La revue francophone sur les fourrages et les prairies

The French Journal on Grasslands and Forages

Cet article de la revue ***Fourrages***,

est édité par l'Association Francophone pour les Prairies et les Fourrages

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

www.afpf-asso.fr

Association Francophone pour les Prairies et les Fourrages
AFPF – Maison Nationale des Eleveurs –
149 rue de Bercy –75595 Paris Cedex 12
Tel. : +33.(0)7.69.81.16.62 – Mail : contact@afpf-asso.fr

Comment la diversification accroît la résilience des systèmes herbagers européens, sans constituer une stratégie universelle.

B. Dumont[1*], A. Franca[2], F. López-i-Gelats[3], C. Mosnier[1], C. M. Pauler[4]

RESUME

La diversification des systèmes herbagers constitue un des principes clés de l'agroécologie, de l'agriculture biologique et des autres formes d'agriculture régénérative. A partir d'exemples pris en zones de plaine, de montagne ou méditerranéennes, nous montrons que la diversification des exploitations herbagères offre des leviers pour faire face aux aléas du marché, climatiques ou liés au collectif de travail. Cependant, la diversification n'est pas une stratégie « clé en main » et il est essentiel de tenir compte des conditions propres à chaque exploitation, pour que les processus écologiques que l'on cherche à optimiser fournissent les bénéfices escomptés. Faute de quoi, la diversification du système peut entraîner une perte d'efficience globale du fonctionnement de l'exploitation. Nous illustrons cette synthèse par des exemples de diversification à différents niveaux, depuis les pâturages et les ressources fourragères jusqu'à l'ensemble de l'activité de l'exploitation. Certains antagonismes qui se manifestent entre ces niveaux peuvent nuire à la biodiversité et aux services écosystémiques fournis par les prairies. Par exemple, lorsque la diversification des activités de l'exploitation dilue la main-d'œuvre agricole, une simplification du mode de conduite des prairies peut faire régresser des communautés végétales à haute valeur écologique. En revanche, une diversification raisonnée au cas par cas permet de tirer parti des ressources fourragères disponibles, d'opportunités locales pour commercialiser les produits, et de différentes aides publiques. La diversification préserve alors les services écosystémiques fournis par les prairies et améliore conjointement la résilience socio-économique des exploitations.

SUMMARY

Diversification increases the resilience of European grassland-based systems but is not a one-size-fits-all strategy

Diversification of grassland-based systems is highly valued in agroecology, organic farming and other forms of regenerative agriculture. For Mediterranean, mountain and lowland areas, we illustrate that diversification of grassland types, livestock, products and farm labour allows coping with market, climatic and workforce-related risks. However, diversification is not a one-size-fits-all strategy. Farmers' technical skills and ability to re-organize and monitor the system must be considered to avoid ineffectiveness of the diversified system. Moreover, it is essential to account for site-specific conditions so that the ecological processes to be optimized can provide the expected benefits. Diversification occurs on different levels, from grassland and feed resources to the entire farm activity. There may be trade-offs among these different levels impairing grassland ecosystem services. For instance, if diversification of farm activities dilutes workforce, simplified grassland management can lead to the loss of vegetation communities of high ecological value. In contrast, case-adapted diversification benefits from local opportunities, available resources and external supports to secure the system and favour sustainable resource management. Thereby, diversification preserves grassland ecosystem services and enhances farm socio-economic resilience to withstand perturbations.

AUTEURS

1 : Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR 1213 Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France
2 : CNR-ISPAAM, Institute for Animal Production System in Mediterranean Environment, National Research Council of Italy, Trav. La Crucca 3, 07100 Sassari, Italie
3 : Agroecology and Food Systems Chair, University of Vic-Central University of Catalonia. C/ de la Laura 13. 08500 Vic (Barcelona), Espagne
4 : Agroscope, Forage Production and Grassland Systems, 8046 Zurich, Suisse

MOTS-CLES : agroécologie, biodiversité, services écosystémiques, pâturage mixte, conduite des prairies, synergies, antagonismes

KEY-WORDS: Agroecology, Biodiversity, Ecosystem services, Mixed grazing, Site-adapted management, Trade-offs

REFERENCE DE L'ARTICLE : Dumont B., Franca A., López-i-Gelats F., Mosnier C., Pauler C. M., (2023). *« Comment la diversification accroît la résilience des systèmes herbagers européens, sans constituer une stratégie universelle ». Fourrages* 253, 75-86

Cet article a été publié en anglais dans la revue *Grass and Forage Science* (Volume 77, Issue 4), et traduit en français pour la revue *Fourrages*, avec l'aimable autorisation des auteurs et de la revue *Grass and Forage Science*.

