

# Trajectoires et déterminants de la pérennité de prairies semées dans le grand-ouest de la France

F. Vertès<sup>1</sup>, F. Gastal<sup>2</sup>, L. Delaby<sup>3</sup>, R. Delagarde<sup>3</sup>, R. Dieulot<sup>4</sup>, D. Falaise<sup>4</sup>, A. Woiltock<sup>3,4</sup>, P. Pierre<sup>5</sup>

1 : INRAE, Institut Agro, UMR SAS, 29000 Quimper – Francoise.vertes@inrae.fr

2 : INRAE, UE FERLUS, 86600, Lusignan

3 : INRAE, Institut Agro, UMR Pegase, 16 Le Clos F-35590 Saint Gilles

4 : CIVAM

5 : IDELE, 49105 Angers,

## Résumé

*La destruction des prairies semées est souvent liée à une baisse de productivité et/ou un changement de flore avec le temps. Ces évolutions rarement objectivées, ont fait l'objet de 2 projets de recherche-action récents dans le grand-ouest, dans lesquels des observatoires de jeunes parcelles bien implantées ont été suivis pendant 4 (projet PERPeT) et 5 ans (projet PTD). Les suivis portaient sur la biomasse annuelle et la composition botanique, afin de déterminer comment vieillissent les prairies en fonction du semis initial, du pédoclimat et des pratiques d'utilisation des parcelles. Les principaux résultats, dont la synthèse est présentée, permettent de conclure que «bien faire vieillir des prairies, c'est possible», que leur évolution est multifactorielle avec parmi les principaux déterminants des facteurs climatiques (alimentation en eau), puis liés aux pratiques et aux sols. Plusieurs types de prairies et de trajectoires d'évolution ont été caractérisés, certaines espèces jouant un rôle important dans ces dynamiques. La flore se diversifie et le fond prairial s'équilibre au bout de 5-6 ans, avec un développement racinaire rendant les sols plus résistants au piétinement. Enfin, ces évolutions plus ou moins favorables peuvent amener à reconsidérer la fonction de chaque parcelle dans le système fourrager.*

## Introduction

La durabilité économique et environnementale des systèmes de production d'herbivores repose entre autres sur l'autonomie fourragère des exploitations d'élevage, ce qui suppose la production, année après année, de fourrages de bonne qualité et nécessitant peu d'intrants. Dans le grand Ouest de la France, les prairies multi-spécifiques à base de graminées et de légumineuses, généralement semées et exploitées pendant 3-4 à 10 années voire parfois plus, répondent à cette recherche d'autonomie fourragère. En effet, ces prairies sont 1/ autonomes en intrants azotés, fournies essentiellement par la fixation symbiotique de l'azote de l'air grâce aux légumineuses, 2/ se caractérisent par une teneur en protéines (N) élevée et assez stable dans le temps, et 3/ favorisent le recyclage de cet azote au profit des autres espèces du mélange et plus globalement du système sol-plante. Elles contribuent ainsi à la haute qualité du fourrage et à la fertilité des sols des prairies. Il reste toutefois difficile d'en maîtriser les taux de légumineuses et de les maintenir dans la durée vers un optimum de 20-40%.

Malgré tous ces atouts, après seulement quelques années d'exploitation, une part importante de ces prairies est jugée par les éleveurs et les conseillers agricoles de qualité insuffisante. Hormis la situation où les prairies incluses dans des rotations sont détruites pour faire bénéficier la culture suivante d'une importante minéralisation d'azote (Vertès et al., 2007), améliorer leur pérennité, c'est-à-dire leur capacité à produire du fourrage de qualité attendue en quantité importante au-delà de 3-4 ans après le semis, est une des clés de la durabilité des systèmes herbagers. Accroître la pérennité de ces prairies permettrait de : 1/ réduire les coûts de production (en amortissant la phase d'implantation coûteuse en semences, énergie et travail sur un pas de temps plus long), 2/ limiter les besoins en N minéral grâce au maintien des légumineuses, 3/ augmenter le stockage du carbone (et de l'azote) dans les sols, 4/ réduire les pertes de nitrates et les émissions d'oxyde d'azote (gaz à effet de serre) et 5/ améliorer la biodiversité par rapport à des prairies semées de courte durée (organismes du sol, espèces prairiales et faune).

La pérennité d'une prairie se rapporte à l'état de son peuplement végétal et à sa persistance (Carrère et al., cet opus). Les agronomes considèrent le peuplement végétal comme pérenne tant que ses caractéristiques

de production et de qualité ne sont pas modifiées significativement et de façon mesurable. Dans nos prairies de milieux tempérés, la pérennité est essentiellement assurée par le renouvellement végétatif des organes, en particulier par l'émission quasi-continue de nouvelles talles pour les graminées, de stolons pour le trèfle blanc. L'évolution de ces peuplements végétaux met généralement en jeu une évolution de leur composition floristique (abondance relative des graminées et des légumineuses, des espèces non-semées ou « diverses »), à laquelle s'ajoute une évolution de la composition génétique des populations, par sélection naturelle et par dérive génétique (Litrico et Violle, 2015).

La capacité des espèces prairiales à se maintenir et à coexister en équilibre dépend de : 1/ leur longévité intrinsèque, inscrite *pro parte* dans leur génotype, 2/ leur capacité à pousser et survivre dans les conditions de sol et de climat (pluies, températures) de la parcelle, qui interagissent entre elles et avec la gestion (fertilisation, fauche ou pâture, nombre de cycles, chargement animal, etc ...), 3/ l'évolution du N minéral du sol, qui influence la compétition et l'équilibre entre légumineuses et graminées et 4/ la compatibilité et la complémentarité de leurs besoins en ressources et de leur stratégie de croissance dans le temps (par exemple précocité) et dans l'espace (profondeur d'enracinement, stratégie de colonisation verticale ou horizontale pour l'accès à la lumière (tiges et feuilles) et aux ressources en nutriments (racines).

**Tableau 1 : Facteurs explicatifs des caractéristiques des prairies semées (d'après P. Carrère)**

<b>Prairie semée</b>	Facteurs de milieu	<b>Climat</b> (températures, pluies, ETP, sécheresses, ...)	Composition botanique
	X	<b>Sols</b> , topographie	
	Facteurs de gestion	<b>Choix des espèces semées</b> <b>Mode d'exploitation</b> : fauche/pâture, sévérité, fréquence, ... <b>Fertilisation</b>	Production, qualité, saisonnalité  Pérennité

## Objectifs et démarche globale

Si la dégradation des prairies semées est souvent invoquée pour justifier leur destruction/réfection (Taube et Conijn, 2004), il existe peu de données permettant d'objectiver la réalité d'une diminution de production et d'un changement de composition botanique avec le temps, hormis quelques suivis expérimentaux (e.g. Voisin, 1957 ; Weisser et *al.*, 2017). Deux projets transdisciplinaires récents ont constitué des observatoires de prairies semées et ont permis de suivre l'évolution des productions et de la flore de réseaux de parcelles dans le grand Ouest Français. Le projet SOS Proteines-4AgeProd- PERPeT<sup>1</sup> (2016-2020) était centré sur 'Bien faire vieillir ses prairies semées graminées-légumineuses', tandis que le projet Life PTD (2015-2019) (<https://www.life-ptd.com/>) étudiait les effets du pâturage tournant dynamique sur les prairies (production, qualité, flore, sols ; Lemoine et *al.*, 2021 et 2022). Ces 2 projets nous serviront de support pour répondre aux questions suivantes :

1/ la diminution de pérennité des prairies est-elle une réalité objective, observable sur le terrain dans des réseaux de parcelles en exploitations herbagères du grand Ouest de la France ? (projets PERPeT et Life PTD) ;

2/ Quels sont les facteurs qui peuvent moduler la pérennité ou la dégradation des prairies semées dans les exploitations herbagères du grand-Ouest ? (projet PERPeT) ;

3/ Comment gérer les prairies pour améliorer leur pérennité et favoriser leur évolution vers des prairies permanentes productives et de bonne qualité ? (projet PERPeT).

## 1. Matériel et Méthodes

### 1.1. Contexte

L'observatoire « dynamique » mis en place dans le cadre du projet PERPeT repose sur un réseau de parcelles exploitées en pâturage par des bovins en Bretagne et Pays de Loire. L'objectif est de caractériser de façon dynamique l'évolution sur 4 ans (2016-19) de la production valorisée et de la composition floristique de 80 parcelles agricoles bien implantées, âgée de 2 à 3 ans en 2016, pour mettre en évidence les facteurs les plus déterminants de cette dynamique. En complément un observatoire « historique » de 35 parcelles d'âges variés (de 7 à plus de 20 ans) a été constitué et caractérisé en 2015 (sol et végétation, historique d'utilisation) pour aborder les évolutions à plus long terme. Toutes les parcelles appartiennent à des éleveurs des réseaux des Centres d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural (CIVAM) et au réseau de l'agriculture biologique, partenaires du projet.

