

La revue francophone sur les prairies et les fourrages

The French Journal on Grasslands and Forages

Les articles publiés dans Fourrages sont répertoriés dans : Agris, Resagri, Herbage Abstracts, Rural Development Abstracts, Web of Science, World Agricultural Economics and Rural Sociology Abstracts ainsi que par ISI.

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, pour vous
abonner ou pour
soumettre un article
dans la revue :

<https://afpf-asso.fr/informations-sur-la-revue-fourrages>

ISSN papier 0429-2766

ISSN numérique 2402-7294

N° Commission paritaire : 1127 G 82356+

Notre association a pour objectif, depuis 1959 de mieux diffuser les résultats de la recherche autour des fourrages et des prairies. Pour soutenir notre action et adhérer, consultez notre site internet.

DE LA PLANTE À LA COMMUNAUTÉ ET VICE ET VERSA : STRATÉGIES ET CONNAISSANCES POUR CONCEVOIR DES PRAIRIES MULTI-ESPÈCES

Mise en situation

Dans un contexte de transition agroécologique et de changement climatique, les mélanges prairiaux multi-espèces prennent une ampleur de plus en plus importante. Face à une demande de semences pour ces prairies, deux approches ont été développées à INRAE : une approche basée sur l'écologie des communautés et une approche basée sur la génétique quantitative, l'écophysiologie et l'agronomie.

Résumé

En France, de plus en plus de prairies sont semées en mélange d'espèces. Ces mélanges répondent à la demande des éleveurs souhaitant des prairies plus pérennes, plus productives en conditions de faibles intrants et mieux équilibrées en termes de valeur nutritive pour les animaux que les cultures pures. Proposer de tels mélanges n'est pas aisé dans un dispositif sociotechnique hérité de la révolution fourragère, encore empreint du modèle de la monoculture et de sa gestion par les intrants. Composer, sélectionner, produire, gérer des mélanges fourragers nécessitent encore de lever des verrous cognitifs, techniques et organisationnels. Il s'agit notamment de dépasser la stratégie assurantielle visant à semer plusieurs espèces et variétés pour être sûr qu'il y en ait au moins une qui persiste, afin de véritablement valoriser les synergies entre espèces. L'objectif pour la recherche est de produire les connaissances scientifiques permettant de tirer parti des complémentarités entre plantes pour qu'une prairie semée produise la diversité des services écosystémiques attendus dans un environnement donné. Depuis l'autorisation de la commercialisation des mélanges en 2004, deux approches ont œuvré à cet objectif. La première trouve son origine dans l'écologie des communautés et l'étude des prairies permanentes, elle aboutit à l'outil Capflor®. La seconde est issue de la méthodologie de la sélection génétique et de l'écophysiologie sur les espèces fourragères majeures. Après avoir présenté ces deux approches, leurs forces, faiblesses, menaces et opportunités, nous proposerons des pistes de travail pour exploiter leur complémentarité pour optimiser une gamme de mélanges selon les usages et les conditions environnementales.

Summary

From plants to communities and vice versa: strategies and knowledge for designing multi-species grasslands

In France, more and more grasslands are being sown with species mixtures. These mixtures meet the demand of farmers who want to be able to sow more sustainable and productive grasslands with low inputs and a better nutritional balance for animals than pure crops. Offering such mixtures is not a matter of course in a socio-technical system inherited from the forage revolution, which is still based on the model of monoculture and input-based management. Composing, selecting, producing and managing forage mixtures still requires overcoming a number of cognitive, technical and organisational barriers. In particular, it is necessary to move beyond the insurance strategy of sowing several species and varieties to ensure that at least one of them survives, in order to truly capitalise on the synergies between species. The objective for research is to produce scientific knowledge that will enable us to take advantage of the complementarities between plants so that a sown meadow produces the diversity of ecosystem services expected in a given environment. Since the authorisation of the commercialisation of mixtures in 2004, two approaches have worked independently towards this objective. The first has its origins in community ecology and the study of permanent grasslands and has resulted in the Capflor® tool. The second approach stems from genetic selection methodology and ecophysiology applied to major forage species. After presenting these two approaches, their strengths, weaknesses, threats and opportunities, we will propose avenues for further work to exploit their complementarity in order to optimise a range of mixtures according to uses and environmental conditions.

Auteurs

Barre P.¹, Goutiers V.², Louarn G.¹, Julier B.¹, Hazard L.²

¹INRAE, UR P3F, LUSIGNAN, FRANCE

²UNIV TOULOUSE, TOULOUSE INP, ELP, INRAE, AGIR, CASTANET-TOLOSAN, FRANCE

Auteur correspondant :
philippe.barre@inrae.fr

Mots clés

Prairies, mélanges, règles d'assemblage, amélioration génétique

Key words

Grasslands, mixtures, assembly rules, plant breeding

Références de l'article

Barre P., Goutiers V., Louarn G., Julier B., Hazard L. (2026). De la plante à la communauté et vice et versa : stratégies et connaissances pour concevoir des prairies multi-espèces. *Fourrages* 267, pages 41-51, <https://doi.org/10.64256/FOU2514>

Article accepté pour publication le 03 mai 2026.

Introduction

Les prairies multi-espèces semées, quelle que soit leur durée de vie, sont généralement composées d'au moins deux familles botaniques aux fonctions complémentaires : les graminées pour leur tolérance à la défoliation et les légumineuses pour leur capacité à fixer de l'azote atmosphérique, le nombre d'espèces pouvant varier de deux (on parle alors d'associations) à plus d'une dizaine (Capitaine *et al.*, 2008). Ces prairies étaient la norme jusqu'à la seconde moitié du XX^{ème} siècle qui a vu émerger l'intégration des prairies dans les rotations : la Révolution fourragère, avec une recherche de productivité se traduisant par l'utilisation d'intrants (fertilisation minérale), de matériel agricole (labour, fauche) et de variétés sélectionnées d'un nombre restreint d'espèces généralement utilisées en monoculture (Salette, 2006). À la fin du XX^{ème} siècle et au début du XXI^{ème}, les prairies multi-espèces ont vu un regain d'intérêt avec l'augmentation du coût de l'énergie impactant le coût des intrants de synthèse dont l'azote et ravivant l'intérêt des légumineuses (Capitaine *et al.*, 2008). De plus, ces prairies permettent de produire un fourrage équilibré en énergie et en protéine limitant le besoin de complémentation et ceci de manière plus stable au cours de l'année et entre les années (Frick *et al.*, 2008 ; Litrico *et al.*, 2016).

Pour créer ses prairies multi-espèces, l'éleveur va semer un mélange d'espèces qu'il a pu obtenir i/ en récoltant des semences sur des espèces choisies dans les champs de son exploitation ce qui est d'usage depuis longtemps (Capitaine *et al.*, 2008), ii/ en achetant des semences de différentes espèces qu'il mélange ou iii/ en achetant directement un mélange commercial tout prêt, ceci rendu possible en France depuis 2004 (Protin *et al.*, 2014; Straëbler et De Goyon, 2008). La part des prairies temporaires semées avec des mélanges est estimée à 91 % (Godoc *et al.* 2023). La part des mélanges commerciaux dans les ventes totales des espèces fourragères augmente depuis 2004 avec 15 % en 2010/11, 23 % en 2014/15 (Straëbler, 2016) et 42% en 2023/24 (SEMAE, 2025).

Les éleveurs attendent d'un mélange multi-espèces une stabilité du rendement face aux aléas, une valeur nutritive équilibrée, un faible besoin en azote et éventuellement d'autres services comme la capacité mellifère, l'amélioration de la structure du sol, la rupture des cycles des ravageurs des cultures annuelles... Ces attentes passent par le maintien d'espèces apportant ces services. Cependant, selon les conditions pédo-climatiques et les pratiques culturales incluant le choix des espèces et des variétés semées, il arrive que certaines de ces attentes ne soient pas satisfaites. Par exemple, le maintien d'environ 30 à 40 % de légumineuses en biomasse dans la prairie pour apporter de l'azote et assurer la valeur nutritive n'est pas toujours facile ou la pérennité de la prairie n'est pas toujours au rendez-vous avec une évolution de la flore vers des espèces moins favorables à l'alimentation des ruminants. Le choix des espèces et des variétés peut être déterminant. L'objectif de cet article est de présenter deux approches de recherche agronomique pour l'optimisation du choix des espèces et des variétés pour les

mélanges multi-espèces. La première approche, développée à INRAE à Toulouse, est basée sur l'écologie des communautés tandis que la deuxième, développée à INRAE à Lusignan, est basée sur l'écophysiologie et la génétique quantitative. Les forces, faiblesses, menaces et opportunités des deux approches sont décrites et des perspectives sont discutées.