Article d'origine : Dumont B., Franca A., López-i-Gelats F., Mosnier C., & Pauler C. M. (2022). Diversification increases the resilience of European grassland-based systems but is not a one-size-fits-all strategy. Grass and Forage Science, 77(4), 247–256. https://doi.org/10.1111/gfs.12587

Longtemps, les systèmes herbagers étaient adaptés aux conditions locales avec un recours limité aux intrants. Ces systèmes étaient « naturellement » diversifiés et autonomes. Au XXe siècle, l'industrialisation de l'agriculture et la mondialisation ont conduit à intensifier et à spécialiser ces systèmes. En plaine et sur les plateaux de moyenne altitude, la spécialisation a accru la prédominance des prairies fertilisées, à haut rendement, et des mélanges graminées-légumineuses par rapport aux prairies « naturelles » gérées de manière extensive. Malgré leur productivité, ces systèmes herbagers à haut rendement sont vulnérables aux effets du changement climatique (Melts *et al.*, 2018; Stampfli *et al.*, 2018). Par ailleurs, l'homogénéisation de la gestion des surfaces et la disparition des haies favorise la pullulation des ravageurs, tels qu'*Arvicola terrestris* (Couval *et al.*, 2014). En montagne, où les animaux exploitent parfois des pentes escarpées, les prairies sont menacées d'abandon en raison de leur coût d'exploitation élevé, et du manque de rentabilité économique des systèmes dans les territoires les plus reculés.

Nous sommes donc face à un changement de paradigme, qui consiste de passer d'une logique de standardisation des systèmes de production permettant d'optimiser la productivité par unité de travail, à une logique de diversification. On cherche alors à optimiser la productivité des ressources naturelles et à valoriser les services écosystémiques fournis par les prairies et les systèmes diversifiés (Kremen & Miles, 2012 ; Rodríguez-Ortega *et al.*, 2014 ; Wang *et al.*, 2019). Certains exemples illustrant cet article sont pris en zones de montagne ou méditerranéennes. Ces espaces sont confrontées à des contraintes environnementales qui limitent la productivité des prairies, de sorte que les systèmes pastoraux représentent la principale, et parfois la seule, option agricole. Ces zones « marginales » ont donc un rôle pionnier dans le développement des logiques de diversification (López-i-Gelats *et al.*, 2011).

La diversification a le potentiel de réduire la vulnérabilité des systèmes herbagers. La vulnérabilité dépend non seulement de l'exposition et de la sensibilité aux risques, mais aussi de la capacité des systèmes à s'adapter ou à retrouver un nouvel état d'équilibre après une perturbation (Smit & Wandel, 2006). Walker *et al.* (2004) définissent la résilience comme la capacité d'un système à absorber des perturbations et à se réorganiser tout en subissant des changements pour maintenir sa fonction. Darnhofer (2014) explique que la résilience couvre les capacités tampon, d'adaptation et de transformation de tout système. La capacité tampon désigne la capacité d'un système à assimiler une perturbation sans modifier sa structure et sa fonction ; la capacité d'adaptation consiste à s'ajuster temporairement au changement tout en restant dans le même domaine de stabilité ; la capacité de transformation implique la transition vers un nouveau système.

Dumont *et al.* (2020) ont démontré que la production et les services écosystémiques fournis par les systèmes d'élevage pouvaient tirer parti de la diversité des types de prairies et des ressources alimentaires, et de la diversité qui existe au sein des troupeaux : variabilité interindividuelle, interraciale ou interspécifique (Magne *et al.*, 2016 ; Ollion *et al.*, 2016). Les atouts de la diversification des systèmes peuvent résulter d'interactions à l'échelle de l'exploitation (Steinmetz *et al.*, 2021 ; Puech & Stark, 2023). Les capacités d'adaptation d'un système peuvent aussi reposer sur l'adaptation des produits vendus aux conditions du marché (Astigarraga & Ingrand, 2011), et sur une baisse temporaire du chargement (Do Carmo *et al.*, 2016) et des équilibres entre les espèces qui composent le troupeau (Mace, 1990 ; Joly *et al.*, 2019). La diversification d'un système et de ses interactions internes accroit sa capacité à tamponner et à s'adapter aux aléas. La transformation d'un système implique en général des changements dans les stratégies de commercialisation et l'organisation du travail (Martin *et al.*, 2020). Une telle refonte du système peut même conduire à une diversification des activités agricoles au-delà du rôle de production alimentaire de l'agriculture (López-i-Gelats *et al.*, 2011).

Biggs *et al.* (2012) décrivent par une courbe en cloche la relation entre le niveau de diversité d'un système et la résilience des services écosystémiques qu'il fournit. Cela suggère qu'il existerait un optimum théorique de diversité, en dessous duquel une faible diversité limite les capacités tampon et d'adaptation du système. Au-delà de l'optimum, la résilience du système serait compromise par sa complexité : une conduite précise du système devient alors impossible car les agriculteurs ne peuvent plus suivre l'état du système et intégrer toutes les possibilités d'interactions. Dans ces conditions le système stagne.