<sup>1</sup> <https://www.civam.org/experimenter-sur-les-fermes/prolonger-la-productivite-des-prairies/> et <https://www.vegepolys-valley.eu/projet-sos-protein/projet-4ageprod/>

L'observatoire « Pâturage Tournant Dynamique » (PTD) repose sur un réseau de parcelles localisé en zone d'élevage du Nord Deux Sèvres. L'objectif est ici de caractériser de façon dynamique l'évolution sur 5 ans (2015-2019) des compositions floristiques, biomasses valorisées et valeurs alimentaires de prairies. Cet observatoire comprenait 35 parcelles gérées en PTD, pâturées par des bovins laitiers ou allaitants ou des ovins, et parfois fauchées.

Les 2 observatoires sont situés dans le grand-ouest Français, en zone climatique océanique (figure 1). Les parcelles sont majoritairement situées sur sols bruns plus ou moins évolués (roche mère granitique, schistes ou limons).

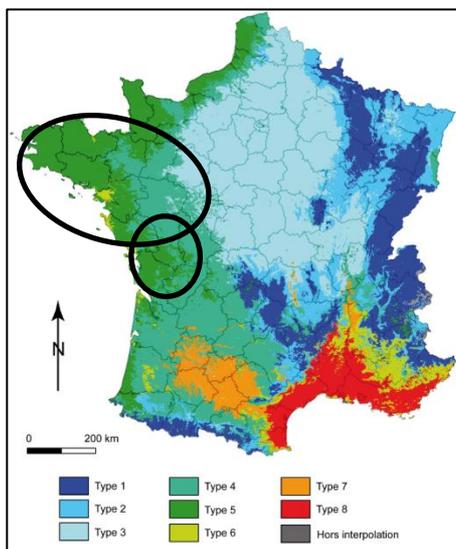


Figure 1 : Situation géographique et climatique des 2 observatoires (PERPeT cercle bleu, PTD cercle rouge). Fond de carte : typologie climatique (méthode USDA).

Les prairies de l'observatoire dynamique PERPeT sont réparties dans 35 fermes, 26 élevages laitiers et 9 élevages allaitants (dont 1 ferme expérimentale dans chaque catégorie). En 2016, 50% des parcelles ont entre 2 et 4 ans, avec un âge moyen de 3 ans (tableau 2).

Les prairies de l'observatoire PTD sont rattachées à 26 exploitations en Nord Deux-Sèvres, se répartissent entre 15 prairies temporaires âgées de 0,5 à 4 ans (âge moyen de 1,8 ans) en 2015 et 20 prairies « permanentes » âgées de 6 à 10 ans (moyenne de 8 ans) en 2015.

Les caractéristiques principales de ces 2 réseaux de parcelles sont résumées dans le tableau 2. Les parcelles couvrent une diversité climatique importante, notamment pluviométrique, par rapport aux conditions de l'Ouest de la France (figure 3).

**Tableau 2** : caractéristiques des réseaux de parcelles des projets PERPeT\* et PTD\*\* et méthodologies de suivi. PT = prairies temporaires (de moins de 5 ans en début de suivi). Détails disponibles dans \* <https://www.civam.org/experimenter-sur-les-fermes/prolonger-la-productivite-des-prairies/> et \*\* Lemoine et al. (2021)

	PERPeT*	PTD**
Nombre de parcelles (% PT)	80 dont 69 retenues	35 dont 28 retenues
Types prairies	100 % PT ; multi-espèces	46 % PT, 54% PP; multi-espèces
Départements	29, 22, 35, 44, 49, 53, 85, 72	79 (Gâtine, Bressuirais, Thouarsais)
Méthodes et années de suivi Biomasse	Herb'Valo (Delagarde et al., 2017) de 2016 à 2018	Mesures directes de la biomasse à chaque cycle d'exploitation de 2015 à 2019
Méthodes et années de suivi Flore	Transects fixes avec notation de 30 poignées, % abondance des espèces du fonds prairial de 2016 à 2019	Relevés botaniques et estimation du % recouvrement des espèces tous les 2 ans de 2015 à 2019
Années de suivi valeurs alimentaires	Données ponctuelles des teneurs en azote (N)	2015-2019 : analyses des teneurs N, P, K de la végétation
Observations complémentaires	Profils de sols en 2016 et 2019 (enracinement, structure du sol)	Profils de sols et analyses physico-chimiques en 2015 et 2019

## 1.2. Quantification de la biomasse valorisée par parcelle

Sur le réseau PERPeT, la méthode HerbValo (Delagarde et *al.*, 2017) a permis l'évaluation de la quantité d'herbe valorisée à l'échelle d'une parcelle sur une année en sommant les quantités d'herbe valorisées par les animaux à chaque cycle de pâturage et les rendements récoltés lors de chaque fauche. Après élimination des données incohérentes ou incomplètes, ainsi que celles de 7 parcelles irriguées, la base de données regroupe les fichiers individuels validés de 69 parcelles et 207 parcelles-années.

En l'absence d'analyses de la valeur alimentaires des fourrages, un indicateur de **valeur pastorale (VP)** a été calculé sur chaque parcelle : à chaque espèce est attribuée une valeur de 0 à 10 (Ellenberg, 1952, e-FLORA-sys (<http://eflorasys.univ-lorraine.fr/>)) et une valeur pastorale est calculée en fonction de la contribution spécifique de chaque espèce sur la parcelle.

Sur le réseau PTD, 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) (Lemoine et al. 2021). La biomasse a été coupée à la hauteur de la gaine de la dernière feuille, afin de respecter les préconisations du pâturage PTD. Il s'agit donc de biomasse sur pied valorisable, et non de biomasse valorisée comme dans le réseau PERPeT. Néanmoins, comme nous nous intéressons surtout aux évolutions des variables, nous simplifions dans la suite du texte en considérant la variable « biomasse » pour les 2 réseaux.

## 1.3. Composition floristique

Sur le réseau PERPeT, des relevés floristiques ont été réalisés chaque année au printemps par les ingénieurs et techniciens des réseaux de suivi. On dispose ainsi, pour chaque parcelle, de quatre relevés floristiques (2016 à 2019) listant les espèces observées sur un transect fixe (repères dans les parcelles) avec 30 stations équidistantes : la notation des espèces présentes et leur abondance est faite sur environ 50 cm<sup>2</sup> (grosse poignée, d'après la méthode proposée par de Vries, 1955). Il s'agit donc de relevés du fonds prairial, les espèces peu présentes pouvant échapper à l'observation. Le cumul des observations permet de quantifier l'abondance des espèces en % du total de la surface, pour chaque parcelle-année.

Sur le réseau PTD, la composition floristique des prairies a été caractérisée en réalisant des relevés botaniques tous les 2 à 3 ans au printemps sur les 35 paddocks, avec notation de présence/absence et attribution visuelle d'une note d'abondance relative (%) de chaque espèce à l'échelle du paddock.

## 1.4. Sols et Climat

Pour l'observatoire PERPeT une caractérisation des profils de sols a été réalisée, également par les ingénieurs et techniciens des réseaux, en 2016 et 2019 sur toutes les parcelles. Des sondages à la tarière et des 'profils-bèche' visaient à qualifier les sols des parcelles avec plusieurs descripteurs physiques dont certains sont stables entre années : profondeur, pierrosité, couleur (indicatrice du taux de MO), texture (argile) tandis que d'autres peuvent varier : structure, densité racinaire dans les horizons 0-10, 10-30, 30-50 cm, etc... Les observations pédologiques qualitatives (pierrosité, couleur, classes de densité racinaire par horizon, classes de compaction et d'hydromorphie par horizon) ont été codées pour intégration dans les analyses multivariées. Pour l'observatoire PTD des analyses physico-chimiques des sols (texture, éléments minéraux) ont été réalisées, ainsi que des mesures des stocks de carbone (teneur et densité des sols), en années 1 et 5 du projet (Lemoine et *al.*, 2022).