1. Deux approches pour l'élaboration des mélanges prairiaux

Les différences de contexte, à la fois scientifique et socio-économique, dans lequel travaillent les deux équipes INRAE, à Toulouse et à Lusignan, conduisent au développement de deux programmes de recherche originaux et autonomes ayant chacun leur cohérence propre.

1.1 L'approche de l'écologie des communautés et l'outil Capflor®

Dans les années 1990, l'équipe toulousaine ORPHEE, réunissant agronomes, zootechniciens et écologues oriente son travail sur **la compréhension des dynamiques floristiques au sein des prairies naturelles sous l'effet de leur gestion via la défoliation et la fertilisation**. La finalité de ce travail est de pouvoir **piloter la flore des prairies naturelles** pour façonner une diversité de ressources fourragères, notamment en termes de précocité **afin d'optimiser le pâturage ou la fauche au cours de la saison et offrir à la consommation des animaux une herbe de qualité**. Le recours au concept de « traits de vie » de l'écologie (caractéristique mesurable d'un organisme soumis à la sélection naturelle qui influence directement sa survie, sa croissance ou sa reproduction) permet d'avoir une lecture fonctionnelle de la végétation, autorisant ainsi une simplification en réunissant des espèces par groupe fonctionnel dont la présence et l'abondance au sein d'une prairie peuvent être reliées à sa fertilité et son régime de défoliation. Une première publication en 2001 réunissant chercheurs toulousains et suisses jette les bases d'une réflexion sur les enseignements à tirer du travail réalisé sur la communauté prairiale pour la gestion de la diversité génétique et l'élaboration de mélanges prairiaux (Duru *et al.*, 2001). L'intérêt pour les mélanges prairiaux se développe fortement dans le sud de la France après les sécheresses de 2003 et 2004. Ces sécheresses détruisent nombre de prairies temporaires mais également de prairies permanentes. Les années suivantes sont dédiées à restaurer ces prairies par le sursemis ou le ressemis. Certains éleveurs ont observé que des prairies naturelles, ayant une forte diversité spécifique, résistent mieux à la sécheresse. Il s'ensuit un fort engouement pour ressemer des mélanges complexes, en particulier chez les éleveurs en agriculture biologique. Face à l'absence d'offre commerciale française, ces éleveurs soit récoltent des semences sur les prairies naturelles qui ont résisté à la sécheresse, afin de chercher à les dupliquer, soit se tournent vers l'achat de mélanges suisses.

Témoin de cette tendance, l'équipe toulousaine réalise qu'elle est en mesure de **valoriser les connaissances produites sur les règles d'assemblage des communautés prairiales en fonction de leurs modes de gestion pour élaborer des mélanges à flore variée**. Une nouvelle thématique de recherche s'ouvre alors au sein de l'équipe ORPHEE qui fait le constat en 2008 que « *s'il est possible de définir le type de communauté végétale à établir en lien avec la conduite permettant de la stabiliser, il reste encore à préciser les itinéraires techniques nécessaires à la réussite de l'implantation de ces communautés complexes : quelles successions d'espèces, quelles quantités de semences utiliser et dans quelles proportions relatives ?* » (Jouany et al., 2008). Le but recherché est la stabilité de la composition en groupes fonctionnels apportant différents services au sein de la prairie. Ce questionnement est à l'origine du programme de recherche CAPFLOR développé depuis 2010 par Vladimir Goutiers à INRAE à Toulouse au sein de l'unité AGIR sur la conception de mélanges prairiaux à flore variée. Ce programme CAPFLOR prend appui sur l'ensemble des connaissances produites sur l'étude des prairies et des écotypes naturels (Ansquer et al., 2009; Ansquer et al., 2004 ; Cruz et al., 2002 ; Cruz et al., 2010 ; Duru et al., 2008 ; Khaled et al., 2006). Il concilie des objectifs de production de l'élevage extensif et de la préservation de la biodiversité en s'appuyant sur des structures de conseil agricole (Chambres d'agriculture, Groupements d'agriculteurs biologiques, CIVAM...), de conservation de l'environnement (Parcs, Conservatoire botanique...) et les collectivités territoriales. Il a permis le développement de la méthode et de l'outil Capflor® pour accompagner les éleveurs dans le choix de **la constitution de mélanges multi-espèces complexes (avec plus de six espèces) pour concevoir des prairies à flore variée de longue durée** (Goutiers et al., 2016).

L'intérêt de ces prairies diversifiées réside, d'une part, dans leur capacité à fournir une large gamme de services écosystémiques (séquestration de carbone, couverture du sol, fourniture d'azote, effet anti-parasitaire préventif, réduction des rejets azotés urinaires par les animaux, stimulation de la production laitière, pollinisation et soutien à la production de miel...) en plus de la production de biomasse et d'autre part de présenter une forte tolérance aux aléas assurant ainsi sa pérennité. À cet effet, l'outil fournit également des informations sur les services rendus par les espèces qui les composent.

L'outil Capflor® repose sur trois piliers que sont les connaissances écologiques, agronomiques et empiriques des utilisateurs (Figure 1). Sa conception a été participative avec des groupes d'éleveurs et des conseillers mobilisés dès 2013 pour coconstruire l'outil et assurer son appropriation. Le modèle de Capflor® utilise un principe de « *filtres successifs* » inspiré du modèle de Keddy (1992) (Figure 2), en partant de l'ensemble des 9100 espèces présentes dans la flore de France métropolitaine :

1. Filtre 1 : pool d'espèces présentes à l'échelle régionale dans les milieux ouverts et dont les semences sont disponibles (production locale ou achat).
2. Filtre 2 : sélection d'un pool d'espèces adaptées aux conditions pédoclimatiques de la parcelle, aptes à être consommées par le bétail et correspondant aux attentes agronomiques en termes de valeur d'usage (fauche, pâture, mixte) et de phénologie (précoce, intermédiaire, tardive).
3. Filtre 3 : sélection des espèces pour maximiser les chances de leur performance en coexistence. La règle est de maximiser la divergence fonctionnelle entre espèces pour les traits fonctionnels liés à l'acquisition des ressources (MacArthur et Levins, 1967).