En nous appuyant sur le cadre proposé par Biggs *et al.* (2012), nous cherchons ici à proposer une analyse critique des atouts et des limites de la diversification des systèmes herbagers européens, en intégrant les différents niveaux où elle se manifeste. Nous examinons comment la diversification des types de prairies, du troupeau, des produits et de l'organisation du travail peut améliorer la résilience des systèmes herbagers. Parallèlement, nous identifions les compromis à arbitrer et les risques pouvant conduire à une mauvaise gestion des prairies. Enfin, nous abordons brièvement comment l'assurance privée et les soutiens publics sont des leviers complémentaires pour accroitre la résilience des systèmes herbagers.

1. Diversifications des types de prairies, des ressources fourragères et de leur conduite

La diversité des espèces végétales peut accroître la résilience des prairies diversifiées et des mélanges fourragers (Lüscher *et al.*, 2022), par exemple atténuer les effets des épisodes de sécheresse (e.g. Grange *et al.,* 2021) grâce au large éventail des caractéristiques biologiques (appelées traits fonctionnels) des espèces qui constituent ces mélanges. Toutefois, la diversité qui existe au sein d'une prairie ne peut amortir toutes les perturbations potentielles auxquelles elle est exposée. La diversification des types de prairies est donc un levier nécessaire pour accroître la résilience des exploitations herbagères. Cette logique peut conduire à cultiver des mélanges résistants à la sécheresse (Lüscher *et al.,* 2022), et à implanter des espèces comme la chicorée ou le sainfoin (Kölliker *et al.*, 2017) sur certaines parcelles. Ces couverts ne sont pas les plus productifs en année moyenne, mais ils réduisent la variabilité du rendement de la biomasse en année sèche. Les éleveurs diversifient aussi les ressources fourragères grâce aux méteils et aux cultures intermédiaires. Dans les systèmes herbagers français, la diversification du système fourrager stabilise en général les quantités de fourrage récoltées par unité de bétail, mais le revenu agricole n'est pas accru, ni stabilisé, car les éleveurs augmentent en parallèle leur chargement, et font face à des coûts de récolte et de production supérieurs (Mosnier *et al.*, 2013). Ainsi, la diversification du système fourrager n'augmente-t-elle pas nécessairement la résilience des exploitations, mais constitue bien un levier d'adaptation face aux risques encourus.

La diversification des ressources fourragères bénéficie aussi aux performances et à la santé des animaux en améliorant la valeur nutritive des prairies, de par la consommation d'espèces riches en tanins condensés qui ont des propriétés anthelminthiques, et en stimulant l'ingestion des animaux par une offre diversifiée (Dumont *et al.*, 2020). Conserver des prairies moins productives dans le système peut se justifier par les nombreux services fournis par les « vieilles prairies » (Carrère *et al.*, 2022), mais aussi parce qu'elles s'établissent sur des zones humides (ce qui accroit la résilience du système les années sèches) ou sur des sols peu profonds, pâturables et fauchables les années humides. La conservation de ces prairies semi-naturelles à haute valeur écologique bénéficie donc également à la résilience des exploitations. Dans les systèmes sylvopastoraux méditerranéens, le système fourrager est constitué d'arbres, d'arbustes et de pelouses diversifiées à haute valeur d'habitat, dont l'exploitation extensive préserve la biodiversité et couvre les besoins des animaux. La transhumance désigne le déplacement saisonnier d'un troupeau en vue de rejoindre une zone où il pourra se nourrir. Elle est permise par la proximité géographique entre parcours de faible altitude et estives de montagne, et permet de pallier le climat chaud et sec en été qui sèche les prairies de basses altitudes et rend impossible la culture d'herbe et de fourrage vert. Arbres et arbustes fournissent du fourrage et de l'ombre, augmentant ainsi la résilience du système au changement climatique (Moreno *et al.*, 2018). Par exemple, les feuilles de chênes et leurs glands sont utilisés comme fourrages dans les dehesas, un agroécosystème sylvopastoral qui se rencontre dans la péninsule ibérique et au Maghreb. Dans les pâturages boisés, les animaux exploitent des trognes, des arbustes fourragers, ou sont alimentés grâce à des branches de frênes qu'on leur apporte. Dans les dehesas, les porcs domestiques exploitent des zones boisées où ils consomment glands et châtaignes, avant d'être abattus en fin d'hiver pour ne pas compromettre la repousse d'herbe de printemps. La séquestration du carbone est importante dans les branches des ligneux et dans le sol. La mosaïque de végétation crée des microclimats sous la canopée, qui limitent l'évaporation de l'eau et offrent un abri aux animaux. La diversité de la topographie (pente, exposition, convexité et concavité) et des paramètres du sol (tels que le pH) renforce la diversité des types de prairies (Franca *et al.*, 2016).