Concernant les paramètres climatiques, pour les 2 projets, chaque parcelle s'est vue attribuer, à partir de ses coordonnées GPS, le numéro d'une maille Safran (Météo France) de 8 x 8 km<sup>2</sup> donnant accès aux données climatiques journalières telles que la pluviométrie, la température minimale et maximale, le volume d'eau racinaire, le rayonnement et la variable P-ETP (précipitations – évapotranspiration), recalculées à partir du réseau de stations météorologiques disponibles (données fournies par l'unité Agroclim d'Avignon dans le cadre d'un accord INRA-Météo France). Dans PERPeT de nouvelles variables intégratives ont été calculées afin de caractériser des phénomènes climatiques tels qu'une séquence de canicule (nombre de jours avec une Tmax > 30°C, avec une Tmoy > 25°C), une séquence supposée de sécheresse (nombre de jours au-delà d'une période de 15 jours pendant laquelle il a plu moins de 0,5 mm/jour), des périodes de froid (nombre de jours ayant une Tmoy < 5°C), indicateurs proches de ceux développés et mis à jour en continu par Agroclim (AgroMetInfo, <https://www.agrometinfo.fr/>). Chacun des 2 réseaux explore une variabilité climatique très marquée, que ce soit sur la zone géographique étendue du Finistère aux Pays d Loire pour Perpet, ou géographiquement beaucoup plus restreinte pour PTD, mais couvrant des zones avec un fort contraste pluviométrique entre le haut-bocage, assez arrosé, et le Thouarsais, beaucoup plus sec.

## 1.5. Traitement des données et analyses statistiques

Pour l'observatoire PERPeT, les données annuelles de biomasse, composition (% de graminées (G), % de légumineuses (L) et % de diverses dicotylédones(D)) et valeur pastorale (VP) ont été traitées par analyse en composante principale (ACP, utilisation du package FactoMineR) afin de définir des groupes homogènes de parcelles-années et d'évaluer la pertinence des variables choisies. À la suite de l'ACP, une classification hiérarchique a été réalisée pour définir quatre groupes d'individus proches, permettant de proposer une **typologie des parcelles**.

Pour caractériser la pérennité des parcelles, la trajectoire d'évolution de la biomasse annuelle de chaque parcelle a été caractérisée à partir d'une variable d'évolution calculée en référence à la valeur de chaque paramètre lors de son entrée dans le système (2016), selon:

$((\text{Biom } 2017 - \text{Biom } 2016) + (\text{Biom } 2018 - \text{Biom } 2016)) / 2 * \text{Biom } 2016$  avec les seuils : Augmentation = variation  $\geq 0,05$  ; Stable =  $]-0,05 ; 0,05[$  et Diminution = variation  $\leq -0,05$ .

La même démarche a été appliquée pour caractériser la trajectoire d'évolution des variables de composition (% G, L et D) et la VP. Une ACP et une classification hiérarchique ont ensuite été appliquées, similairement à la classification précédente des types de prairies, pour aboutir à une classification des trajectoires d'évolution en 6 groupes « Evo ».

Enfin, l'ensemble des données (parcelle-année et leur 5 descripteurs flore, biomasse et valeur pastorale, données climatiques, pédologiques et de pratiques) ont fait l'objet d'une analyse factorielle multiple (AFCM, FactoMineR) pour identifier les principaux facteurs climatiques, pédologiques ou de gestion (pâturage) déterminants des types de prairies et de leur évolution. Parallèlement aux analyses descriptives ACP et AFCM, des analyses de variance et des comparaisons de moyenne ont permis de déterminer les facteurs présentant des différences significatives au sein des groupes types de prairies et des groupes d'évolution.

Sur le réseau PTD, les données ont été analysées par 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, sur la base de modèles linéaires à effet mixte, et en utilisant des tests appariés de Student pour comparer les moyennes entre années et entre zones climatiques.

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Analyse descriptive des données

#### ◆ Production d'herbe, relation avec le climat et tendance globale au cours des années

Le tableau 3 récapitule les résultats moyens des 2 réseaux sur les 3 ou 4 ans de suivis en termes de production et de composition graminées / légumineuses / diverses.

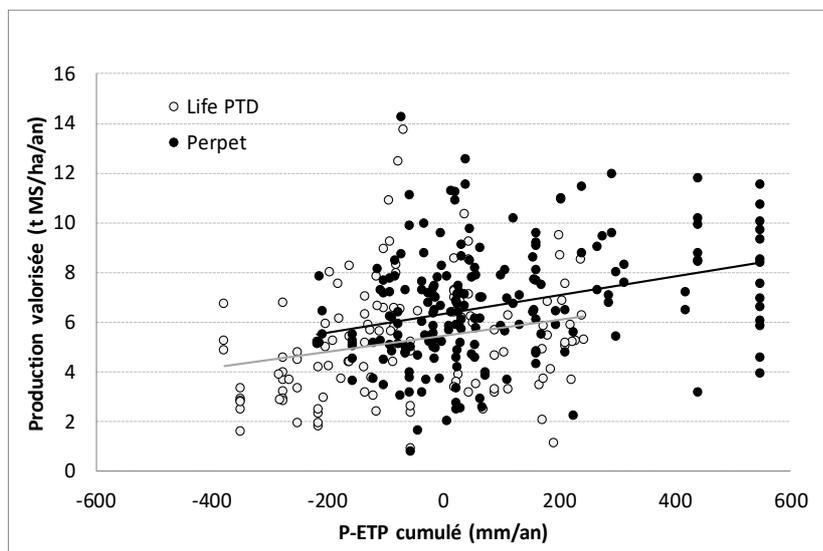
**Tableau 3** : Caractéristiques moyennes des parcelles des 2 observatoires et \*gamme de variation (99% des points)

Projet-Année	Biomasse tMS/ha/an	Graminées %	Légumineuses %	Diverses Dicotylédones %
PERPeT 2016	7,4 (2,2-13,7)*	73 (46-95)	22 (1-48)	3 (0,1-11)
PERPeT 2017	7,1 (0,9-14,3)	71 (44-96)	23 (1-53)	6 (0,1-14)
PERPeT 2018	6,5 (2-11,2)	71 (34-95)	16 (0-37)	13 (0-33)
PERPeT 2019	Non mesuré	71 (42-97)	15 (0-40)	13 (0-40)
PTD 2015	7,8 (3,7 - 13,7)	73 (38-100)	19 (0-50)	8 (0-29)
PTD 2016	5,9 (2,9-12,5)	-	-	-
PTD 2017	4,3 (1,6 - 7,8)	84 (50-100)	11 (0-40)	5 (0-25)
PTD 2018	5,0 (2,5 - 8,5)	-	-	-
PTD 2019	4,1 (0,9 - 9,5)	83 (50-100)	15 (0-50)	2 (0-12)

Le premier facteur qui caractérise la distribution des parcelles et explique le rendement annuel en herbe est la disponibilité en eau (cf. analyses de variance multi-facteurs, non montrées ici, pour l'observatoire PTD ; cf. l'analyse AFCM présentée plus loin pour l'observatoire PERPeT). En conséquence des gradients climatiques négatifs pour la pluviométrie mais positifs pour la température, du nord-ouest (Finistère) vers le sud-est (Pays de Loire), un gradient positif marqué est observé sur les valeurs annuelles et saisonnières du bilan P-ETP, variable indicatrice du déficit hydrique qui peut impacter de manière substantielle la production d'herbe. La quantité d'herbe valorisée annuellement est corrélée positivement ( $p < 0,001$ ) à l'indicateur P-ETP et hautement significative à la pluviométrie annuelle (figure 2). Les valeurs élevées sont majoritairement issues des parcelles finistériennes (PERPeT) et des parcelles du haut-bocage (PTD), tandis que les faibles valeurs se retrouvent surtout dans l'est des Pays de la Loire (PERPeT) et dans le Thouarsais (PTD).

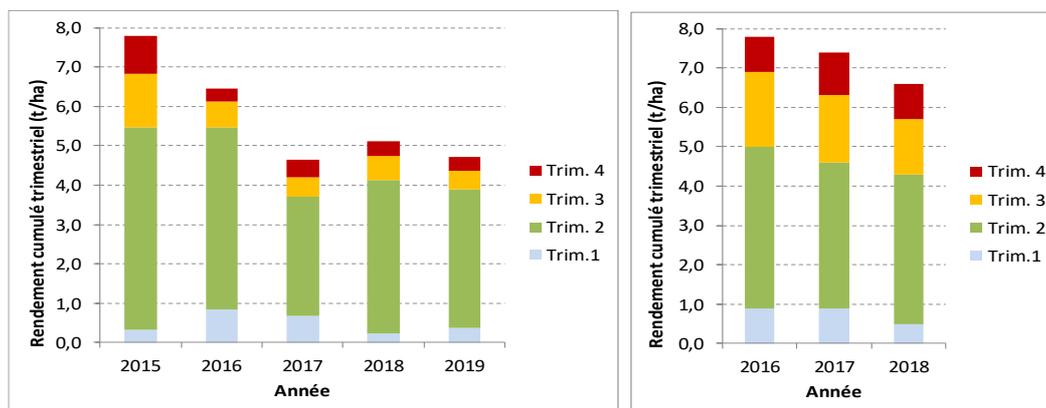
Chaque année au moins une parcelle atteint une quantité d'herbe valorisée supérieure à 10 t. MS/ha/an tandis qu'il existe aussi des parcelles avec des rendements très faibles (< 2 t. MS/ha/an), limités par les conditions de croissance (pédoclimat très séchant) et possiblement aussi parfois, par une moins bonne valorisation animale.