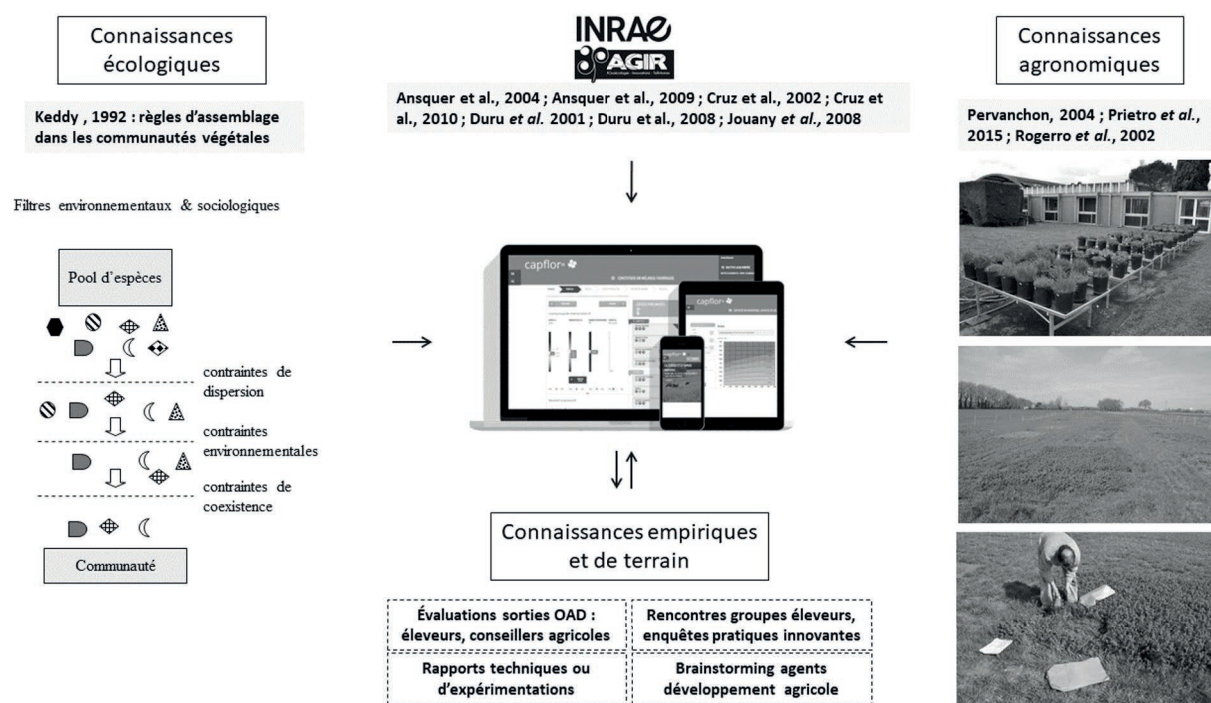


Figure 1 : Les trois piliers sur lesquels repose Capflor®

Figure 1: The three pillars on which Capflor® is based

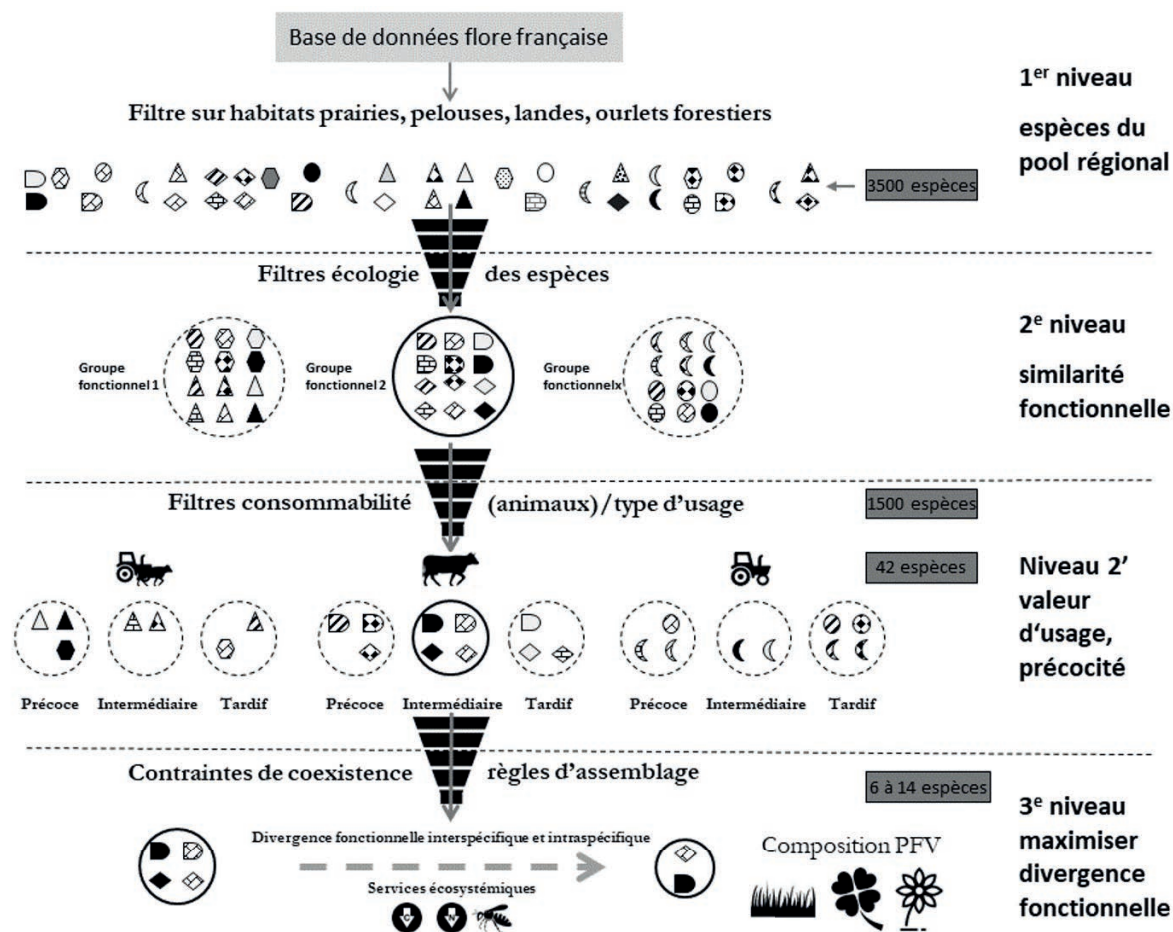


Figure 2 : Modèle conceptuel de Capflor®

Figure 2 : Capflor® conceptual model

Pour appuyer ce filtre 3, un modèle multicritère (via l'outil informatique DEXi (Rozman et Pazez, 2012)) a été mis en œuvre, prenant en compte 6 traits fonctionnels des plantes (architecture aérienne, racinaire, taille des feuilles, saisonnalité, longévité, vitesse d'installation) pour évaluer la compatibilité/coexistence des espèces. Capflor® repose sur **un principe de divergence entre espèces pour les traits d'acquisition des ressources** (architecture racinaire et aérienne, hauteur de plante, taille des feuilles, saisonnalité de la production, longévité et vitesse d'installation) **avec une tendance à la convergence pour certains traits dans des milieux spécifiques** comme la hauteur des plantes dans un milieu riche où la compétition pour la lumière est essentielle. Cette étape est réalisée sur **42 espèces** disponibles pour les éleveurs et pour lesquelles des données existent pour les six traits. Le principe de substitution naturelle des espèces au cours de la durée de vie de la prairie est appliqué à cette étape en prenant en compte quatre groupes constitués sur des différences de durées de vie : 1 an, 2-3 ans, 4-5 ans et au-delà de 5 ans.

Outre la production de biomasse, les espèces sont choisies afin de représenter 3 fonctions jugées indispensables au mélange : i) la couverture rapide du sol en début d'installation de la prairie, ii) la couverture du sol dans la durée pour limiter l'invasion par des espèces indésirables et allonger la pérennité du mélange ; iii)

la production et la restitution d'azote organique (légumineuses) utilisable par la communauté végétale afin de limiter ou d'exclure l'usage de fertilisants azotés.

Les mélanges obtenus sont composés de 6 à 14 espèces selon les conditions de milieu, en intégrant l'hypothèse de la perturbation intermédiaire qui prédit un nombre maximal d'espèces pour des milieux dont la fertilité et le régime de perturbation (rythme de défoliation) sont intermédiaires (Connell, 1978). De plus, afin d'assurer la stabilité du mélange, l'assemblage comprend au moins trois familles botaniques, et les espèces clés sont représentées par plusieurs variétés, choisies en fonction de leur décalage phénologique ou de leurs profils de production complémentaires. Afin de valider le mélange et de finaliser le choix de variétés au sein des espèces, ainsi que leur proportion et les doses de semis, des essais grandeur nature (Auguy *et al.*, 2020) sont réalisés dans une communauté d'utilisateurs qui partagent leurs résultats (4200 ha entre 2013 et 2024). Cette communauté a été constituée de 486 agriculteurs dans 8 régions françaises avec l'approche d'Expérimentation à la ferme (Terrier-Gesbert *et al.*, 2025). Les résultats issus des essais grandeur nature (variétés, proportions, dose de semis) seront prochainement accessibles aux utilisateurs. Ceci permettra aux utilisateurs d'affiner les proportions d'espèces de liste fournie par l'outil.

Les mélanges proposés sont ainsi spécialisés en fonction d'un objectif cible et d'une date de première utilisation de la prairie définie par l'utilisateur. Ils s'insèrent très facilement dans le système fourrager car ils sont modulaires et conçus pour être agencés entre eux et ainsi couvrir les différents besoins nécessaires aux exploitations d'élevage en fonction de la stratégie des éleveurs : système stock, système pâturant, système mixte, à dominante prairie temporaire ou prairie permanente, reposant sur les deux ressources...

Il est donc possible de concevoir tout ou partie d'un système fourrager avec la méthode Capflor®. Outre le fait que les mélanges ont pour fondement la maximisation de la diversité spécifique et variétale au niveau de la parcelle, elle offre aussi la possibilité de favoriser la diversité des mélanges entre les parcelles dans l'exploitation. Ceci permet de (i) rationaliser l'allocation des fonctions des prairies semées aux surfaces, au regard des besoins réels des systèmes et, (ii) de générer de l'inertie à l'échelle de l'exploitation vis-à-vis des aléas climatiques (sécheresse...), grâce à ce changement de niveau de diversification des ressources.