Au-delà de la diversification du système fourrager, adapter les modes de conduite des prairies peut renforcer la résilience des systèmes herbagers. Ainsi, Vogel *et al.* (2012) ont constaté que la résilience à la sécheresse des prairies conduites de manière intensive était positivement corrélée à leur richesse floristique. En outre, plus la fréquence de fauche est faible les années sèches, plus le rendement en biomasse est élevé l'année suivante. Dans une autre étude, l'intensité des modes de conduite des prairies n'a modifié ni l'ampleur des effets de la sécheresse sur le rendement de la prairie à la fin de la sécheresse, ni la production de biomasse aérienne un an plus tard (Stampfi *et al.*, 2018). Certains essais ont montré que la fertilisation des prairies semi-naturelles pouvait maintenir leur productivité et pourrait donc être un levier pour renforcer la résilience du système. Nyfeler *et al.* (2011) ont mesuré la production de biomasse et calculé le rendement d'utilisation de l'azote dans ces prairies fertilisées. Ils concluent que la production supplémentaire n'est permise que par l'apport de fertilisation et non par le fonctionnement de l'écosystème prairial. Cela a pour conséquence une baisse de l'efficacité d'utilisation de l'azote, qui plaide contre la fertilisation minérale des prairies semi-naturelles (Melts *et al.*, 2018).

Toutefois, ces essais de courte durée ne traduisent pas forcément les dynamiques à long-terme, ni les réponses spécifiques des prairies en interactions avec les conditions pédoclimatiques locales (Maestre *et al.*, 2022). Une diversification fondée sur une gestion adaptée au site, permet d'utiliser chaque type de prairie à une intensité appropriée et de bénéficier des services écosystémiques qu'elles fournissent. La préservation d'une diversité de prairies au sein de l'exploitation s'accompagne souvent d'une baisse du chargement, qui

dans certains cas bénéficie à la qualité de la biomasse produite (Schaub *et al.*, 2020), mais le plus souvent la réduit (Tallowin & Jefferson, 1999 ; Bruinenberg *et al.*, 2002 ; White *et al.*, 2004). Ce compromis pourrait être en partie résolu en faisant pâturer ces prairies par des animaux à faibles besoins, tels que des vaches allaitantes ou des vaches laitières taries. La gestion d'un plus grand nombre de types de prairies peut aussi allonger la période de fauche, et ainsi étaler les pics d'activité et les besoins en machines agricoles. Enfin, la diversification de la mosaïque de couverts accroît l'utilisation récréative de ces espaces (Chai-allah *et al.*, 2023) et améliore la perception qu'a la société de l'élevage à l'herbe.

2. Diversification des troupeaux et de la gestion du pâturage

Du fait de leurs différences de besoins nutritionnels, de capacités digestives et d'aptitude au tri, les bovins, ovins, équins et caprins ont des aptitudes différentes pour pâturer efficacement les couverts ras, digérer les fourrages grossiers, et détoxiquer les composés secondaires présents dans certaines plantes. Le pâturage mixte, c'est-à-dire l'utilisation simultanée ou alternée des couverts par plusieurs espèces d'herbivores, accroit l'utilisation des prairies, en raison de ces complémentarités et de processus de facilitation du pâturage (Dumont *et al.*, 2012; Martin *et al.*, 2020). Le pâturage mixte peut ainsi préserver des communautés végétales riches en espèces et structurellement diversifiés (Gudmundsson & Dyrmundsson, 1994 ; Loucougaray *et al.*, 2004) et améliore la fourniture de services écosystémiques (Wang *et al.*, 2019).

La croissance des animaux est en général plus rapide en pâturage mixte. D'Alexis *et al.* (2014) rapportent une vitesse de croissance des agneaux plus rapide, et une production de viande à l'hectare plus élevée dans les systèmes ovins-bovins qu'en pâturage monospécifique. Jerrentrup *et al.* (2020) ont confirmé ce résultat, avec dans leur cas également un bénéfice pour la croissance des bovins. La forme de la relation qui lie le ratio ovins-bovins à la production à l'hectare a été modélisée par d'Alexis *et al.* (2014) ; elle suit une courbe en cloche avec un plateau, ce qui suggère qu'une large gamme de ratios ovins-bovins permettrait de maximiser les performances du système. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'ajuster avec précision le rapport ovins-bovins pour tirer parti du pâturage mixte (Joly *et al.*, 2021), ce qui laisse à l'éleveur le temps de se consacrer à d'autres tâches.