Les quantités annuelles d'herbe produite (PTD) ou valorisée (PERPeT), en moyenne sur l'ensemble des parcelles de chacun des 2 observatoires, diminuent de manière statistiquement significative au cours des années (figure 2). Cette diminution progressive des quantités d'herbe valorisée n'est pas liée à un effet de variabilité climatique entre les années. En effet, l'année la plus humide pour chacun des 2 observatoires est l'année 2018, située en fin de période d'observation, alors que les années 2015 et 2016 sont caractérisées par une pluviométrie annuelle intermédiaire sur les périodes d'observation, et 2017 par la pluviométrie annuelle la plus faible.



**Figure 2 :** relation entre la production annuelle des parcelles – années et l'indicateur P – ETP de disponibilité globale en eau pour les parcelles des 2 réseaux PERPeT et PTD

De plus, pour dissocier l'effet âge de l'effet climat dans le réseau PTD, Lemoine et al. (2021) ont comparé les productions moyennes cumulées au 15 juillet dans les prairies temporaires à des simulations avec le modèle STICS (n'intégrant pas l'âge des prairies) et ont observé un décalage significatif, croissant avec l'âge des prairies, entre production mesurée et simulations (décalage qui se retrouve moins dans les prairies permanentes). Ce constat (rarement quantifié) d'une diminution du rendement moyen sur chacun des 2 réseaux confirme donc, globalement, l'image d'une pérennité limitée d'au moins une partie des prairies de l'Ouest Français, comme souvent ressentie et observée aussi bien par les éleveurs que par les agronomes : les fortes productions des prairies semées en années 2-4 se maintiennent rarement au même niveau dans la durée.



**Figure 3 :** Production totale moyenne (t. MS/ha/an) et répartition saisonnière pour les prairies des 2 observatoires PTD (à gauche) et PERPeT (à droite).

La répartition saisonnière de la production montre dans les 2 observatoires, qu'une partie non négligeable de la production se fait hors printemps (figure 3). Néanmoins, environ 50-55% (PERPeT) à 60-75% (PTD) de la quantité totale d'herbe est valorisée dans la période avril-juin, la proportion étant d'autant plus forte que la sécheresse estivale est marquée. La valorisation hivernale peut atteindre environ 10 (PTD) à 15% (PERPeT) de la biomasse totale valorisée, selon les années et les conditions climatiques.

## 2.2. Typologie des prairies et facteurs déterminants (milieux x pratiques)

Les principaux facteurs associés aux indicateurs de production (biomasse), qualité (VP) et composition des 3 grandes catégories retenues, sont illustrés sur l'AFCM (figure 4). La part de variabilité expliquée par les 3 premiers axes est de 36%. Cette valeur relativement limitée tient en partie au nombre élevé de variables introduites dans l'analyse. Les biomasses élevées contribuent à l'axe 1 (sur la droite), qui projette également la plupart des variables climatiques. Ces fortes productions sont liées à des pluies abondantes, en particulier à des étés humides, à l'opposé des températures élevées et fort déficit hydrique (P-ETP) qui pénalisent la production en axe 1 négatif (gauche). On retrouve ici les liens entre production d'herbe valorisée et indicateur de sécheresse P-ETP déjà illustré plus haut. L'abondance des plantes diverses est également contributive de cet axe sur sa partie gauche.

L'axe 2 oppose les parcelles riches en légumineuses (vers le haut) à celles dominées par les graminées (vers le bas). Ces dernières sont favorisées par la sévérité du pâturage au printemps et en automne, tandis qu'un pâturage équilibré est plutôt favorable aux légumineuses. Les caractéristiques des sols (non montrées ici pour ne pas surcharger le graphique) sont également discriminées sur cet axe, les sols difficiles (hydromorphes en particulier, et/ou compactés) étant favorables à la dominance des graminées et défavorables à la persistance des légumineuses semées.

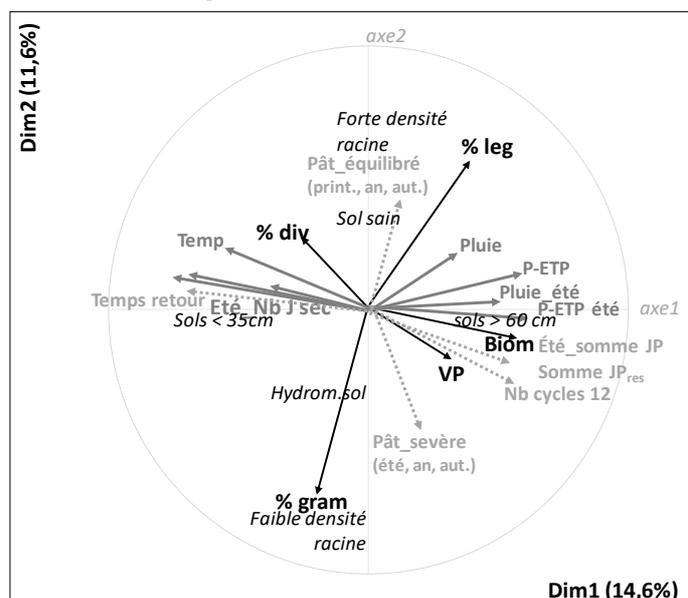


Figure 4 : Projection des variables selon les axes 1 et 2 de l'AFCM sur les 199 parcelles-années de l'observatoire PERPeT dynamique.

En termes de pratiques, on retrouve le lien logique entre nombre de cycles, jours de présence au pâturage et forte biomasse valorisée. Les légumineuses sont favorisées par des temps de retour intermédiaires mais pas trop lents, le pâturage plutôt que les fauches, un pâturage « équilibré » (pas trop ras).

## 2.3. Typologie des prairies

La présentation détaillée des types de prairies, sur la base de leur productivité, composition botanique du fond prairial (espèces regroupées en 3 familles : graminées, légumineuses, dicotylédones diverses) et valeur fourragère est présentée dans Lemoine et al. (2021) pour le projet PTD et dans Dieulot et al. (2021, fiches Perpet).

Le tableau 4 résume les principales caractéristiques des 4 types de prairies identifiés dans le projet Perpet. Le tableau 5 présente les principaux facteurs correspondants à ces 4 types de prairies.

**Type 1 : Prairies « creuses » riches en diverses dans un climat humide en automne après des été secs :** production moyenne 6,25 t.MS/ha/an, avec 52 % d'espèces à port cespiteux et une forte contribution de diverses (21 %) dont la persistance en production est limitée une fois leur cycle terminé, ce qui donne des rendements plus faibles notamment en été. Des sécheresses estivales couplées au pâturage ont pu entraîner des mortalités (brûlage sous les pissats des animaux, ouverture du couvert), sol nu colonisé par des diverses et du pâturin annuel. La part des parcelles de ce type évolue de 28 à 45 % du total des parcelles-années durant le suivi.

**Tableau 4 : Typologie des parcelles-années : moyenne de chaque variable par cluster. Une couleur différente entre deux clusters pour une même variable indique une différence significative à 5% entre les deux clusters**

Nombre parcelles-années	36	42	68	53
Types	1	2	3	4
HerbValo (kg MS/ha/an)	6241	5228	5995	<b>8870</b>
% graminées observé	0.62	0.61	<b>0.84</b>	0.69
% légumineuses observé	0.17	<b>0.34</b>	0.10	0.25
% diverses observé	<b>0.21</b>	0.05	0.05	0.05
Valeur fourragère	<b>7.00</b>	8.45	8.36	8.53
Age	4.3	3.7	4.2	3.7
% parcelles-années > 5ans	19%	10%	3%	6%

**Type 2 : Peu d'herbe valorisée avec une flore assez riche en légumineuses** (34% du couvert, moins de 10% de diverses). La quantité d'herbe valorisée est néanmoins la plus faible (5,2 t.MS/ha/an). Sur ces prairies, les éleveurs (des allaitants pour moitié), confrontés à des sols plus humides en sortie d'hiver et séchant l'été, adoptent des temps de retour plus long notamment à l'automne et un pâturage moins sévère, préservant la flore.

