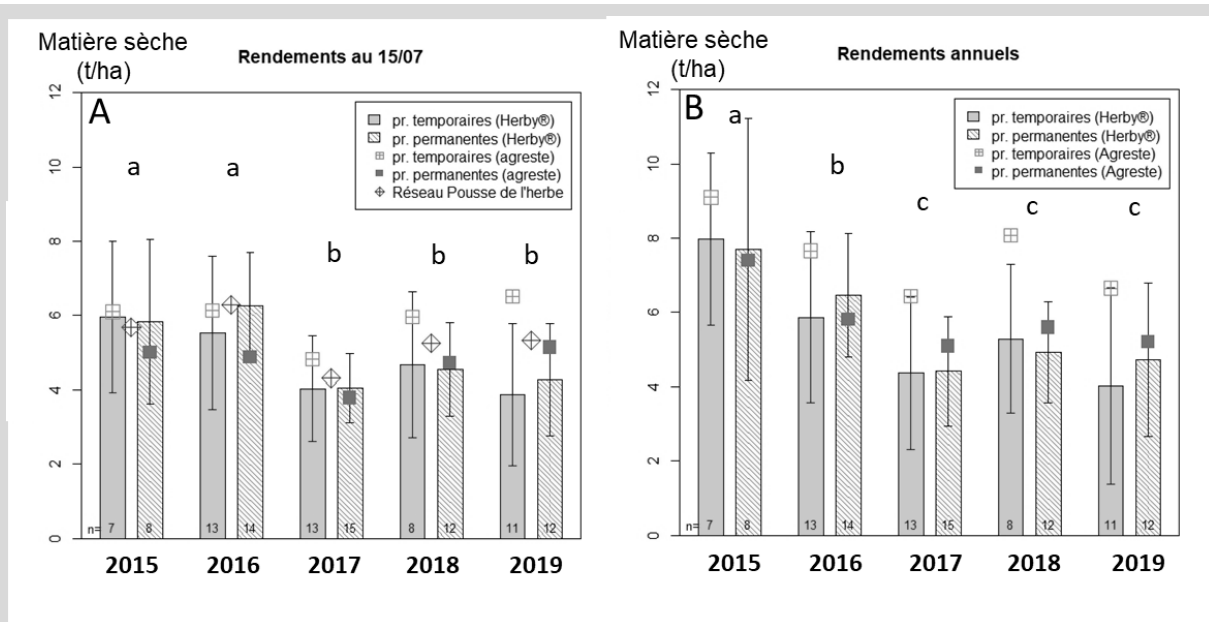


FIGURE 6 : Évolution des rendements moyens cumulés au 15/07 (A) et annuels (B) mesurés sur les prairies permanentes et temporaires du réseau Life PTD sur la période 2015-2019, et comparaison aux références régionales. Les histogrammes représentent les moyennes des rendements mesurés cumulés au 15 juillet (gauche) et au 31 décembre (droite) (histogrammes pleins : prairies temporaires ; histogrammes hachurés : prairies permanentes). Les carrés représentent les rendements cumulés des références ISOP/Agreste (clairs : prairies temporaires ; foncés : prairies permanentes). Les losanges représentent les données issues du réseau « pousse de l'herbe », disponibles uniquement au printemps et sans distinction du type de prairie. Des lettres différentes indiquent des différences significatives (test apparié ; $p < 0,05$).

Figure 6: Evolution of cumulative average yields as of 15/07 (A) and annual yields (B) measured on permanent and temporary grasslands of the Life DRG network over the period 2015-2019, and comparison with regional references.

également en compte que les parcelles du réseau Life PTD reçoivent des niveaux de fertilisation en azote un peu plus faibles que les niveaux habituels. Cette différence est liée à la bonne présence des légumineuses et à la préconisation faite par les techniciens de notre réseau de limiter les apports de fertilisants, d'autant que la présence de clôtures plus nombreuses que dans un pâturage classique complexifie le travail mécanique et notamment le passage d'épandeurs à fumier dans les parcelles.

La diminution de production valorisée au cours des 5 années de mesure sur notre réseau pose néanmoins question. Les pratiques agronomiques restant globalement stables au cours des 5 années, aussi bien sur notre réseau que dans les hypothèses de calcul des références ISOP/Agreste ou les pratiques du réseau « Pousse de l'herbe », la production valorisée sur notre réseau Life PTD n'a *a priori* pas de raison de s'écarter progressivement de ces références. La diminution de production observée sur le réseau Life PTD par rapport à ces références régionales, dans les 2 dernières années, indique donc que les rendements mesurés sur le réseau Life PTD diminuent non pas pour des raisons de variabilité climatique, mais pour des raisons autres, liées à des caractéristiques intrinsèques des prairies du réseau Life PTD.