Grâce à l'effet de dilution parasitaire, le pâturage mixte est également un moyen efficace pour réduire l'infestation parasitaire des petits ruminants (Marley *et al.*, 2006) et des chevaux (Forteau *et al.*, 2020) par les strongles digestifs ; ceci devrait permettre de réduire la fréquence des traitements, les phénomènes de résistance, les frais vétérinaires, et les effets directs et indirects des résidus médicamenteux sur les insectes coprophages (Sands & Wall, 2018). Grâce à leurs deux rangées d'incisives, les chevaux pâturent très près du sol ; ils créent et maintiennent dans le temps de larges placettes d'herbe rases constituées de repousses d'herbe de haute valeur nutritive (Dumont *et al.*, 2012). En pâturage continu, les bovins sont exclus de ces zones rases où leur flux d'ingestion instantané est trop faible pour couvrir leurs besoins ; ils se reportent alors sur des zones où l'herbe est plus haute, où ils paissent à proximité des crottins de chevaux. En avalant des larves de strongles de chevaux qui ne peuvent pas poursuivre leur cycle du fait de la spécificité de la plupart des parasites digestifs à leur hôte, ils réduisent la charge parasitaire des couverts (Fig. 1a). En revanche, lorsque des génisses et des chevaux pâture ensemble en rotation, le comportement des génisses se rapproche beaucoup de celui des chevaux. Comme eux, les génisses ont en priorité exploité les repousses végétatives qui avaient eu le temps de pousser depuis la sortie des animaux des parcelles. Ce faisant, les génisses n'ont pas pâturé proche des crottins des chevaux, qu'ils déposent surtout dans les zones d'herbe haute. Les larves migrant peu dans le couvert, elles n'étaient pas (ou que peu) avalées par les génisses, empêchant l'effet de dilution (Fig. 1b). Cela peut expliquer pourquoi aucun bénéfice du pâturage mixte sur la charge parasitaire des chevaux n'a été mesuré (Fleurance *et al.*, 2022). Cet exemple illustre que plutôt que de constituer une solution « clé en main », le pâturage mixte nécessite d'être géré pour prendre en compte les spécificités de chaque exploitation, afin que les processus écologiques que l'on cherche à optimiser fournissent les bénéfices escomptés.

Les systèmes multi-espèces suscitent un intérêt croissant pour réduire les intrants, les coûts de production, et la sensibilité du système aux aléas climatiques et du marché (Dumont *et al.*, 2022). Des enquêtes récentes menées dans des exploitations bovins-ovins du Massif central (Mugnier *et al.*, 2021) et dans des exploitations multi-espèces bio de sept pays européens (Ulukan *et al.*, 2022) montrent que les agriculteurs mentionnent la stabilité des performances économiques de l'exploitation, leur satisfaction vis-à-vis du revenu, et l'utilisation efficace des ressources fourragères parmi les principaux avantages les ayant conduits à adopter un système mixte. Mosnier *et al.* (2022) ont confirmé par modélisation que les exploitations mixtes avaient moins de pics de travail, un meilleur bilan carbone, moins d'excédents d'azote, des coûts de production réduits et, à taille d'exploitation constante, un revenu net plus élevé et plus stable que les exploitations spécialisées. Dans les exploitations mixtes ovins-bovins, la production ovine bénéficie davantage de la présence des bovins que le contraire, ce qui devrait inciter principalement les éleveurs ovins à se diversifier. Parfois, la diversification des exploitations peut réduire l'efficience du processus de production en