**Type 3 : Groupe riche en graminées dans un climat plus sec** : prairies soumises à un déficit hydrique de 50 à 70 mm/an en plus par rapport aux autres clusters) qui favorise la fétuque élevée (19 %) et le dactyle (10 %), de par leur capacité de pousse en conditions de faibles précipitations. La bonne capacité de reprise de ces graminées peut être à l'origine du pâturage plus sévère appliqué à l'automne par les éleveurs de ce groupe, ce qui assure un bon nettoyage et une valorisation de l'herbe.

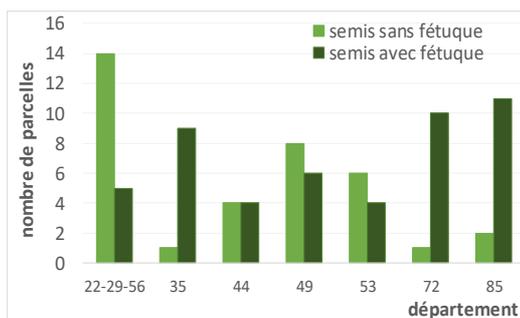
**Type 4 : Une meilleure valorisation de l'herbe en toute saison, en climat favorable** : Prairies profitant de conditions pédoclimatiques favorables à une croissance toute l'année avec moins de déficit hydrique, des températures moins élevées en été et des sols plus profonds (> 60 cm). Les éleveurs y pratiquent un pâturage plus sévère (notamment au printemps) avec un temps de retour plus court en automne (50 jours au lieu de 60). Ils valorisent ainsi 600 kg MS en plus au printemps et 1TMS en plus le reste de l'année. Les longues périodes de pâturage sans facteur limitant sélectionnent une flore gazonnante dominée par le ray-grass anglais, le trèfle blanc et l'agrostis à stolons (76 % de la flore). La proportion de parcelles-années de type 4 varie de 40 à 20 % de l'effectif entre 2016 et 2019

**Tableau 5 : Principaux facteurs expliquant les 4 types de parcelles de l'observatoire PERPeT.**

Biomasse valorisée	+ : pluviométrie, sols profonds, fertilité
% graminées	+ : Sévérité du pâturage au printemps et à l'automne, Sols à problèmes (graminées s'adaptent mieux)
% légumineuses	+ : faible déficit hydrique, date 1 <sup>ère</sup> intervention, pâturage équilibré - : fertilisation N, sols à problèmes (compaction, mauvais enracinement), pluies d'automne-hiver (pas d'exploitation → compétition lumière)
% Diverses	+ : sévérité du pâturage en été, climat séchant, sols peu profonds, pluies d'automne hiver

Dans le réseau PDT les prairies temporaires se rattachent à 6 groupes (détaillés dans Lemoine et *al.*, 2021), sur une base assez proche de la classification ci-dessus. Ces groupes diffèrent également par leurs taux moyens de légumineuses et la diversité et équilibre entres graminées (dominance ray-grass anglais, plutôt observé en prairies permanentes ou mélange de ray-grass anglais-fétuque élevée-ray-grass d'Italie + trèfle blanc regroupant la majorité des prairies temporaires). Le groupe le plus riche en diversité d'espèces (gr4) se compose essentiellement des prairies permanentes (âgées de plus de 7 ans lors du début du suivi). Dans les 2 observatoires on observe la même hiérarchie de fréquence : trèfle blanc (présent dans 93% vs 100% des relevés de PTD et PERPeT respectivement) > raygrass anglais (90% vs 95%) > pâturin commun (78% vs 87%) > fétuque élevée (61 – 75%)

## 2.4. Les dynamiques d'évolution des espèces semées et spontanées

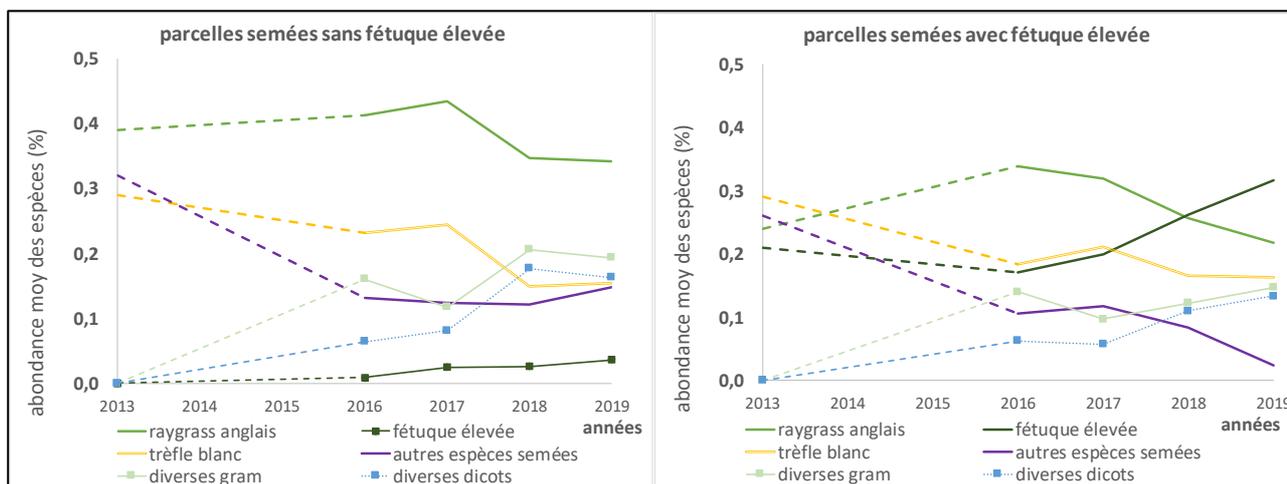


**Figure 5 :** Répartition géographique (par département) des parcelles semées avec ou sans féruque élevée dans les 69 parcelles de l'observatoire PERPeT

Dans l'observatoire PERPeT, l'analyse des dynamiques floristiques des principales espèces composant le fond prairial fait apparaître 2 grands types d'évolution des équilibres entre 3 espèces principales : ray-grass anglais, féruque élevée et trèfle blanc. Le contexte climatique influence le choix des espèces semées par les éleveurs, avec ou sans féruque élevée (figure 5).

Les figures 6a et 6b illustrent l'évolution des abondances moyennes des espèces/ groupes d'espèce depuis le semis jusqu'à la fin du suivi en 2019 selon la présence ou pas de féruque élevée dans le mélange initial. L'état au semis a été reconstitué pour 2013 à partir des compositions en graines du mélange transformées en peuplement (nombre de plantes/m<sup>2</sup>). Sur l'ensemble des 69 parcelles (non montré), après une phase précoce d'augmentation, la contribution moyenne du ray-grass anglais décroît mais l'espèce reste présente et importante dans le fonds prairial, tandis que les espèces peu pérennes (RGI-RGH, trèfle violet) ont quasiment disparu et constituent en moyenne 5 à 10 % du couvert. La composition botanique semble évoluer vers un équilibre entre graminées semées (50%) et spontanées (20%), légumineuses (20%) et diverses (10%).

Dans les parcelles semées sans féruque élevée (figure 6a), le ray-grass anglais reste la première graminée et constitue 30 à 40 % du couvert prairial. La féruque élevée apparaît spontanément dans quelques parcelles (banque de graines ou apport extérieur). En situations plus séchantes la féruque élevée, plus souvent incorporée aux mélanges initiaux, participe à la pérennité des prairies (figure 6b) avec une tendance à se substituer au ray-grass anglais. Celui-ci reste présent mais contribue moins aux couverts tandis que la féruque, plus lente à s'installer après le semis, est plus compétitive lorsque qu'elle est installée et plus résistante à la sécheresse.



**Figure 6 :** Evolution des principales espèces / familles dans le fond prairial pour : a) les parcelles semées sans féruque élevée (majoritairement en situation peu séchante) et b) les parcelles semées avec féruque élevée (69 parcelles de PERPeT)

La présence de féruque élevée ralentit à la fois le développement des diverses dicotylédones et celui des graminées spontanées (non montré), effet également observé dans l'observatoire PTD (Lemoine et al., 2021). Le nombre d'espèces semées à l'implantation a peu d'effet sur le nombre d'espèces composant le fonds prairial au terme de quelques années : dans l'observatoire PERPeT ce nombre initial (en moyenne 4,5 espèces) passe au bout de 3-4 ans à 9 puis à 10,5 en années 5-6. Il faut mentionner que des relevés botaniques complets

indiqueraient une diversité botanique plus grande, se rapprochant des prairies semi-naturelles plus ou moins intensives (Types PO1 à PO5) décrites dans Launay et al. (2011) avec également 10-12 espèces en fonds prairial.