Cette diminution de production pourrait être liée, pour une partie au moins des parcelles, à la diminution de la nutrition en potassium en dessous du seuil critique montrée plus haut (voir Figure 2C), et à la corrélation observée entre rendement et indice de nutrition en potassium. Cette contrainte minérale s'est établie progressivement, probablement en raison d'une fertilisation d'entretien insuffisante sur certaines prairies, malgré les retours animaux liés à la situation de pâturage. Le vieillissement des prairies pourrait également être un facteur de diminution des

rendements. En effet, la production de certaines prairies semées peut diminuer avec l'âge (Civam, 2020b), pour des raisons encore mal identifiées. Par ailleurs, les sécheresses répétées, notamment la sécheresse de 2017, ont pu porter préjudice à l'état général des prairies étudiées.

2.4. Valeur alimentaire

Sans chercher à établir un ordre d'importance, les analyses de variance montrent que les composantes de la valeur alimentaire de l'herbe prélevée sur le réseau Life PTD, MAT, densité énergétique et rapport PDI/UFL, variaient significativement selon la biomasse présente à l'entrée des animaux, la proportion de légumineuses et la saison, mais aussi selon le type de graminées dominantes (groupe floristique), l'année de prélèvement et dans une moindre mesure du caractère temporaire ou permanent de la prairie (Tableau 5).

La biomasse présente sur les paddocks, le pourcentage de légumineuses et la saison ont le plus fort impact sur la valeur alimentaire de l'herbe (Tableau 5, valeur de F). A chaque fois que la biomasse présente à l'entrée des animaux augmente d'une tonne de matière sèche, dans le même temps la teneur en MAT de l'herbe et la valeur UFL baissent de 1,8 et 0,05 points, respectivement. Dans le même ordre d'idée, pour une augmentation de 10% de la part des légumineuses dans le couvert, la teneur en MAT et la valeur UFL sont améliorées de 0,8 et 0,016 points, respectivement.

Si la valeur nutritive de l'herbe pâturée est significativement différente entre années (voir Tableau 2), on n'observe pas de tendance d'évolution positive ou négative des valeurs au cours des années de l'étude.

Facteur	MAT		UFL/UEL		PDI/UF	
	F-value	P-value	F-value	P-value	F-value	P-value
Biomasse entrée	178,7	<0,0001	182,0	<0,0001	0,0	0,8575
% légumineuses	60,2	<0,0001	61,9	<0,0001	0,0	0,9461
Saison	52,1	<0,0001	78,0	<0,0001	26,2	<0,0001
Année	11,3	<0,0001	6,1	<0,0001	6,3	<0,0001
Groupe floristique	4,3	0,0003	3,4	0,0028	2,0	0,0659
Type prairie	7,8	0,0054	3,5	0,0626	4,1	0,0449

TABLEAU 5 : Résultats des analyses de variance sur les composantes de la valeur nutritive (Matières Azotées Totales (MAT), densité énergétique (UFL/UEL), et équilibre énergétique (PDI/UFL)) de l'herbe pâturée sur le réseau Life PTD.

Tableau 5: Results of the analyses of variance on the components of the nutritional value (Total Nitrogen Matter (T.N.M.), energy density (U.F.L./U.I.L.), and energy balance (P.I.L./U.F.L.) of the pasture grass on the Life DRG network.

◆ Effet de la saison et de la composition en espèces

Les deux principales composantes de la valeur alimentaire, MAT et densité énergétique, évoluent de manière importante et relativement parallèle au cours de l'année (Figures 7A, 7C).

La teneur moyenne annuelle en MAT de l'herbe pâturée est élevée (17,2%) mais elle varie fortement avec la saison (Figure 7A), passant en moyenne de 16,5% au printemps, à 14,4% en été, 17,8% en automne et 20,0% en hiver.

La densité énergétique est également relativement élevée, avec en moyenne 1,02 UFL/UFL. Comme la MAT, la densité énergétique varie significativement avec les saisons ($p < 0.0001$; Figure 7C). Elle est en moyenne de

1,02 UFL/UFL au printemps, 0,93 UFL/UFL en été, 1,05 UFL/UFL à l'automne et 1,16 UFL/UFL en hiver.