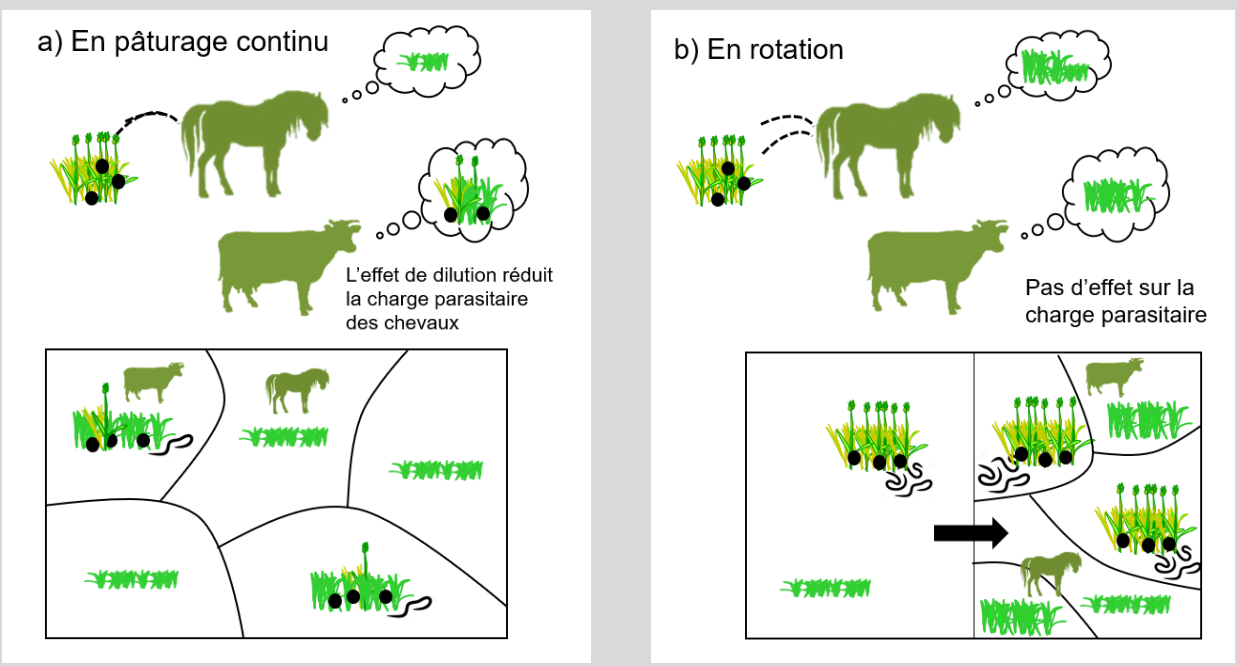


FIGURE 1 : **Effets contrastés du pâturage mixte bovins-équins sur la charge parasitaire des chevaux et l'utilisation des parcelles en fonction de la gestion des pâturages : a) pâturage continu (adapté de Forteau *et al.*, 2020) ; b) pâturage alterné entre deux sous-parcelles en rotation (Fleurance *et al.*, 2022).** En pâturage continu, les bovins ont été exclus des pelouses rases où ils ne peuvent satisfaire leurs besoins et pâturent dans les zones hautes à proximité des crottins des chevaux, ce qui n'est pas le cas lorsqu'ils pâturent en rotation ; il n'y a alors plus d'effet de dilution de la charge parasitaire des chevaux. Les crottins des chevaux et les larves infestantes de nématodes sont représentées dans chaque parcelle.

Figure 1: ***Contrasting effects of mixed grazing by cattle and horses on horse parasite burden and plot use according to pasture management: a) continuous grazing (adapted from Forteau et al., 2020); b) alternate grazing between two subplots (Fleurance et al., 2022).*** *Under continuous grazing, cattle were excluded from short lawns and switch to tall areas where they graze close to horse dungs, which was not the case under alternate grazing. Horse dungs and nematode larvae are represented in each plot.*

raison de la complexité du système (de Roest *et al.* 2018) et du temps plus limité consacré à chaque activité. Certains éleveurs bio bovins-ovins expliquent ainsi la faible performance de leur troupe ovine par le fait qu'ils ne la considèrent pas comme prioritaire (Mosnier & Moufid, 2021). La modification du ratio ovins-bovins, en général en ajustant le nombre de brebis, est le principal levier d'adaptation utilisé par les éleveurs ovins-bovins pour faire face aux aléas climatiques et à leurs conséquences sur les ressources fourragères, et aux aléas du marché ou liés au collectif de travail (Mugnier *et al.*, 2021 ; Nozières *et al.*, 2011). Bien que les éleveurs des systèmes multi-espèces considèrent que leur charge de travail est élevée, ils font en général état du plaisir qu'ils prennent à un travail varié, et apprécient la flexibilité d'organisation permise par l'étalement des vêlages et des agnelages (Mugnier *et al.*, 2021). En revanche, les atouts du pâturage mixte pour réduire l'infestation des animaux par les nématodes parasites reste méconnue des éleveurs, qui au contraire pointent parfois les risques de transmission de maladies bactériennes et virales (Rodgo *et al.*, 2012 ; Headley *et al.*, 2020). En système mixte bovins-équins, deux tiers des éleveurs normands et du nord Massif central interrogés par Forteau *et al.* (2020) n'étaient pas conscients des atouts du pâturage mixte pour réduire l'infestation parasitaire des jeunes chevaux.

La diversification du troupeau n'implique pas nécessairement la transition vers un système multi-espèces. Une gestion adaptée du système peut conduire à utiliser une race « mixte » apte à produire du lait et des veaux, ou à avoir recours au croisement afin de tirer parti des aptitudes des deux génotypes, généralement la productivité ou les qualités bouchères de l'un et la rusticité de l'autre (Phocas *et al.*, 2016). La gestion de pâturages d'altitudes et la résilience du système peuvent aussi être améliorées grâce à un "troupeau de service" constitué d'animaux de race rustique. On tire alors parti de leur capacité d'adaptation et de leur aptitude à valoriser des fourrages grossiers. En Suisse, des bovins de race Highland cattle ont permis de bien utiliser des pâturages escarpés (Fig. 2a) et des prairies humides ; légers ils n'érodent pas les zones où le sol est peu profond.

Pauler *et al.* (2020b) ont montré qu'ils consommaient plus de chardons et de ligneux (Fig. 2c) que les animaux de race plus productive. Au final, les vaches Highland augmentent la richesse floristique des prairies qu'elles exploitent (Fig. 2b), leur valeur nutritive, et limitent le recours au gyrobroyage (Pauler *et al.*, 2019). Des résultats similaires ont été obtenus