Pour conclure sur cette partie, dans les prairies temporaires de l'observatoire PERPeT la flore se diversifie et s'équilibre avec en moyenne par parcelle une dizaine d'espèces dans le fonds prairial, parmi une liste de 30 espèces dont le nom et la fréquence (nombre de relevés où l'espèce est observée) sont illustrés figure 9a.

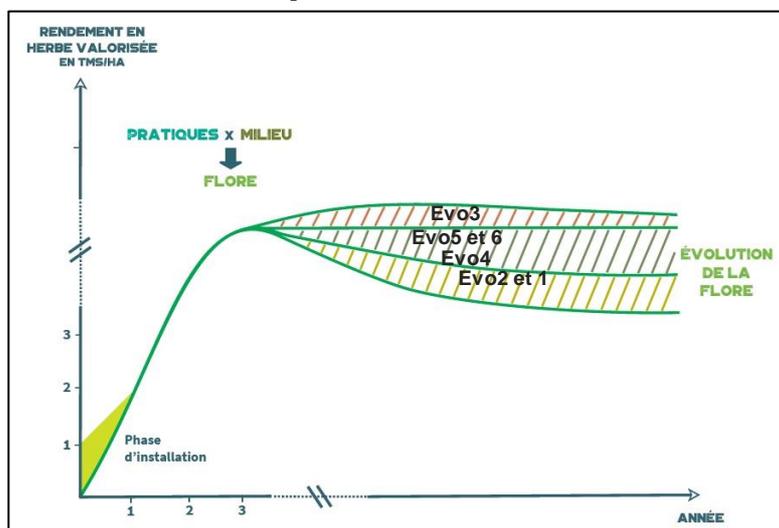
## 2.5. Trajectoires d'évolution de la biomasse, de la composition et de la valeur pastorale des parcelles de l'observatoire PERPeT

L'analyse en composantes principales et la classification des 69 parcelles selon l'évolution de leurs variables propres de biomasse, composition et valeur pastorale, permet de distinguer 6 groupes (clusters) d'évolution au cours des trois années. La séparation entre clusters a été testée par analyse de variance sur chaque variable utilisée dans l'analyse. De façon analogue à la typologie des parcelles les résultats sont représentés dans le **tableau 6**, où une couleur différente pour une même variable indique une différence significative à 5% entre deux clusters.

**Tableau 6** : Moyenne de chaque variable et nombre d'individus par cluster (PERPeT). L'âge, ajouté, n'a pas été utilisé pour réaliser la classification. Une couleur différente entre deux clusters pour une même variable indique une différence significative à 5% entre les deux clusters.

Nombre de parcelles	4	11	15	14	20	5
Cluster	Evo 1	Evo 2	Evo 3	Evo 4	Evo 5	Evo 6
HerbValo	-0.09	-0.24	0.41	-0.19	0.00	0.04
% graminées	-0.09	-0.13	-0.07	0.05	0.13	0.25
% légumineuses	-0.11	0.12	0.05	0.00	-0.15	-0.10
% diverses	0.20	0.01	0.02	-0.04	0.02	-0.16
Valeur pastorale	-0.15	-0.05	-0.05	0.02	-0.04	0.18
Age moyen (2016, ans)	3,3	2,6	3,2	3,6	2,7	2,7
% parc années > 5ans	17%	10%	16%	23%*	7%	0%

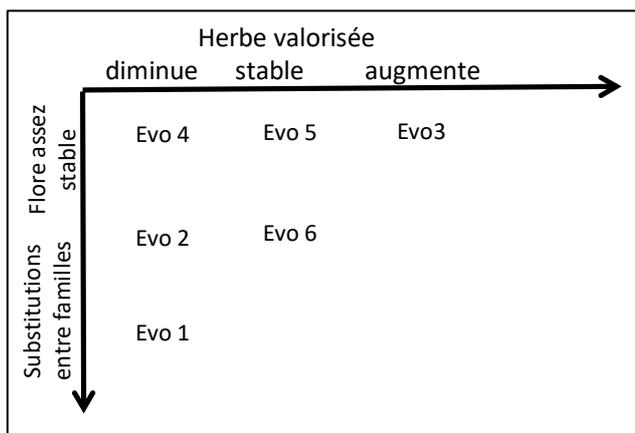
La figure 7 résume les principales évolutions observées : à partir d'une production potentielle atteinte en années 2-3, dont le niveau est déterminé par le potentiel agronomique local, les pratiques et les espèces semées, la productivité va dans la plupart des cas diminuer, avec une évolution plus ou moins marquée de la flore, elle-même déterminant un nouveau potentiel



**Figure 7** : Représentation synthétique des évolutions des prairies semées : leur potentiel de production (variable selon le contexte climat\*sol) s'exprime en années 2-3 avec la flore initiale puis la production peut évoluer (diminution, maintien ou augmentation) avec des changements plus ou moins importants d'espèces et familles.

Les clusters « Evolution » se différencient par leur gestion en conditions pédoclimatiques spécifiques, plus ou moins favorables à la pousse de l'herbe (Figures 11 et 12). Le choix des espèces au semis, en particulier la part des ray-grass, trèfle blanc et espèces résistantes à la sécheresse comme la fétuque élevée (cf ci-dessus) joue un rôle important dans l'évolution des prairies (rôle plus limité des autres espèces semées), en particulier pour les groupes Evo1, 2 et 3.

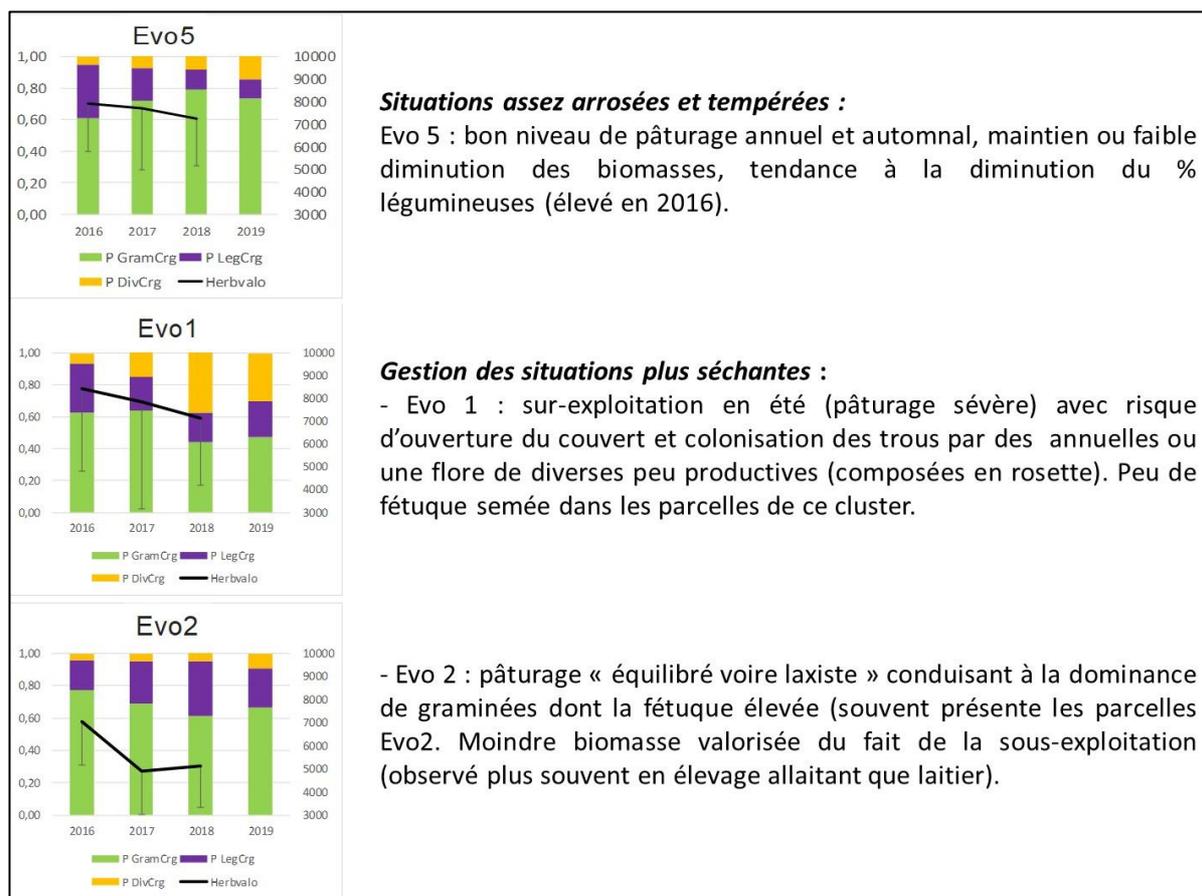
De façon synthétique, on retrouve l'organisation de ces 6 trajectoires d'évolution (Evo1 à 6 selon 2 axes (figure 8) : horizontalement l'évolution des biomasses (en diminution, stable, en augmentation) et verticalement l'évolution de la composition floristique du fond prairial regroupées en graminées, légumineuses et diverses dicotylédones.