L'outil et la méthode **Capflor® visent à promouvoir des prairies à flore variée, plus durables et productives, dans des systèmes à bas intrants, sans apport d'azote minéral ni herbicide, et susceptibles de fournir une diversité de services écosystémiques**. En proposant dans les mélanges à la fois des espèces majeures et des espèces moins utilisées ou natives, ils invitent à reconsidérer le potentiel fourrager des espèces prairiales en lien avec le développement de l'agroécologie et de la diversification.

1.2 L'approche de la génétique quantitative, de l'écophysiologie et de l'agronomie

Une approche classiquement mise en œuvre pour raisonner la mise en place et la conduite des prairies s'appuie sur les principes généraux de l'agronomie du champ cultivé, de l'écophysiologie et de l'amélioration des plantes (Béranger, 2013). Cette démarche, en partie héritée de la révolution fourragère, et revisitée à l'aune des principes de l'agroécologie, s'est construite principalement autour de **l'amélioration des prairies temporaires insérées dans des rotations de cultures**. Les prairies y sont considérées comme un élément du système de culture, avec des attentes fortes sur les services multiples qu'elles fournissent aux agroécosystèmes, au-delà de la production fourragère et de l'alimentation des ruminants (Martin et al., 2020). Elles sont analysées avec une démarche similaire et en mobilisant des leviers communs à l'ensemble des cultures (analyse biophysique, impact des pratiques culturales, amélioration génétique des espèces, etc). Depuis 1961, le site INRAE de Lusignan s'est constitué progressivement comme un pôle de recherche spécialisé « prairies / plantes fourragères / systèmes fourragers ». Au départ, **la sélection des plantes fourragères pérennes a été guidée par la double exigence de productivité et d'adaptation aux systèmes d'élevage intensifs** qui se sont développés après la Seconde Guerre mondiale. Les prairies

font partie des rotations. Dans ces systèmes, les communautés prairiales sont majoritairement constituées d'espèces semées par les agriculteurs, avec une diversité spécifique relativement faible (1 à 6 espèces) et implantées pour une durée (généralement 2 à 5 ans) et un usage (fauche ou mixte fauche/pâture) généralement ciblés et bien définis dans le système fourrager. Elles assurent plusieurs services dont la production de fourrage mais aussi d'autres services en particulier pour les cultures de rente de la rotation (apport d'azote, coupure des cycles de ravageurs...). **Un choix d'espèces a alors été réalisé pour concentrer les efforts de recherche** : Dactyle, Fétuque élevée, Ray-grass d'Italie, Trèfle violet et Luzerne pour la fauche et Ray-grass anglais et Trèfle blanc pour la pâture. Ce choix d'espèces a été guidé par leur adaptation aux zones climatiques française, leur rendement (forte réponse à la fertilisation azotée pour les graminées) et leur valeur nutritive. De plus, cet ensemble d'espèces inclut les deux groupes fonctionnels : graminées et légumineuses ainsi qu'une diversité de longévités au sein des espèces. Ces espèces sont encore très majoritairement semées en France. Afin d'y être commercialisées, les variétés de ces espèces doivent être inscrites sur le catalogue officiel des variétés suite à une décision du ministère de l'agriculture basée sur un avis du Comité Technique Permanent de la Sélection (CTPS). Les nouvelles variétés sont évaluées pour leur distinction, homogénéité et stabilité (DHS) et pour leur valeur agronomique technologique et environnementale (VATE). La VATE est évaluée en culture pure sauf pour le trèfle blanc qui est associé au ray-grass anglais et dernièrement à la Fétuque élevée dans le sud de la France.

Des ressources génétiques ont été collectées principalement dans les années 1980-90 pour ces différentes espèces et sont toujours conservées dans le Centre de Ressources Biologiques Prairie à INRAE de Lusignan (Sampoux et al., 2025). **Ces ressources génétiques ont servi de base pour la création variétale** par INRAE et par les créateurs de variétés fourragères (Gallais et Bannerot, 2000). Les principaux objectifs de la sélection des espèces fourragères pérennes ont été et restent le rendement (en conditions favorables, adaptation au milieu abiotique et biotique, adaptation au mode d'exploitation), la valeur alimentaire (teneur en fibres, digestibilité enzymatique, teneur en protéines) et des caractéristiques culturales (vitesse d'installation, vitesse de repousse, pérennité, production de semences, gestion des adventices sans application d'herbicides) (Surault et al., 2024). La **génétique quantitative** a permis **d'optimiser les schémas de sélection** (Gallais, 1990). Une sélection d'individus sur des caractères très héréditaires comme la précocité ou la tolérance aux maladies au sein de familles sélectionnées sur des caractères évalués en parcelle comme le rendement et la valeur nutritive s'est avérée comme un optimum chez ces espèces allogames pour lesquelles les variétés créées sont des synthétiques (croisement d'un nombre restreint de plantes sélectionnées puis multiplication sans sélection pour produire suffisamment de semence). Des schémas **de sélection sur l'aptitude générale** (Figure 3) **ou spécifique à l'association** (deux espèces) ont été proposés (Sampoux et al., 2020; Wright, 1985) mais peu utilisés du fait de

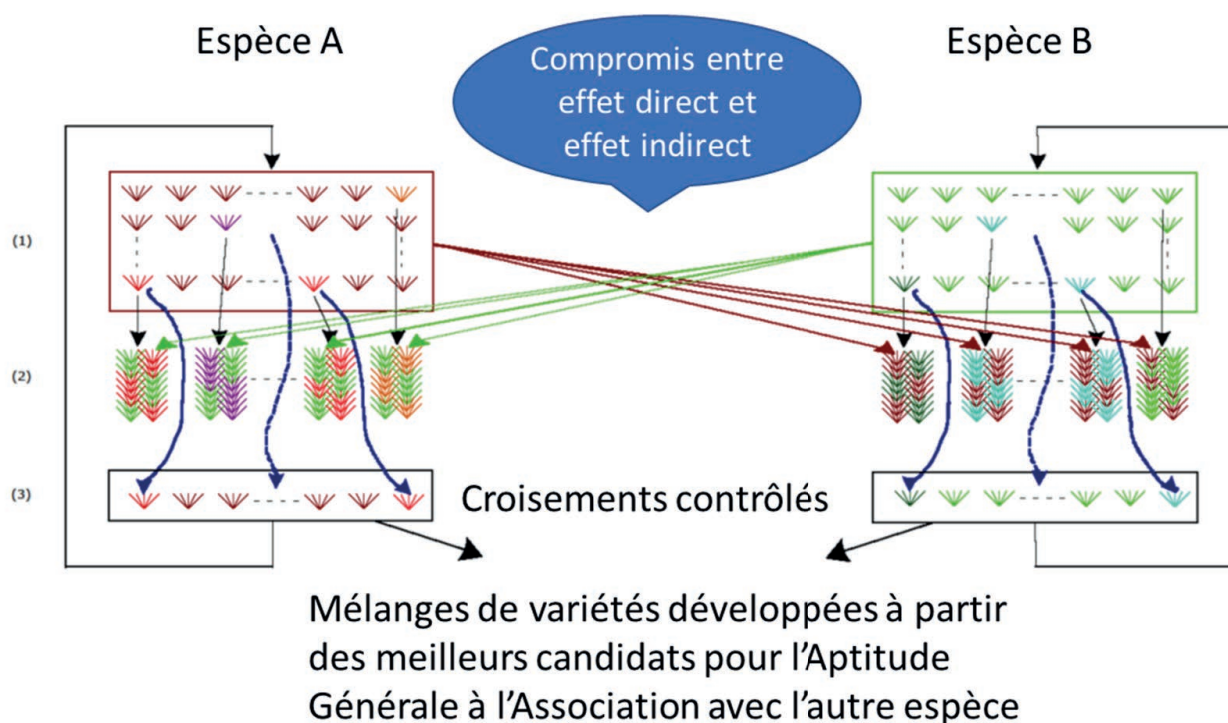


Figure 3 : Exemple d'un schéma de sélection récurrente pour une association de deux espèces avec une amélioration pour chaque espèce du rendement du couvert avec un témoin moyen de l'autre espèce (Sampoux *et al.*, 2020). Un compromis est recherché entre l'effet direct d'une espèce (son rendement dans le couvert) et son effet indirect sur le rendement de l'autre espèce dans le couvert.