Les diminutions de MAT et de densité énergétique qui sont observées au cours du printemps, sont en partie liées à l'augmentation de la biomasse végétale qui explique respectivement 9,5% et 16% de leur variabilité. Ces diminutions sont aussi probablement liées à l'évolution du rapport feuilles/tiges (non mesuré) entre les stades végétatif et reproducteur de la végétation, qui est également déterminante pour la valeur alimentaire (INRA, 2007). A partir de septembre, les conditions climatiques s'améliorent, la production de biomasse végétale redémarre tout en restant à un stade feuillu et avec une biomasse nettement plus faible qu'au

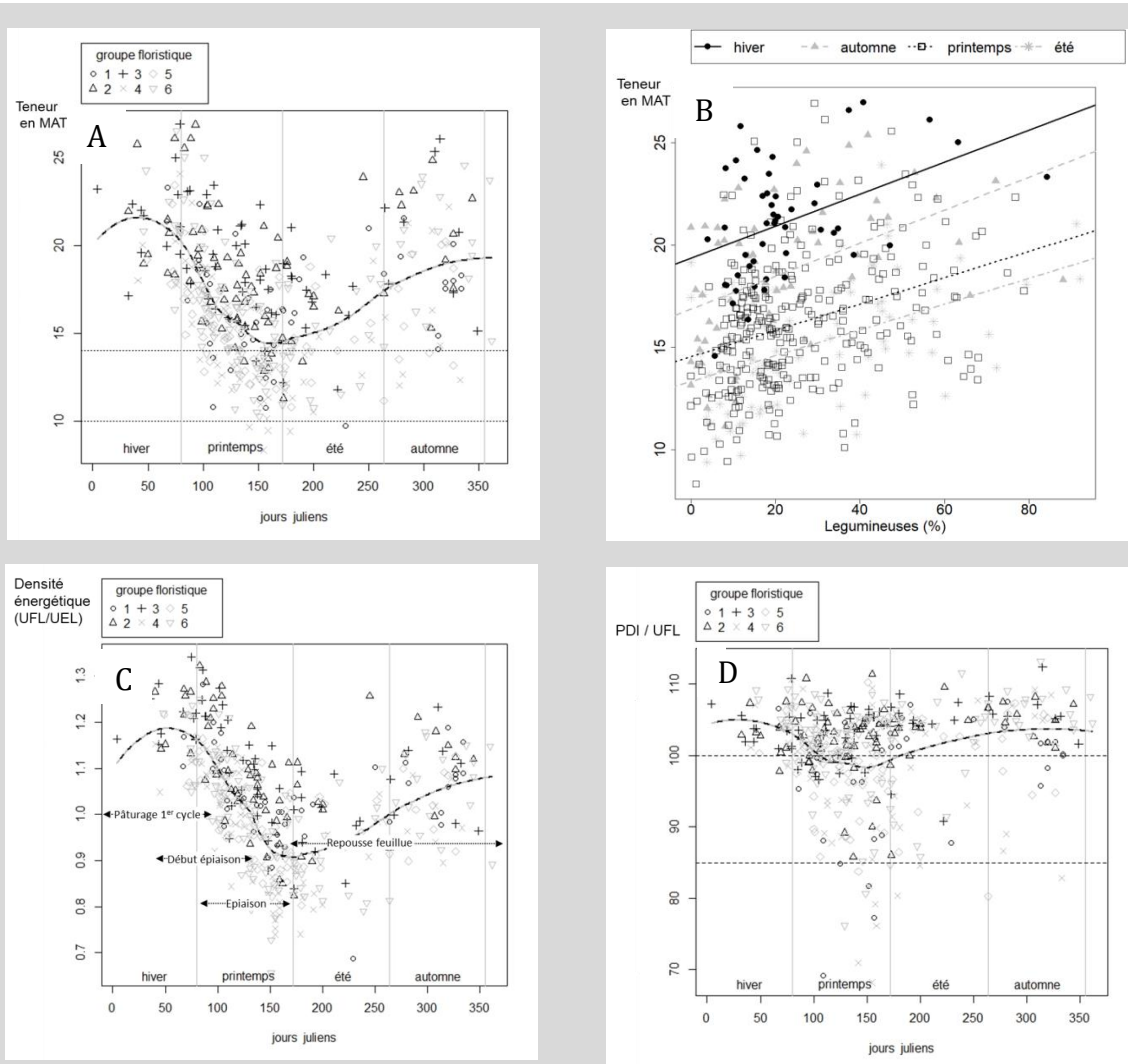


FIGURE 7 : Evolution au cours des saisons des teneurs en Matières Azotées Totales (A), des teneurs en MAT en fonction de la proportion de légumineuses (B), des densités énergétiques (C ; UFL/UFL) et du rapport PDI / UFL mesurés sur le réseau Life PTD de 2015 à 2019. Les valeurs sont moyennées sur les années d'étude. Les courbes en tirets correspondent au lissage des points de mesure sur l'ensemble des groupes floristiques (6A, C, D). Les groupes floristiques sont représentés par les symboles. Les pointillés horizontaux replacent les valeurs mesurées par rapport à des valeurs de référence issues de la littérature (cf. texte).

Figure 7: Evolution over the seasons of Total Nitrogen Matter contents (A), TNM contents according to the proportion of legumes (B), energy densities (C; UFL/UFL) and the PDI / UFL ratio measured on the Life DRG network from 2015 to 2019.

printemps, et de ce fait les teneurs en MAT et les densités énergétiques remontent.

Outre l'effet biomasse, les variations de la MAT sont également liées aux variations de la proportion de légumineuses entre parcelles et entre saisons. La proportion de légumineuses dans les couverts, déterminée ici par analyse en spectroscopie infra-rouge sur chaque échantillon d'herbe, explique 20 à 26% de la variabilité de la teneur en MAT de l'herbe pâturée. La proportion de légumineuses est plus faible en automne et en hiver (21,0 et 22,4% respectivement) et plus élevée au printemps et en été (25,4 et 28,9%, respectivement). La relation entre % légumineuses et teneur en MAT varie entre saisons (Figure 7B). Cette relation est plus basse au printemps et en été, et plus haute en automne et en hiver, du fait des variations de biomasse et de présence de tiges entre saisons, discutées précédemment.