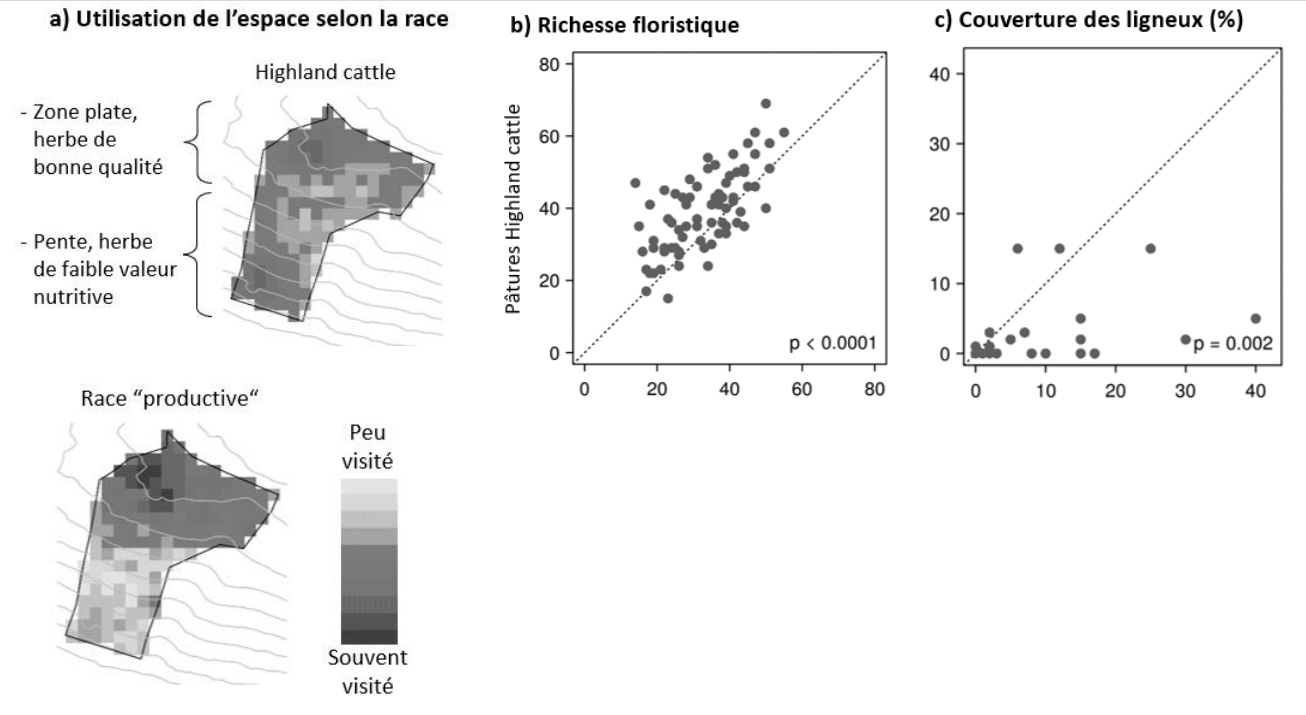


FIGURE 2 : **Utilisation de l'espace par deux races bovines dans des pâturages escarpés en Suisse et conséquences sur la communauté végétale :** a) Les bovins de race Highland cattle ont utilisé les parcelles de manière plus homogène que la race productive (Pauler *et al.*, 2020a). b) Ils ont ainsi augmenté la richesse floristique du couvert (mesurée dans un réseau de 50 parcelles appariées), et c) réduit l'embroussaillement par les ligneux. Les valeurs *p* représentent l'importance de l'effet de la race dans le modèle (Pauler *et al.*, 2019).

Figure 2 : ***Space use by two cattle breeds on steep pastures in Switzerland and consequences for the plant community:*** *a) Highland cattle used the plots more homogeneously than the productive breed (Pauler et al., 2020a). b) As a result, they increased the floristic richness of the canopy (measured in a network of 50 matched plots), and c) reduced woody brushiness. The p-values represent the magnitude of the effect of race in the model (Pauler et al., 2019).*

avec des brebis de race Engadine, certes peu productives mais qui consomment efficacement l'aulne à l'étage subalpin, limitant de manière naturelle l'envahissement de ces pelouses par les ligneux (Pauler *et al.,* 2022). Dans ces conditions, les performances de croissance de ces races peu productives sont meilleures que celles des races commerciales « classiques » (Pauler *et al.*, 2020a). Le troupeau de service contribue donc non seulement à l'image positive de l'exploitation, mais il augmente aussi sa résilience lorsque les ressources deviennent limitantes. Ses produits sont en général adaptés à la vente directe.

3. Diversification des produits, des circuits de commercialisation et du travail

La refonte des systèmes herbagers peut aussi se fonder sur une diversification des produits (Vagnoni & Franca, 2018), la transformation à la ferme et la vente directe (Martin *et al.*, 2020) afin de créer de la valeur sur l'exploitation. Il peut aussi s'agir de diversifier les activités agricoles au-delà de leur rôle dans la production alimentaire, par exemple en développant l'agritourisme (López-i-Gelats *et al.*, 2011).

La diversification des produits peut passer par le développement d'un atelier de production de monogastriques sur l'exploitation. Les porcs et les volailles ont un cycle de production plus court que les bovins. Ils permettent des entrées d'argent plus régulières et stabilisent les revenus puisqu'ils ne sont pas sensibles aux mêmes fluctuations des prix du marché, ni aux mêmes tendances de consommation. Proposer une plus large gamme de produits à la vente facilite le recours aux circuits courts ; il a par exemple été montré que de proposer un panier diversifié composé de viande bovine, de porc et de légumes produits localement augmentait la propension à payer des consommateurs (Vollet & Saïd, 2018). Produire de la viande bovine et du porc (ou des volailles) sur la même exploitation est donc un levier pour sécuriser le revenu des agriculteurs, et améliorer la résilience des exploitations.