Figure 3: Example of a recurrent selection scheme for a mixture of two species with an improvement in yield for each species when used with an average control of the other species (Sampoux *et al.*, 2020). A compromise is sought between the direct effect of one species (its yield in the canopy) and its indirect effect on the yield of the other species in the canopy.

leur lourdeur malgré des évidences montrant que les meilleurs individus en culture pure ne sont pas forcément les meilleurs en mélange (Maamouri *et al.* 2017). Actuellement seul le Trèfle blanc est évalué avec du ray-grass anglais et trois types ont été créés selon la taille de leurs folioles : nain, intermédiaire et géant. Bien que les modèles théoriques existent pour une sélection avec plus de deux espèces, la combinatoire était tellement élevée qu'ils n'ont pas été mis en pratique (Sampoux *et al.*, 2020). Récemment une méthode statistique a été proposée pour simplifier les dispositifs expérimentaux (Haug *et al.*, 2021).

Chez ces espèces pérennes dont l'évaluation demande du temps, la création de variétés est un processus long souvent d'une quinzaine d'années jusqu'à l'inscription au catalogue officiel français. Ces dix dernières années **des avancées méthodologiques ont été réalisées avec l'aide du marquage moléculaire** pour accélérer la création variétale via la sélection assistée par marqueurs (sélection d'allèles favorables pour des régions du génome fortement impliquées dans la variation de caractères comme la tolérance à une maladie) et la sélection génomique (utilisation de l'information génomique pour prédire la valeur d'une plante), (Barre *et al.*, 2022 ; Barre *et al.*, 2024).

Des résultats indéniables ont été obtenus pour l'amélioration des principales espèces fourragères. Ils concernent **la résistance aux maladies** pour l'ensemble des espèces, **le rendement** d'été-automne chez le Ray-grass anglais et **la valeur nutritive** pour le

Ray-grass anglais, la Fétuque élevée et la Luzerne (Julier, 2023 ; Lamb *et al.*, 2006; Sampoux *et al.*, 2011). Cependant, il faut noter qu'hormis pour le Trèfle blanc, ces résultats ne concernent que des évaluations en culture pure et assez intensive.

Avec le regain d'intérêt pour les mélanges multi-espèces dans les années 2000, une nouvelle thématique de recherche a été initiée à INRAE de Lusignan par Isabelle Litrico-Chiarelli portant sur **l'intérêt de la diversité génétique (au sein des espèces) pour le maintien des espèces de la communauté**. Ces recherches ont montré l'intérêt d'une diversité génétique au sein des espèces (plusieurs variétés) pour stabiliser le rendement au cours du temps et dans des conditions stressantes ainsi que pour maintenir l'équilibre entre les espèces au sein du mélange (Litrico *et al.*, 2016 ; Meilhac *et al.*, 2020 ; Meilhac *et al.*, 2019 ; Wolff *et al.*, 2024). Ce phénomène est en partie expliqué par la possibilité d'une sélection locale des individus les plus adaptés au sein du couvert grâce à la diversité contenue dans chaque espèce. Il reste essentiel **de maximiser la diversité génétique pour certains caractères** ou « traits de vie » comme la phénologie ou la taille (Meilhac *et al.*, 2020). L'optimisation du choix des variétés reste complexe et leur nombre peut générer un coût supplémentaire à l'installation (Schaub *et al.*, 2021). Ce surcoût doit être transformé en service effectif.

Afin d'améliorer le choix des constituants à associer ainsi que les pratiques culturales, la prairie multi-espèces peut être abordée comme une association de cultures (Gloser, 1996 ; Stomph

et al., 2020), avec **une démarche visant à expliciter les interactions plante-plante, plante-sol et plante-climat au cours du temps, et en réponse à la gestion de la prairie**. Elle s'appuie sur des cas types relativement simples et très étudiés comme les associations Ray-grass-Trèfle blanc (Faurie et al., 1996) et les associations Luzerne-graminée (Louarn et al., 2016), pour identifier des mécanismes clés de ces interactions. Cela permet de proposer des caractères d'intérêts afin d'améliorer le fonctionnement de la prairie comme le maintien de la proportion de légumineuses et de la fixation (Annicchiarico, 2003 ; Maamouri et al., 2017). Elle mobilise pour cela i/ des approches d'expérimentation classiques en agronomie (Pelletier et al., 2016), ii/ des démarches de modélisation statistique comme les modèles Diversité-Interaction (Finn et al., 2024) qui permettent **d'inférer les combinaisons d'espèces et les groupes fonctionnels favorables** à la production d'un service (O'Malley et al., 2025 ; Figure 4) et iii/ des approches de modélisation mécaniste comme les modèles individus centrés (Louarn et al., 2020 ; Louarn, 2025 ; Figure 5) qui permettent de **faciliter l'exploration du rôle de certains traits particuliers dans la performance du mélange et de tester virtuellement de nombreuses compositions prairiales**. Cette fonction des modèles pour hiérarchiser les traits des espèces présentant l'impact le plus fort sur différents services attendus des prairies est tout particulièrement intéressant pour son lien avec l'amélioration des variétés utilisées en mélange et l'identification de nouveaux critères de sélection. Il est alors nécessaire d'identifier des proxys pertinents et faciles à mesurer pour ces traits d'intérêt afin de les appliquer en sélection sur de grands effectifs (Bourke et al., 2021 ; Moore et al., 2022).

Au final, l'approche basée sur le choix et l'amélioration **d'un nombre limité de constituants (1-6 espèces avec 1-3 variétés) pour semer les prairies vise à optimiser les services rendus en termes de production fourragère sur quelques années (1 à 5 ans) et en termes de services intrants dans un système de culture intégrant les prairies dans les rotations** (Louarn et al., 2024 ;

Malisch et al., 2024).

Les principales caractéristiques des deux approches au travers d'une analyse Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces sont présentées dans le Tableau 1. Cette analyse permet de rendre compte dans quels contextes à la fois pédo-climatique et sociaux-économique l'une ou l'autre approche est plus appropriée et de faire ressortir les synergies possibles.

2. Conclusion et perspectives

Face à une demande de semences pour des prairies multi-espèces, à la fois dépendante du contexte de transition agroécologique et d'un niveau d'exposition croissant de l'agriculture au changement climatique, les recherches conduites à INRAE ont apporté deux approches contrastées. Ce contraste peut être expliqué par les compétences, l'intérêt et les collaborations des chercheurs impliqués, ainsi que par la demande qui s'adresse à des systèmes agricoles différents : un système plutôt herbager dans des exploitations conduites à bas niveaux d'intrants de culture et d'alimentation ou dans des zones assez difficiles ; et un système plus intensif dans des zones plus favorables intégrant les prairies semées dans les rotations du système de culture. Les deux approches ont des avantages et limites mais apportent des connaissances et des solutions indéniables.

À la lumière de ces deux approches, nous proposons plusieurs pistes de travail :

Certaines espèces identifiées comme importantes par les utilisateurs de Capflor® pourraient être envisagées pour de la création variétale, comme le plantain ou la chicorée. Il ne sera pas possible de réaliser une recherche poussée et un travail de sélection approfondi sur chaque espèce par manque de moyens ; mais il est possible de cibler quelques traits dont les valeurs des populations actuelles sont limitantes et de tirer profit des connaissances

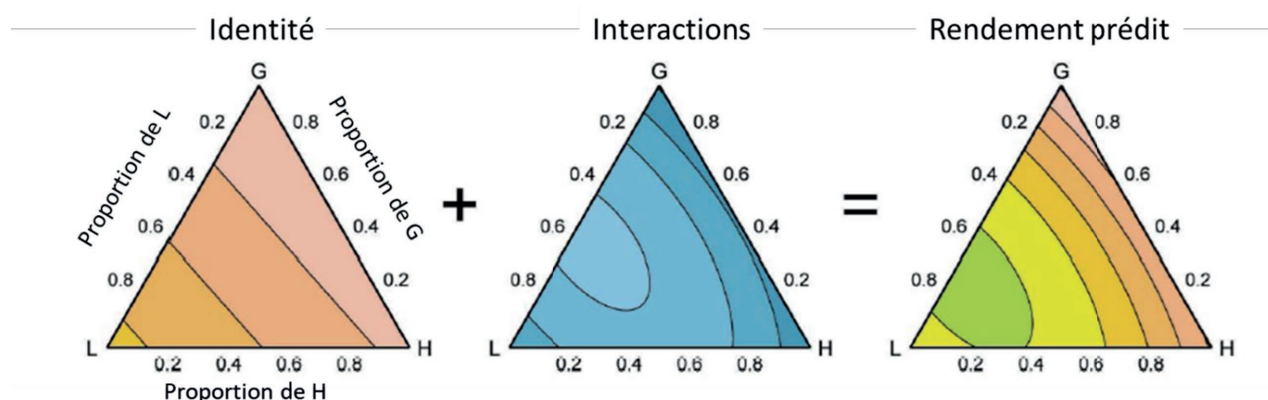


Figure 4 : Approche combinant données d'expérimentation et modèles statistiques d'analyse des interactions (diversity-interaction models; Finn et al., 2024) pour décomposer la performance d'un mélange (Rendement prédit indiqué par la couleur : une même couleur indique un même niveau) en un effet théorique attendu lié à l'identité des espèces présentes (effet de sélection des espèces indiqué par la couleur) et une déviation à cet attendu généré par les interactions entre les espèces et la proportion des espèces dans le mélange (effet Interactions indiqué par la couleur). Cas ici d'un mélange théorique à 3 espèces : graminées (G), légumineuses (L) et dicotylédones non légumineuses (H).