Ainsi, contrairement à certaines idées reçues, la valeur nutritive de l'herbe pâturée en automne-hiver n'est pas inférieure à celle du printemps, bien au contraire. Dans le réseau Life PTD, l'herbe pâturée durant la période automne-hiver a une teneur en MAT supérieure de 22% et une valeur UFL supérieure de 6% à de l'herbe pâturée durant les périodes printemps et été. Delagarde *et al.*, (1999) rapportent qu'à l'automne le principal facteur qui peut-être limite l'ingestion n'est pas la qualité de l'herbe pâturée mais son ingestibilité et son appétence, du fait de sa faible teneur en matière sèche et de la possible présence de matériel mort.

La nature des espèces en place dans les prairies a également une influence sur la qualité fourragère. Les échantillons prélevés sur les prairies groupes 1, 2, 3, dominées par du ray-grass (anglais ou italien) et le trèfle (blanc ou violet), présentent des valeurs de MAT (moyenne de 18,3%) et de densité énergétique (moyenne de 1,08 UFL/UFL) plus élevées que les échantillons prélevés sur les prairies des groupes 4, 5, 6, dominées par de la fétuque élevée, du dactyle ou d'autres graminées (moyennes de MAT 15,9% ; UFL/UFL : 0,98). Les échantillons prélevés sur les prairies du groupe 4, dominées par des graminées spontanées, présentent les plus faibles valeurs alimentaires. La valeur alimentaire plus élevée des groupes 1, 2 et 3 s'explique par l'abondance élevée de ray-grass et de trèfle, espèces prairiales parmi les plus riches en MAT (trèfles) et les plus digestibles. Inversement, la valeur alimentaire plus faible des groupes 5 et 6 correspond à l'abondance élevée d'espèces un peu moins digestibles (fétuque élevée, dactyle) et pour le groupe 4 à l'abondance relativement plus importante de nombreuses autres espèces prairiales non semées, dont certaines peuvent être de bonne qualité (ex : pâturin commun) mais dont la majorité a généralement une valeur pastorale plus faible (<http://eflorasys.univ-lorraine.fr/>).