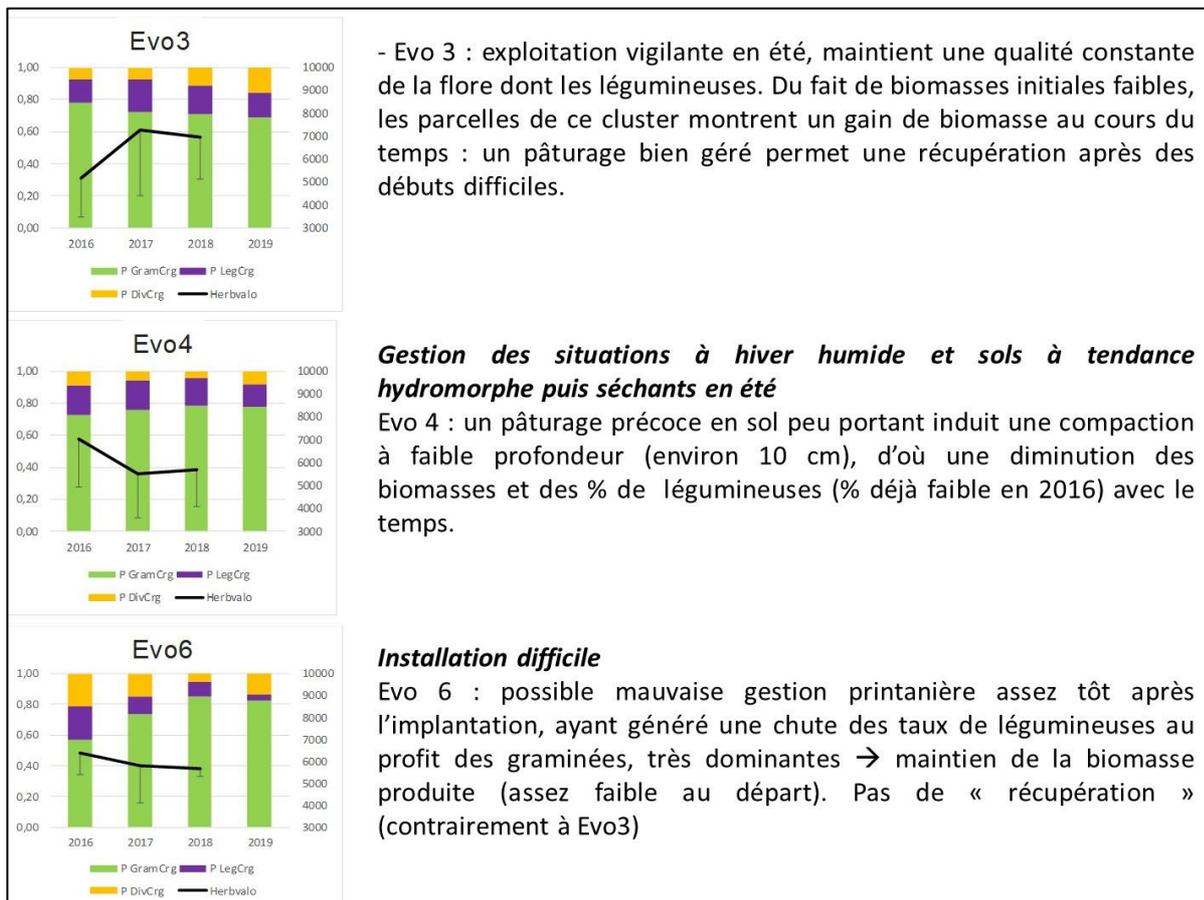
**Figure 8** : synthèse des 6 trajectoires d'évolution des 69 prairies temporaires de l'observatoire PERPeT selon les critères de production et flore

L'évolution des valeurs pastorales (VP) reflète des changements d'espèces de graminées et la progression des diverses dicotylédones. La VP est stable pour Evo4, pour lequel la composition botanique est la plus constante, ou en faible déclin avec le temps dans les clusters Evo2, 3 et 6. Deux trajectoires plus contrastées s'observent pour Evo1, avec diminution de la VP liée à l'augmentation des taux de diverses dicotylédones, et augmentation de la VP pour Evo6 liée à la dominance croissante des graminées.

La figure 9 précise les caractéristiques d'évolution et les conditions pédoclimatiques et de gestion qui distinguent les 6 types de trajectoire d'évolution.

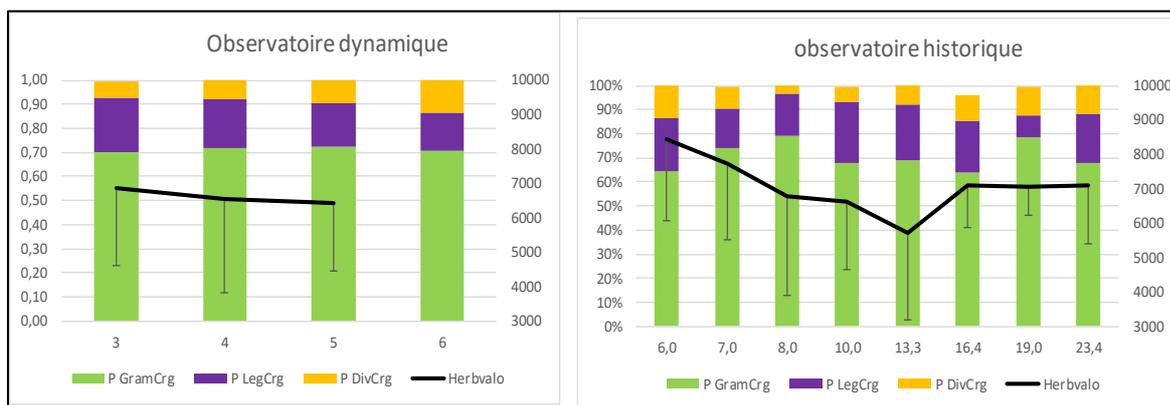


**Figure 9**



**Figure 9** : Caractéristiques des 6 types d'évolutions (PERPeT), sur la base des évolutions 2016-2019 des % graminées (vert), légumineuses (violet) et diverses (jaune) (axe Y1) et des biomasses valorisées (en kg MS/ha/an), courbes noires des moyennes et écartypes (axe Y2)

L'observation sur des pas de temps plus longs est faite dans la figure 10 en récapitulant avec les mêmes figurés les évolutions moyennes de l'ensemble des parcelles de l'observatoire dynamique du projet PERPeT (à gauche) et celles de l'observatoire historique (droite). Le principal message est la confirmation d'une stabilisation de la biomasse produite autour de 7 t MS valorisée /ha/an avec une composition allant vers 70% graminées, 15-20% légumineuses et 5-10% de diverses.



**Figure 10** : Effet de l'âge des prairies sur la composition du fonds prairial (% graminées en vert, légumineuses en violet et diverses en jaune sur l'axe Y1) et les productions valorisée (en kg MS/ha/an, courbes noires des moyennes et écartypes sur l'axe Y2) dans les 2 observatoires PERPeT

### 3. Discussion - Conclusion

La question de la pérennité des prairies semées pâturées, bien que posée depuis longtemps, a fait l'objet de peu d'études et peu de connaissances sont bien établies dans la bibliographie. Le parti pris était d'analyser la dynamique de 4 variables quantitatives principales : la biomasse disponible, l'évolution des taux de graminées, légumineuses et diverses dicotylédones, et la qualité de l'herbe. Pour caractériser ces évolutions et en préciser les déterminants, la présente étude s'est appuyée sur une base de données riche, obtenues sur le terrain avec et par les professionnels (parcelles en exploitations commerciales, appui des ingénieurs du

développement), sur une zone géographique et pédoclimatique large (le « grand ouest »), ce qui fait sa richesse mais aussi sa complexité d'analyse. Les 2 observatoires ont permis de documenter en parallèle de nombreuses variables concernant sol, climat et pratiques. Le pas de temps des études, limité à 3-4 années, est une contrainte et une limite évidente et forte aux résultats et à leur interprétation. Néanmoins l'observatoire historique PERPeT et les parcelles du projet PTD ont permis de gagner en généralité sur les observations en élargissant la gamme de variabilité temporelle et géographique.