Figure 4 : Approach combining experimental data and statistical models for analyzing plant-plant interactions (diversity-interaction models; Finn et al., 2024) to break down the performance of a mixture into a theoretical effect linked to the identity of the species used and a deviation from this basal value generated by plant-plant interactions and the proportion of species in the mixture. Case study of a theoretical mixture of three species, Grasses, Legumes, and Herbs.

Tableau 1 : Forces, Faiblesses, Opportunités, Menaces des deux approches développées à INRAE pour optimiser la constitution des mélanges pour semer des prairies multi-espèces dans différents contextes.

Table 1: Strengths, weaknesses, opportunities and threats of the two approaches developed at INRAE to optimise the composition of mixtures for sowing multi-species grasslands in different contexts

Approche basée sur l'écologie des communautés	Approche basée sur la génétique quantitative, l'agronomie et l'écophysiologie
FORCES	
Adaptée pour les milieux conduits à bas niveaux d'intrants ou assez difficiles	Adaptée pour les rotations dans les systèmes de cultures et la conduite en bas-intrants
Bonne résilience face aux aléas. Mélanges localement adaptés	Mélanges optimisés pour des contraintes et attendus donnés : pédo-climatiques et usages
Optimisée pour les prairies de longue durée (>5 ans), mais possible et intéressante pour des prairies de moyenne durée (4/5ans)	Adaptée pour des prairies de courte à moyenne durée (1-5 ans)
Apporte de très nombreux services grâce à une grande diversité spécifique et fonctionnelle de la parcelle au système fourrager	Apporte des services au système de culture grâce à une diversité fonctionnelle
Augmente la biodiversité et limite les fluctuations du rendement et de la valeur nutritive (parcelle-soles fourragères-système fourrager)	Variétés améliorées pour le rendement, la valeur nutritive et la résistance aux maladies
Méthode directement opérationnelle	
Implication directe des utilisateurs finaux : validation On Farm Experimentation des mélanges	
FAIBLESSES	
Productivité non optimale en système intensif	Nombre d'espèces proposées limité
Coût élevé d'installation	Résilience plus incertaine face aux aléas
Difficulté d'approvisionnement en semences	Evaluation des variétés en culture pure conduite de manière assez intensive pour l'inscription au catalogue officiel pouvant limiter la diversité disponible
Variétés potentiellement non adaptées si achat à l'international	Pas d'évaluation indépendante en mélange ni à l'inscription ni en post-inscription
Nécessité de mobiliser un réseau d'essai grandeur nature (On Farm Experimentation) conséquent au niveau national pour valider la diversité des assemblages proposés (mélanges, variétés, proportions)	Temps long pour comprendre les mécanismes afin d'aller vers du conseil et temps long de l'amélioration génétique
MENACES	
Diminution de l'élevage de ruminants	
Réglementation du ministère de l'agriculture et/ou de la PAC non favorable au classement des prairies semées de 5 ans et plus en prairies permanentes	Difficulté de production des semences et d'accès à des types variétaux particuliers sur tout le territoire
Intensification de l'élevage et diminution de la part des prairies dans l'alimentation des ruminants	Arrivée sur le marché de semences de faible valeur agronomique à bas coût inscrites en Europe mais sans évaluation de la valeur agronomique
OPPORTUNITES	
Diminution de l'utilisation des intrants alimentaires et de synthèse dont l'azote minéral augmentant l'intérêt des légumineuses et des dicotylédones (hors légumineuses : Plantain lancéolé...)	Diminution de l'utilisation des intrants de synthèse augmentant l'intérêt des prairies pour leurs services (en particulier gestion des ravageurs, apport d'azote et de matière organique dans les sols) dans les systèmes agricoles
Augmentation des stress liés au changement climatique et des aléas	Prise de conscience nationale de l'intérêt de la diversification des espèces cultivées
Extensification de l'élevage dans certaines régions favorisant le pâturage et le fourrage stocké à base de prairies	Développement de marchés spécialisés de fourrages comme la Luzerne sous différentes formes

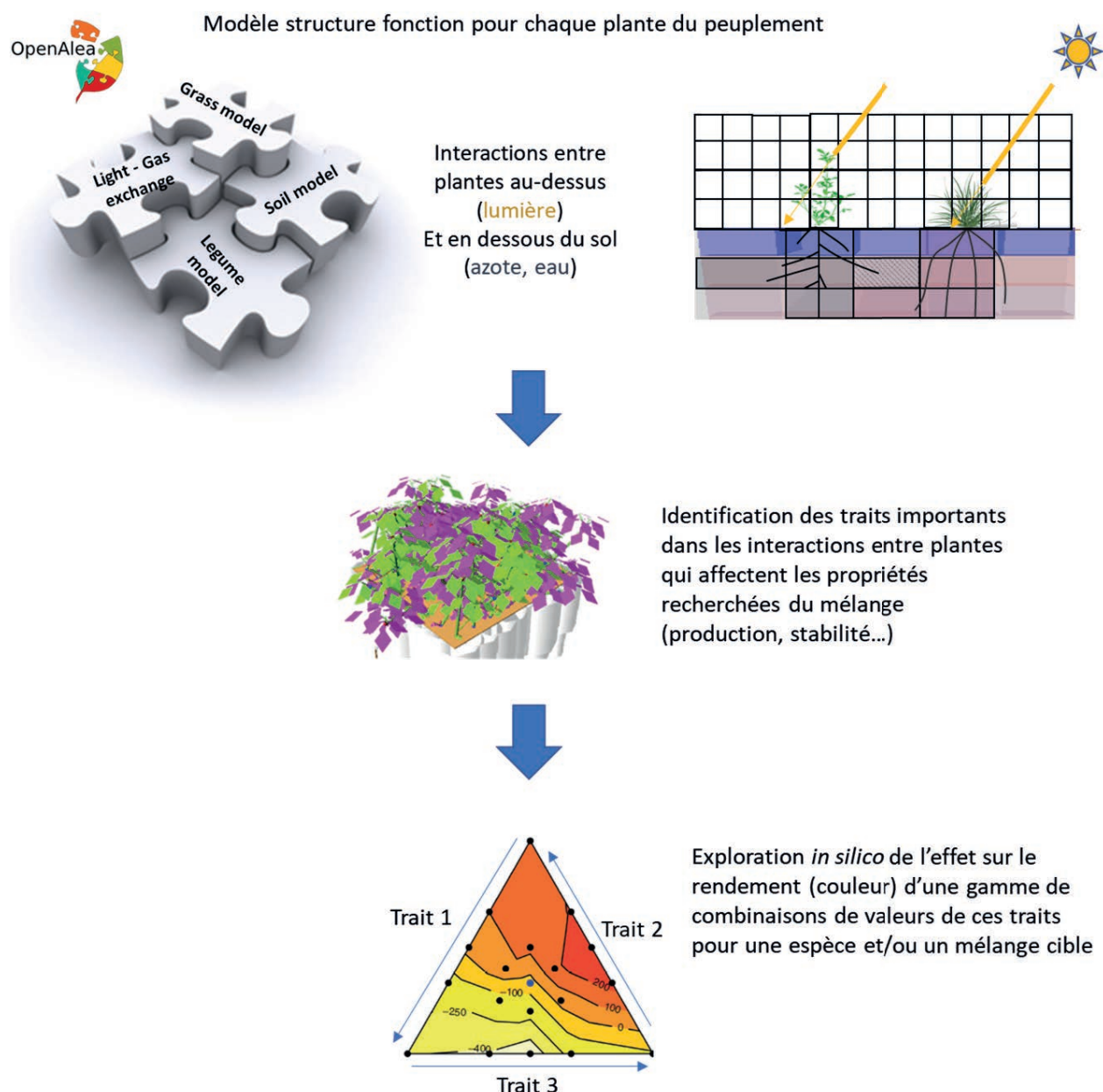


Figure 5 : Approche mécanistique du fonctionnement des couverts végétaux à l'aide de la modélisation structure-fonction individu centrée (Louarn and Faverjon, 2018) pour identifier les principaux traits expliquant les interactions plante-plante (Louarn et al., 2020a) et pour tester des compositions de mélanges *in silico* (Louarn and Song, 2020; Wolff et al., 2021).