◆ Comparaison aux références de la littérature

Il est généralement admis que des seuils de l'ordre de 10% en MAT pour des vaches allaitantes (Micol *et al.*,

2003) et de l'ordre de 14% pour des vaches laitières (Peyraud, 2000), permettent de garantir un bon équilibre de la ration et de maintenir le niveau d'ingestion des animaux. Si l'on considère ces deux valeurs de référence, sur 479 cycles de pâturage Life PTD entre 2015 et 2019, les besoins d'une vache allaitante sont couverts dans 99% des cas et les besoins d'une vache laitière dans 77% des cas. Les teneurs en MAT inférieures à 14% sont issues en majorité de prairies pâturées en mai-juin au cours de l'épiaison des graminées. Ces prairies se caractérisent par une part de légumineuses faible dans le couvert (aux alentours de 10 à 15%) et une biomasse relativement élevée à l'entrée des animaux.

Les valeurs de densité énergétique peuvent être comparées aux références obtenues pour une prairie permanente de plaine (Le Pin au Haras ; INRA, 2007) à différents stades (pâturage au 1^{er} cycle, repousses feuillues de 5 semaines, début épiaison et épiaison). Dans 60% des cas, la valeur UFL/UFL de l'herbe pâturée sur le réseau Life PTD est supérieure à celle d'une prairie permanente de plaine pâturée au premier cycle. Dans seulement 15% des cas, elle est inférieure à la valeur UFL/UFL d'une prairie au stade début d'épiaison. Par ailleurs, Delagarde (2009) indique que les valeurs de 0,9, 1,0 et 1,1 sont des valeurs de densité énergétique respectivement bonne, très bonne et excellente. La majorité des valeurs observées sur notre réseau Life PTD en hiver, début de printemps, été et automne sont comprises dans ou au-dessus de cette fourchette pour tous les groupes, sauf le groupe 6 qui est parfois en dessous. Les valeurs de densité énergétique observées en milieu et fin de printemps sont bien entendu inférieures, mais restent cohérentes et bonnes par rapport aux valeurs de référence du stade début épiaison ou épiaison.

L'herbe pâturée est généralement un fourrage équilibré entre la fraction protéique et la fraction énergétique. Le rapport PDI/UFL permet de déterminer si cet équilibre est respecté. On considère comme satisfaisant un rapport PDI/UFL de minimum 85 g pour une vache allaitante en gestation (Micol *et al.*, 2003) et minimum 100 g pour une vache laitière (Vérité et Delaby, 2000). Sur les 479 cycles de pâturage du réseau Life PTD, ce rapport est au-dessus de 85 grammes dans 96% des situations et au-dessus de 100 grammes dans 68% des situations (Figure 7D).

CONCLUSION

L'expérimentation sur un réseau de prairies et durant plusieurs années consécutives présente à la fois l'intérêt de la mobilisation et de la dynamique des éleveurs, et celui de la richesse et du réalisme des situations de terrain. Il présente aussi parfois la contrainte de la maîtrise des pratiques, ce qui conduit à devoir être vigilant et sélectif sur la qualité des données et la constitution de la base de données analysée. Dans

la présente étude, la mobilisation des acteurs et la vigilance ont permis de maintenir de manière systématique, sur une très grande majorité des parcelles, les protocoles de gestion du PTD et de mesure des paramètres durant 5 années. Ainsi, les résultats présentés ici sont basés sur 29/35 prairies suivies de manière complète, à tous les cycles d'exploitation de l'année sur au moins 3 années. Sur le plan méthodologique, cette étude illustre également une démarche originale d'analyse dynamique et multifactorielle des relations entre composition floristique, production d'herbe valorisée et valeur alimentaire, appliquée à l'échelle d'un échantillon de parcelles sur une zone géographique présentant une diversité climatique et pédologique importante.

Le réseau Life PTD nous a permis de mettre en évidence **l'importante variabilité pédo-climatique** de la zone nord Deux-Sèvres, résultant de la variation topographique faible mais impactant le régime des pluies, et dans une moindre mesure de l'effet de la variabilité pédologique sur la réserve en eau des sols. Un certain nombre des acteurs régionaux ont mieux pris conscience de cette variabilité pédo-climatique et de ses conséquences sur l'évolution floristique et sur la variabilité spatiale de production d'herbe.

Sur le plan floristique, la présente étude a permis de mettre en évidence **la dynamique d'évolution** en faveur du raygrass anglais et du trèfle blanc sur les sites à pluviométrie plus élevée (essentiellement en Gâtine), alors que c'est la fétuque élevée qui est devenue la graminée dominante dans les sites à pluviométrie plus faible (essentiellement dans le Thouarsais). Cette dynamique floristique différenciée n'a pas souvent été mise en évidence dans les études antérieures, elle constitue donc un apport de la présente étude. Elle confirme l'intérêt du semis des mélanges multispèces pour que la végétation puisse s'adapter aux conditions locales (Litrico *et al.*, 2016).