Le premier enseignement majeur des 2 observatoires est que, même si en moyenne globale le niveau de production se dégrade, bien faire vieillir ses prairies est possible dans de nombreuses situations.

La diversité des conditions rencontrées sur la zone géographique couverte et les 3 années de suivi ont permis d'aboutir à la constitution de 4 types de parcelles-années dans l'observatoire PERPeT, relativement représentatifs de la diversité de conditions rencontrées dans le grand ouest : un gradient global de conditions climatiques sur un axe nord-ouest / sud et est, allant de conditions plus humides et plus fraîches (nord et ouest) à des conditions plus sèches et un peu plus chaudes (est et sud). Ce gradient global peut être modulé par des conditions plus locales, notamment des reliefs (Monts d'Arrée, Monts de Vendée) ou des conditions de sol spécifiques (sols plus ou moins profonds et séchants, plus ou moins hydromorphes).

Les conditions pédoclimatiques impactent de manière significative et déterministe la croissance de l'herbe, sa composition floristique et, hypothèse faite au début de ce travail, leur dynamique au cours des années. La quantité d'herbe valorisée, suivie de manière systématique dans l'étude PERPeT, est déterminée à la fois par la croissance de l'herbe et par les pratiques de gestion du pâturage, toutes deux liées par une relation bijective plutôt que causale : l'herbe valorisée dépend de l'herbe disponible et de la gestion du pâturage et inversement la gestion du pâturage dépend de l'herbe disponible.

Les données recueillies les 2 observatoires ont permis de dégager de types de prairies et de trajectoires d'évolution, et de caractériser les effets des principaux déterminants des évolutions. Les principales évolutions ou tendances qui ressortent de l'étude sont :

**La quantité d'herbe valorisée a de manière générale plutôt tendance à diminuer avec le vieillissement du couvert**, diminution au moins dans certains cas en lien avec une dégradation plus ou moins marquée de la flore (Evo1). Toutefois, cette évolution à la baisse n'est pas systématique, avec dans certaines situations le maintien voire l'augmentation (surtout lorsque la biomasse valorisée était faible au départ). Dans la présente étude seul le facteur alimentation en eau (P-ETP annuel, estival) semble isolément jouer un rôle certain dans cette évolution, les conditions séchantes conduisant plus fréquemment à une évolution négative de la quantité d'herbe valorisée, tandis que des conditions plus humides donnant plus de chance au maintien voire à l'augmentation de la quantité d'herbe valorisée.

**Le taux de diverses semble augmenter avec l'âge lorsque les conditions de pâturage sont plus sévères, en particulier en été**. Les données font apparaître une conjonction sols superficiels x conditions séchantes estivales x présence des animaux affouragés en été qui favoriserait leur augmentation. Des pluies importantes en automne-hiver peuvent également augmenter les risques de pâturage ouvrant le sol, trous que peuvent coloniser rapidement les diverses ou des graminées annuelles (ou à stolons).

**Le taux de légumineuses semble évoluer en lien avec la composition floristique en début de l'étude** : les prairies à % légumineuses initialement élevé montrent globalement une diminution de ce taux, tandis que les prairies à faible taux initial semblent globalement se caractériser par une augmentation progressive du taux de légumineuses (sauf les prairies 'Evo 6' colonisées par les graminées. Les taux de trèfle blanc, qui est la légumineuse principale en prairies pâturées, sont plutôt plus élevés en milieux arrosés (22, 29, 61), avec des dates de 1<sup>ère</sup> intervention précoces (limiter la compétition pour la lumière en début de printemps) et avec des conditions de **pâturage équilibré**, c'est à dire ni trop sévère (épuisement des réserves) ni trop laxiste (compétition pour la lumière) ce qui se joue à la fois sur le nombre de cycles, les temps de repousse et les hauteurs entrée-sortie à chaque pâturage. L'étude confirme l'impact défavorable des sols hydromorphes, des pluies d'automne-hiver importantes et les mises à l'herbe tardives conduisant à la régression du trèfle blanc.

Il faut néanmoins noter que ces tendances ne sont pas des conclusions absolues et que le facteur fertilisation en particulier (l'azote mais aussi le phosphore et potasse, voire le rôle des amendements organiques via des apports de fumiers ou composts, eg Pochon 2013) n'ont pu être pris en compte suffisamment précisément dans l'étude.

Ces travaux ont donc permis d'objectiver cette notion complexe de vieillissement des couverts prairiaux avec une amorce de qualification des facteurs explicatifs dans les dynamiques de la végétation. L'ensemble de ces acquis a permis d'élaborer un outil d'animation (Dieulot et al., 2021 et cet opus) formalisant les fonctions occupées par les prairies, les prairies « idéales » permettant de remplir ces fonctions dans les différents contextes pédoclimatiques et de passer d'un diagnostic parcelle à des choix stratégiques ou

tactiques pour la mise en œuvre, à l'échelle des parcelles et de l'exploitation, de pratiques vertueuses favorables à la pérennité des prairies.

**Remerciements :** Les auteurs remercient l'ensemble des animateurs et agriculteurs des réseaux CIVAM et GAB, et les Chambres d'Agriculture de Bretagne et des Pays de la Loire ayant contribué au projet PERPeT. Ils remercient Vegepolys pour son aide et le FEADER et les régions Bretagne et Pays de la Loire pour le financement du projet SOS Protein - 4AgeProd - SP3 PERPeT (2016-2020), ainsi que les financeurs et partenaires du projet européen Life 13 ENV/FR/001315 – Pâturage Tournant Dynamique. Ils remercient l'unité INRAE Agroclim (<https://www6.paca.inrae.fr/agroclim>) pour la fourniture des données météo.

### Références Bibliographiques

- Delagarde R., Caillat H. et Fortin J., (2017). HerbValo, une méthode pour estimer dans chaque parcelle la quantité d'herbe valorisée par les ruminants au pâturage. In : Fourrages. 2017. n° 229, p. 55-61.
- Gastal F., Julier B., Surault F., Litrico I., Durand J.-L., Denoue D., Ghesquière M., Sampoux J.-P. (2012). Intérêt des prairies cultivées multiespèces dans le contexte des systèmes de polyculture-élevage. Colloque CIAG, Poitiers, octobre 2012. *Innovations Agronomiques* 22 (2012), 169-183
- E-FloraSys (et Ellenberg 1952) <http://eflorasys.univ-lorraine.fr>
- INRA, 2010. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Tables Inra 2007, mise à jour 2010. Editions Quae. S.I. : Jacques Agabriel.
- Julve P. (1998) : Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France, version 2015, <http://philippe.julve.pagesperso-orange.fr/catminat.htm>
- Launay F., Farié J.-P., Pottier E., Baumont R., Plantureux S., Michaud A., (2011). « Prairies permanentes : des références pour valoriser leur diversité », Edition Institut de l'élevage, 128 p.
- 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
- Lemoine C., Poilane A., Cliquet J., Gastal F. (2022). Stockage de carbone dans le sol sous prairies en pâturage tournant dynamique. *Fourrages*, 248, sous presse
- Litrico I., Violle C. (2015). Diversity in Plant Breeding: A New Conceptual Framework. *Trends in Plant Science*. 20 (10), 604-613.
- Robic Y., (2015). Un outil simple et robuste pour estimer la quantité d'herbe valorisée des prairies en fermes laitières. Rapport de stage IUT Angers. S.I. INRA de Saint Gilles
- Schwinning S., Parsons A.J., (1996). Analysis of the coexistence mechanisms for grasses and legumes in grazing systems. *Journal of Ecology (Oxford)* 84, 799-813
- Surault F., Veron R., Huyghe C., (2008). Forage production of pasture mixtures and of associations with various initial specific diversities. *Fourrages* 194, 161-174.
- Vertès F. (1989). Stability of the perennial ryegrass - white clover association : some features for diagnosis. Workshop CEC - DG VI Boigneville (FRA) 25-27 mai 1988, in Plancquaert, P. Hagggar, R. (ed.) Legumes in farming systems, Kluwer Academic Dordrecht (NLD) 14 p.
- Vertès F., Hatch D., Velthof G., Taube F., Laurent F., Loiseau P., Recous S., (2007). Short-term and cumulative effects of grassland cultivation on nitrogen and carbon cycling in ley-arable rotations. *Grassland Science in Europe*, 12, 227-246
- Voisin A. (1957). Productivité de l'herbe. Editions France Agricole, ré-édition 2018, 439 p.
- Weisser W.W., Roscherb C. et al., 2017. Biodiversity effects on ecosystem functioning in a 15-year grassland experiment: Patterns, mechanisms, and open questions. *Basic and Applied Ecology*, 23, 1-73