Figure 5: Mechanistic approach to the functioning of plant cover using functional-structural-plant-model (Louarn and Faverjon, 2018) to identify the main traits explaining plant-plant interactions (Louarn et al., 2020a) and to test mixture compositions *in silico* (Louarn and Song, 2020; Wolff et al., 2021).

acquises sur des espèces plus travaillées (Julier, 2023).

Ceci facilitera **l'accès à des semences adaptées à la France pour ces espèces qui jusqu'à présent sont importées.**

Une description des variétés du catalogue officiel pour les traits fonctionnels utilisés dans Capflor® pourrait aider au choix de variétés pour les espèces fourragères principales qui forment un socle pour les prairies : « fond prairial » (Tilman et al., 2001). D'autre part, des traits identifiés comme importants par l'approche mécanistique pourraient être ajoutés à l'outil Capflor®.

Des mélanges proposés par les deux approches pourraient être comparés dans différentes conditions dont des réseaux de parcelles à la ferme afin de mieux appréhender le niveau de

diversité nécessaire selon les contraintes et les attentes pour obtenir un niveau de production. Ainsi, il serait possible **d'identifier ce qui marche en situation**, de valider des hypothèses sur les règles d'assemblage et **de caractériser l'aptitude des variétés au mélange dans des niveaux de diversité spécifique contrastés.**

Les retours d'expériences associés à l'acquisition de connaissances des interactions plante-plante pourraient aider à la définition de nouveaux traits importants pour les mélanges et de leurs valeurs pour assurer une bonne coexistence des espèces. Ces informations pourraient être prises en compte pour l'inscription des variétés au catalogue officiel. Ceci aiderait à inscrire des variétés pour une utilisation en mélange qui sont difficilement inscriptibles aujourd'hui sans un dossier spécial. Ainsi, la **gamme de diversité de variétés**

proposées serait élargie avec une possibilité de classement par type comme chez le Trèfle blanc. **Une réflexion sur la manière de commercialiser cette diversité sera ensuite nécessaire pour satisfaire l'utilisateur final du point de vue de la production fourragère, des coûts associés à son installation et de l'ensemble des services rendus en prenant en compte les compromis entre ces services.**

Références bibliographiques

- Annicchiarico, P. (2003). Breeding white clover for increased ability to compete with associated grasses. *The Journal of Agricultural Science* 140, 255-266.
- Ansquer, P., Al Haj Khaled, R., Cruz, P., Theau, J. P., Therond, O., and Duru, M. (2009). Characterizing and predicting plant phenology in species-rich grasslands. *Grass and Forage Science* 64, 57-70.
- Ansquer, P., Theau, J., Cruz, P., Viegas, J., Al Haj Khaled, R., and Duru, M. (2004). Caractérisation de la diversité fonctionnelle des prairies naturelles. Une étape vers la construction d'outils pour gérer les milieux à flore complexe. *Fourrages* 179, 353-368.
- Auguy, C., Goutiers, V., Chatain, C., Liquière, B., Orfeo, F., Poquet, M., Metivier, A.-J., Benazech, R., Mathieu, J.-C., and Fontaneil, C. (2020). Quels leviers pour intégrer les prairies à flore variée (PFV) au service de systèmes fourragers qualitatifs et performants en moyenne montagne?, Chambre d'Agriculture du Tarn.
- Barre, P., Asp, T., Byrne, S., Casler, M., Faville, M., Rognli, O. A., Roldan-Ruiz, I., Skot, L., and Ghesquière, M. (2022). Genomic prediction of complex traits in forage plants species: perennial grasses case. In "Genomic Prediction of Complex Traits: Methods and Protocols", pp. 521-541. Springer.
- Barre, P., Pégard, M., and Julier, B. (2024). GENOMIC SELECTION IN PERENNIAL FORAGE SPECIES: THE EXAMPLE OF ALFALFA. 7th International Conference of Quantitative Genetics, Jul 2024, Vienne (Austria), Austria. 2024. .
- Béranger, C. (2013). Les représentations de la prairie dans la pensée agronomique de la seconde moitié du XXe siècle. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA* 63, 103-112.
- Bourke, P. M., Evers, J. B., Bijma, P., van Apeldoorn, D. F., Smulders, M. J., Kuyper, T. W., Mommer, L., and Bonnema, G. (2021). Breeding beyond monoculture: Putting the "intercrop" into crops. *Frontiers in Plant Science* 12, 734167.
- Capitaine, M., Pelletier, P., and Hubert, F. (2008). Les prairies multispécifiques en France : histoire, réalités et valeurs attendues. *Fourrages* 194, 123-136.
- Connell, J. H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs: high diversity of trees and corals is maintained only in a nonequilibrium state. *Science* 199, 1302-1310.
- Cruz, P., Duru, M., Therond, O., Theau, J. P., Ducourtieux, C., Jouany, C., Al Haj Khaled, R., and Ansquer, P. (2002). Une nouvelle approche pour caractériser les prairies naturelles et leur valeur d'usage. *Fourrages* 172, 335-354.
- Cruz, P., Theau, J.-P., Lecloux, E., Jouany, C., and Duru, M. (2010). Typologie fonctionnelle de graminées fourragères pérennes: une classification multitraits. *Fourrages* 201, 11-17.
- Duru, M., Cruz P, P., Raouda, A. H. K., Ducourtieux, C., and Theau, J. P. (2008). Relevance of plant functional types based on leaf dry matter content for assessing digestibility of native grass species and species-rich grassland communities in spring. *Agronomy Journal* 100, 1622-1630.
- Duru, M., Hazard, L., Jeangros, B., and Mosimann, E. (2001). Fonctionnement de la prairie pâturée: structure du couvert et biodiversité. *Fourrages* 166, 165-188.
- Faurie, O., Soussana, J.-F., and Sinoquet, H. (1996). Radiation interception, partitioning and use in grass-clover mixtures. *Annals of Botany* 77, 35-46.
- Finn, J. A., Suter, M., Vishwakarma, R., Oram, N. J., Lüscher, A., and Brophy, C. (2024). Design principles for multi-species productive grasslands: Quantifying effects of diversity beyond richness. *Journal of Ecology* 112, 2471-2479.
- Frick, R., Mosimann, E., and Suter, D. (2008). Expérience sur la mise en oeuvre de prairies multispécifiques. Histoire et rôles des mélanges semés en Suisse. *Fourrages* 194, 221-231.
- Gallais, A. (1990). «Théorie de la sélection en amélioration des plantes,» Paris Milan Barcelon Mexico.
- Gallais, A., and Bannerot, H. (2000). «Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection.»
- Gloser, J. (1996). Ecophysiology of Tropical Intercropping: Sinoquet, H., Cruz, P.(ed.): INRA, Paris 1995. 484 pp., 195.00 F. Springer.
- Godoc B., Crestey M., Madrid A., Pavie J. (2023) Les chiffres clés des prairies et parcours en France. <https://idele.fr/detail-article/les-chiffres-cles-des-prairies-et-parcours-en-france>
- Goutiers, V., Charron, M., Deo, M., and Hazard, L. (2016). Capflor®: un outil pour concevoir des mélanges de prairies à flore variée, *Fourrages*, 228, 243-252.
- Haug, B., Messmer, M. M., Enjalbert, J., Goldringer, I., Forst, E., Flutre, T., Mary-Huard, T., and Hohmann, P. (2021). Advances in breeding for mixed cropping-incomplete factorials and the producer/associate concept. *Frontiers in plant science* 11, 620400.
- Jouany, C., Theau, J. P., Duru, M., Hazard, L., and Cruz, P. (2008). Quels enseignements d'études sur prairies permanentes mobiliser pour implanter et gérer les prairies plurispécifiques? *Fourrages* (195), 287-300.(2008).
- Julier B. (2023). Sélection des légumineuses fourragères pour accroître leur rôle agroécologique, *Fourrages* 255, 33-39.
- Keddy, P. A. (1992). Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology. *Journal of vegetation science* 3, 157-164.
- Khaled, R. A. H., Duru, M., Decruyenaere, V., Jouany, C., and Cruz, P. (2006). Using leaf traits to rank native grasses according to their nutritive value. *Rangeland Ecology & Management* 59, 648-654.
- Lamb, J. F., Sheaffer, C. C., Rhodes, L. H., Sulc, R. M., Undersander, D. J., and Brummer, E. C. (2006). Five decades of alfalfa cultivar improvement: Impact on forage yield, persistence, and nutritive value. *Crop science* 46, 902-909.
- 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., Meisser, M., Mosimann, E., Picon-Cochard, C., Roumet, C., and Volaire, F. (2016). Using mixed-forage grasslands to deal with climate change: opportunities and challenges. *Fourrages*, 11-20.
- Louarn, G., Barillot, R., Combes, D., and Escobar-Gutierrez, A. (2020). Towards intercrop ideotypes: non-random trait assembly can promote overyielding and stability of species proportion in simulated legume-based mixtures. *Annals of Botany* 126, 671-685.
- Louarn, G., and Faverjon, L. (2018). A generic individual-based model to simulate morphogenesis, C-N acquisition and population dynamics in contrasting forage legumes. *Annals of Botany* 121, 875-896.
- Louarn, G., Faverjon, L., Bijelic, Z., and Julier, B. (2016). Nitrogen dynamics in grass-legume associations; how can fixed nitrogen use be optimised? *Fourrages*, 135-142.
- Louarn, G., and Song, Y. (2020). Two decades of functional-structural plant modelling: now addressing fundamental questions in systems biology and predictive ecology. *Annals of Botany* 126, 501-509.
- Louarn, G., Edouard, S., Barre, P., Julier, B., & Gastal, F. (2024). The older the better? Delayed complementarity, overyielding, and improved residue composition in ageing alfalfa-fescue mixtures. *Plant and Soil*, 499(1), 553-567.
- Louarn, G. (2025) Apports de la modélisation pour analyser les interactions