La caractérisation systématique de l'herbe produite sur le réseau Life PTD montre une production et une qualité de l'herbe à des niveaux relativement bons (sauf toutefois dans la zone du Thouarsais), pour la région considérée de plaines du sud-ouest de la France. La variabilité spatiale et temporelle de la quantité d'herbe produite et valorisée apparaît d'abord et avant tout liée à la variabilité pluviométrique entre années et entre parcelles. Quantitativement, la production d'herbe mesurée sur le réseau est comparable aux références régionales, indiquant que **le pâturage PTD mis en œuvre dans cette étude n'a d'effet ni particulièrement négatif ni particulièrement positif sur la production**. Toutefois, il faut souligner que ces généralement bons niveaux de production sont obtenus sur le réseau Life PTD **avec de très faibles niveaux de fertilisation**, ce qui est un point très positif. Ceci est probablement permis par la présence de légumineuses en proportions satisfaisantes sur une majorité des parcelles du réseau, et par les retours de nutriments assurés par les animaux en situation de pâturage. Le

respect des stades physiologiques d'entrée et de sortie des animaux sur les prairies, préconisé par le protocole PTD, pourrait être un élément favorable au maintien satisfaisant des légumineuses.

Par rapport aux références utilisées, la production d'herbe diminue progressivement au cours des 5 années d'étude. Ceci peut être lié, sur certaines parcelles, à une diminution de la nutrition minérale en potassium en dessous du seuil critique, du fait d'une fertilisation d'entretien qui semble un peu insuffisante. Le vieillissement des prairies ou l'effet des sécheresses répétées pourraient également être des facteurs de diminution des rendements.

Les stades auxquels les graminées sont consommées dans le protocole PTD, permettent d'obtenir des valeurs alimentaires généralement bonnes et souvent même très bonnes au regard des références disponibles dans la littérature. Les valeurs alimentaires mesurées varient de manière importante au cours de l'année, en lien avec la quantité de matière sèche sur pied, la phénologie des espèces et la composition floristique, en graminées d'une part et en légumineuses d'autre part. La présente étude permet d'insister, même si ce point était déjà connu par la recherche et le développement, sur la **très bonne valeur alimentaire de l'herbe d'automne**, et donc sur l'intérêt du pâturage à cette saison, même si la quantité d'herbe est souvent faible en raison du caractère aléatoire de la date de retour des pluies dans ces zones du sud-ouest.

Finalement, la méthode de pâturage tournant mise en œuvre sur le réseau Life PTD nécessite, comme toutes les autres méthodes de pâturage, observation, recul et adaptation de la part de l'éleveur, en regard des caractéristiques pédo-climatiques de ses parcelles et de leur évolution. Dans ces conditions elle permet d'obtenir un bon niveau de production en quantité, avec un niveau de fertilisation modéré, et un bon niveau de valeur alimentaire.

Remerciements

Cette étude a été conduite et financée dans le cadre du projet Européen Life 13 ENV/FR/001315 – Pâturage Tournant Dynamique. Ce projet a en particulier permis le financement ou le co-financement des contrats de travail de Cyril Lemoine, Joséphine Cliquet et Alice Poilane. Les techniciens du laboratoire d'analyse de l'Unité de Recherche Prairies et Plantes Fourragères, INRAE, Lusignan, sont remerciés pour leur contribution aux analyses de fourrage et de sol. Les techniciens de l'Unité Expérimentale Fourrages Environnement Ruminants, INRAE, Lusignan, sont remerciés pour leur aide dans la préparation des échantillons de sol. Les techniciens de la CAVEB sont remerciés pour leur contribution aux prélèvements de terrain.

Article accepté pour publication le 30 avril 2021

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Agreste, (2001). Chiffres et données agriculture n°134. Information et Suivi Objectif des Prairies (ISOP), guide d'utilisation, https://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/21785/1/cdagri134_a.pdf
- Agreste, (2020). Enquête pratiques culturales en grandes cultures et prairies 2017. Octobre 2020, n°9.

- Australia Dairy, (2011). « Perennial ryegrass management. I. Grazing management to maximise growth and nutritive value ». Project 3030 Factsheet. <https://www.dairyaustralia.com.au/feed-and-nutrition/growing-feed-for-the-herd/growing-pastures/perennial-ryegrass#YD9HDtzjKM8>
- Bessière A., Bessière M., (2020). *Le pâturage tournant dynamique*. Edition la France Agricole, 256 p.
- BRGM, (2006). InfoTerre – BRGM, Géosciences pour une Terre durable. <http://infoterre.brgm.fr/>
- Chataigner F., Surault F., Julier B., Huyghe C., (2009). « Estimating the botanical composition of grassland by the NIRS method ». Dans: *Sustainable use of genetic diversity in forage and turf breeding, Proceedings of the Eucarpia Meeting*, La Rochelle (France), 11-14 Mai 2009.
- Cliquet J., Poilane A., Surault F. et Gastal F., (2019). « Evaluation des « Pâturages Tournant Dynamique » : quelle correspondance entre les repères d'entrée de la méthode « hauteur d'herbe » et ceux de la méthode « 3 feuilles » ? », *Fourrages*, 238, 139-141.
- Civam, (2020a). Dynamiques floristiques des prairies semées. Projet Perpet, fiche n°6. <http://www.agriculture-durable.org/lagriculture-durable/technique-systemes-herbagers-economes/projet-perpet/>
- Civam, (2020b). Les caractéristiques des prairies de l'observatoire dynamique. Projet Perpet, fiche n°5. <http://www.agriculture-durable.org/lagriculture-durable/technique-systemes-herbagers-economes/projet-perpet/>
- Comifer, (2019). La fertilisation P-K-Mg. Les bases du raisonnement. Brochure éditée par le Comifer.
- Delagarde R., Peyraud J.L., Delaby L., (1999). « Effet des quantités offertes sur l'ingestion d'herbe d'automne chez la vache laitière au pâturage ». *Rencontres Recherches Ruminants*, 6, 135-138.
- Delagarde R., (2009). « Outils et indicateurs pour calculer et concilier ingestion des vaches laitières et valorisation de l'herbe au pâturage ». *Fourrages*, 198, 175-190.
- Desmonière E., Delaby L., Pavie J., (2019). « Méthodologie de création de l'observatoire national de pousse de l'herbe ». *Fourrages*, 240, 289-294.
- Duru M., Théliér Huché L., (1995, novembre). « N and PK status of herbage: use for diagnosis of grasslands ». *Colloques de l'INRA*, Poitiers (France).
- Findlay N., (2016). « Perennial ryegrass for dairy cows. Grazing from the third-leaf stage ». Agriculture & Rural Department, Province of Kwazulu-Natal, Research & technology Bulletin 3. <https://www.kzndard.gov.za/guideline-documents?layout=edit&id=326>
- Gastal F., Lemaire G., (2015). « Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: review of the underlying ecophysiological processes ». *Agriculture (Basel)*, 5 (4), 1146-1171.
- Huyghe C., (2005). *Prairies et cultures fourragères en France : Entre logiques de production et enjeux territoriaux*. Editions INRA, 228 p.
- Huyghe C., Van den Pool-Van Dasselaar A., Krause A., (2017). « Le pâturage en France et en Europe : état des lieux et enjeux ». *Fourrages*, 229, 1-10.
- IGN, (2012). Institut National de l'Information Géographique et Forestier : l'espace professionnel. <http://professionnels.ign.fr/>
- INRA, (2007). *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. Ed. QUAE, 307 p.
- Jeuffroy M.-H., Biarnes V., Cohan J.-P., Corre-Hellou G., Gastal F., Jouffret P., Justes E., Landé N., Louarn G., Plantureux S., Schneider A., Thiebeau P., Morison M., Vertes F., (2015). « Performances agronomiques et gestion des légumineuses dans les systèmes de productions végétales ». Dans : *Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables*. Quae, 512 p.
- Julve P., (1998) : Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France, version 2015, <http://philippe.julve.pagesperso-orange.fr/catminat.htm>
- Lemoine C., Guillocheau S., Wullschlegler M., Gastal F., (2020a). Les conditions pédoclimatiques du projet Herby® : contexte du réseau de paddocks en suivi. Dans « Pâturage tournant dynamique méthode Herby® : synthèse des 6 années de projet ». *Actes du séminaire*, Parthenay, 21-22 janvier 2020 (<https://www.life-ptd.com/seminaire-de-cloture/recueil-scientifique-de-synthese/>). Pp 33-37.