- entre plantes et définir les composantes des prairies multi-espèces. *Fourrages*, 267, 31-40.
- Maamouri, A., Louarn, G., Beguier, V., and Julier, B. (2017). Performance of lucerne genotypes for biomass production and nitrogen content differs in monoculture and in mixture with grasses and is partly predicted from traits recorded on isolated plants. *Crop & Pasture Science* 68, 942-951.
- MacArthur, R., and Levins, R. (1967). The limiting similarity, convergence, and divergence of coexisting species. *The american naturalist* 101, 377-385.
- Malisch, C. S., Finn, J. A., Eriksen, J., Loges, R., Brophy, C., & Huguenin-Elie, O. (2024). The importance of multi-species grassland leys to enhance ecosystem services in crop rotations. *Grass and Forage Science*, 79(2), 120-134.
- Martin, A., Durand, J. L., Duru, M., Gastal, F., Julier, B., Litrico, I., Louarn, G., Médiène, S., Moreau, D., Valentin-Morison, M., Novak, S., Parnaudeau, V., Paschalidou, F., Vertès, F., Voisin, A. S., Cellier, P., and Jeuffroy, M. H. (2020). Role of ley pastures in tomorrow's cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 40.
- Meilhac, J., Deschamps, L., Maire, V., Flajoulot, S., and Litrico, I. (2020). Both selection and plasticity drive niche differentiation in experimental grasslands. *Nature Plants*.
- Meilhac, J., Durand, J. L., Beguier, V., and Litrico, I. (2019). Increasing the benefits of species diversity in multispecies temporary grasslands by increasing within-species diversity. *Annals of Botany* 123, 891-900.
- Moore, V. M., Schlautman, B., Fei, S.-z., Roberts, L. M., Wolfe, M., Ryan, M. R., Wells, S., and Lorenz, A. J. (2022). Plant breeding for intercropping in temperate field crop systems: a review. *Frontiers in Plant Science* 13, 843065.
- O'Malley J, Finn JA, Malisch CS, Suter M, Meyer ST, ..., Brophy C (2025). Multispecies grasslands produce more yield from lower nitrogen inputs across a climatic gradient. *Science*. In press
- Pelletier, P., Surault, F., Gastal, F., and Besnard, A. (2016). Mieux comprendre les dynamiques d'évolution des légumineuses dans les associations et les prairies multi-espèces. In «Les Journées de l'AFPF», pp. 247 p.
- Protin, P., Pelletier, P., Gastal, F., Surault, F., Julier, B., Pierre, P., and Straëbler, M. (2014). Les prairies multi-espèces, un levier pour des systèmes fourragers performants. *Fourrages*, 167-176.
- Rozman, Č. & Pažek, K. (2012) Introduction to DEXi multi criteria decision models: what they are and how to use them in agriculture. *Agricultura (Slovenia)*, 9, 23-29.
- Salette, J. (2006). La Révolution fourragère, 50 ans après. La Révolution fourragère et l'herbe. *Fourrages (Versailles)*, 417-429.
- Sampoux, J.-P., Barre, P., Durand, J.-L., Ghesquière, M., Julier, B., Pégard, M., and Priet, A. (2025). The INRAE Prairies genebank for ex situ conservation of forage and turf species in France. In "Genetic Resources", pp. 106-118.
- Sampoux, J.-P., Baudouin, P., Bayle, B., Beguier, V., Bourdon, P., Chosson, J.-F., Deneufbourg, F., Galbrun, C., Ghesquiere, M., Noel, D., Pietraszek, W., Tharel, B., and Viguie, A. (2011). Breeding perennial grasses for forage usage: An experimental assessment of trait changes in diploid perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars released in the last four decades. *Field Crops Research* 123, 117-129.
- Sampoux, J.-P., Giraud, H., and Litrico, I. (2020). Which Recurrent Selection Scheme To Improve Mixtures of Crop Species? Theoretical Expectations. *G3-Genes Genomes Genetics* 10, 89-107.
- Schaub, S., Finger, R., Buchmann, N., Steiner, V., & Klaus, V. H. (2021). The costs of diversity: higher prices for more diverse grassland seed mixtures. *Environmental Research Letters*, 16(9), 094011.
- SEMAE (2025) https://www.semae.fr/uploads/semae-fr-agenda_20250410_support-presentation-journee-distribution-fourrageres-2025.pdf
- Stomph, T., Dordas, C., Baranger, A., de Rijk, J., Dong, B., Evers, J., Gu, C., Li, L., Simon, J., and Jensen, E. S. (2020). Designing intercropping for high yield, yield stability and efficient use of resources: Are there principles? *Advances in agronomy* 160, 1-50.
- Straëbler, M. (2016). Availability and sales of grassland seed mixtures in France: major trends over time.
- Straëbler, M., et De Goyon, B. (2008). Une analyse de la réglementation sur la commercialisation des mélanges en France après trois campagnes d'application: Prairies multisécifiques. Valeur agronomique et environnementale. *Fourrages (Versailles)*, 137-146.
- Surault, F., Huyghe, C., Sampoux, J. P., Larbre, D., Barre, P., Louarn, G., & Julier, B. (2024). Weed control, protein and forage yield of seven grass species in lucerne-grass associations. *Field Crops Research*, 309, 109308.
- Terrier-Gesbert, M., Clement, C., and Goutiers, V. (2025). CAPFLOR: Outiller la biodiversification des prairies semées pour une meilleure résilience des élevages herbivores, INRAE.
- Tilman, D., Reich, P. B., Knops, J., Wedin, D., Mielke, T., & Lehman, C. (2001). Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science*, 294(5543), 843-845.
- Wolff, B., Julier, B., & Louarn, G. (2024). Impact of intraspecific genetic variation on interspecific competition: a theoretical case study of forage binary mixtures. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1356506.
- Wright, A. J. (1985). Selection for improved yield in inter-specific mixtures or intercrops. *Theoretical and Applied Genetics* 69, 399-407.