- Lemoine C., Surault F., Gastal F., (2020b). Evolution de la composition floristique de 38 prairies Deux-Sévriennes au cours de 5 années de pâturage Herby®. Dans « Pâturage tournant dynamique méthode Herby® : synthèse des 6 années de projet ». *Actes du séminaire*, Parthenay, 21-22 janvier 2020 (<https://www.life-ptd.com/seminaire-de-cloture/recueil-scientifique-de-synthese/>). Pp 42-48.
- Lemoine C., Surault F., Poilane A., Cliquet J., Gastal F., (2020c). Production d'herbe des prairies conduites en pâturage Herby®. Dans « Pâturage tournant dynamique méthode Herby® : synthèse des 6 années de projet ». *Actes du séminaire*, Parthenay, 21-22 janvier 2020 (<https://www.life-ptd.com/seminaire-de-cloture/recueil-scientifique-de-synthese/>). Pp 49-54.
- Litrico I., Barkaoui K., Barradas A., Barre P., Beguier V., Birouste M., Bristiel P., Crespo D., Deleglise C., Durand, J. -L., Fernandez L., Gastal F., Ghesquiere M., Godinho B., Hernandez P., Julier B., Louarn G., McCarthy S., Wins C., Lee J. et Donaghy D., (2010). *Perennial ryegrass management in spring. Paddock*. Guide 38.
- Micol D., Hoch T., Agabriel J., (2003). « Besoins protéiques et maîtrise des rejets azotés du bovin producteur de viande ». *Fourrages*, 174, 231-242.
- Peyraud J. L., (2000). « Nitrogen fertilization of grasslands and dairy cow nutrition. Consequences on N losses ». *Productions Animales*, 13(1), 61-72.
- Peyraud J.-L., Delaby L., Delagarde R., Pavie J., (2014). « Les atouts sociétaux et agricoles de la prairie ». *Fourrages*, 218, 115-124.
- Poilane A., Cliquet J., (2020). La méthode de pâturage tournant dynamique Herby® : concilier pérennité des prairies et performance des animaux ? Dans « Pâturage tournant dynamique méthode Herby® : synthèse des 6 années de projet ». *Actes du séminaire*, Parthenay, 21-22 janvier 2020 (<https://www.life-ptd.com/seminaire-de-cloture/recueil-scientifique-de-synthese/>). Pp 24-27.
- Poilane A., Cliquet J., Porchet A., (2020). Le projet pâturage tournant dynamique : de l'idée à la mobilisation. Dans « Pâturage tournant dynamique méthode Herby® : synthèse des 6 années de projet ». *Actes du séminaire*, Parthenay, 21-22 janvier 2020 (<https://www.life-ptd.com/seminaire-de-cloture/recueil-scientifique-de-synthese/>). Pp 20-23.
- Rawls W., Brakensiek D., Saxton K. E., (1982). « Estimating Soil Water Retention from Soil Properties ». *J. Irrig. Drain. Eng.* 108(IR2), 166-171.
- Réseau pousse de l'herbe. Bulletins du réseau de la pousse de l'herbe en Vienne (<https://vienne.chambre-agriculture.fr/mes-productions/production-fourragere/bulletins-de-pousse-de-lherbe/>) et en Deux-Sèvres (<https://deux-sevres.chambre-agriculture.fr/techniquesinnovations/fourrages/pousse-de-lherbe/>).
- Ruget F., Novak S., Granger S., (2006). « Du modèle STICS au système ISOP pour estimer la production fourragère. Adaptation à la prairie, application spatialisée ». *Fourrages*, 186, 241-256.
- Saporta G., (2006). *Probabilités, analyse des données et statistiques*. Éditions Technip, Paris, 622 p.
- Socher S. A., Prati D., Boch S., Müller J., Baumbach H., Gockel S., Kalko E. K., (2013). « Interacting effects of fertilization, mowing and grazing on plant species diversity of 1500 grasslands in Germany differ between regions ». *Basic and Applied Ecology*, 14(2), 126-136.
- Surault F., Briand M., Veron R., Huyghe C., (2006). NIRS calibration equations to determine species contribution in grassland swards. Dans: « Sustainable grassland productivity », Proceedings of the 21st General Meeting of the European Grassland Federation, Badajoz (Spain), 3 – 6 April 2006, pp.591-593.
- Vérité R., Delaby L., (2000). « Relation between nutrition, performances and nitrogen excretion in dairy cows ». *Annales de Zootechnie*, 49, 217-230.
- Voisin A., (1957). *Productivité de l'herbe*. Editions France Agricole, ré-édition 2018, 439 p.