La présence d'un atelier de transformation et la taille de l'atelier de monogastriques sont deux éléments clé à considérer. Au sein d'un réseau de 17 exploitations multi-espèces conduites en bio dans le Massif central ou en Occitanie, les deux qui ont eu les meilleures performances économiques associaient la production de bovins allaitants et de monogastriques, et faisaient de la

transformation à la ferme (Steinmetz *et al.*, 2021). A l'inverse, les systèmes bovins auxquels sont associés une grande unité de monogastriques vendent leurs animaux à des coopératives et ont beaucoup recours aux aliments achetés ; ils sont très dépendants des cours du marché et peu résilients en dépit de volumes commercialisés importants. L'achat d'aliments pour les monogastriques génère aussi un fort excès d'azote par hectare qui limite l'achat d'ammonitrate mais appauvrit la biodiversité prairiale. En raison de cette forte dépendance aux intrants, la production porcine n'a, dans ce cas, pas réduit la variabilité des revenus par rapport aux exploitations bovines spécialisées (Mosnier & Moufid, 2021). Cette voie de diversification nécessite des compétences nouvelles et en général des investissements initiaux élevés pour loger les animaux et gérer leurs effluents, qui peuvent agir comme de puissants verrous à son déploiement (Dumont *et al.*, 2022). En France, les données du réseau de fermes biologiques issues de la base de données d'élevage Inosys révèlent que la part des surfaces de pâturage est la plus faible dans les exploitations associant des monogastriques aux bovins (Mischler, 2019). Il y aussi un risque que les agriculteurs gèrent moins bien leurs prairies lorsqu'ils produisent des céréales et des protéagineux, disponibles pour de l'autoconsommation. Cela pourrait avoir des répercussions négatives sur la valeur nutritive des prairies et leur biodiversité.

Sur une centaine d'exploitants européens qui conduisent leur système multi-espèces selon les principes de l'agriculture biologique (Ulukan *et al.*, 2021), les cinq qui ont obtenu les meilleurs scores de durabilité n'ont pas cherché à maximiser la diversité de leur système, mais plutôt à la valoriser en créant de la valeur ajoutée (Ulukan *et al.*, 2022). Ces cinq exploitations associaient des bovins à des porcs ou des moutons. Aucun de ces agriculteurs ne pratiquait le pâturage tournant (pour éviter le coût de clôtures adaptées à la fois aux bovins et aux ovins), ni l'agritourisme. Certains de ces agriculteurs faisaient de la transformation à la ferme et de la vente directe. En résumé, ces agriculteurs cherchaient à valoriser un niveau de diversité adapté aux ressources disponibles et au potentiel de leur environnement.

La diversification des revenus de l'exploitation par l'agritourisme pourrait en revanche être une option attrayante pour les systèmes pastoraux de montagne qui entretiennent des paysages remarquables. Une telle voie de diversification déconnecte en effet le revenu des risques climatiques et économiques (López-i-Gelats *et al.*, 2011). Il y a alors un risque qu'en raison de la charge de travail supplémentaire moins de temps soit consacré aux activités agricoles, ce qui peut avoir des conséquences négatives sur des prairies qui ont une valeur patrimoniale. Ainsi, dans les Pyrénées catalanes, on assiste à un recul de la production ovine, exigeante en main d'œuvre et économiquement peu rentable, si bien que les ovins sont progressivement remplacés par des bovins ou des chevaux dans les pâturages d'altitude. Alors que le pâturage ovin (et bovin) préserve les prairies mésophiles (ou mésohydriques) d'altitude de l'*Arrhenatherion elatioris*, typique des fauches (ou des systèmes de fauche-pâture ; Fig. 3), celles-ci régressent sous l'effet du pâturage équin, qui nécessite très peu de main d'œuvre et est généralement associé à l'abandon de la fauche (López-i-Gelats *et al.*, 2015).

Ce changement de pratique déclenche une transition qui menace la communauté typique de l'*Arrhenatherion elatioris* (Fig 3). Ainsi, bien que la diversification du travail en dehors de l'agriculture puisse améliorer la résilience des exploitations pastorales, elle génère une concurrence pour la main d'œuvre et une gestion simplifiée des prairies d'altitude qui menace leur biodiversité.

4. Quels soutiens externes favorisent la diversification des systèmes herbagers ?

La diversification des systèmes pouvant atteindre ses limites en terme de rentabilité, des soutiens externes doivent être envisagés. Les aides publiques et les assurances privées sont des leviers complémentaires à considérer pour aider les agriculteurs à maintenir une production durable et résiliente basée sur la valorisation des prairies. Les soutiens publics, tels que les paiements environnementaux, réduisent la vulnérabilité des exploitations en augmentant le revenu agricole en contrepartie de services environnementaux. Toutefois, une attention particulière doit être accordée aux conditions de ces indemnisations pour éviter qu'elles ne favorisent avant tout les systèmes spécialisés, à forte intensité de capital ou d'intrants (Pe'er *et al.*, 2020). Par exemple, les subventions par hectare et par tête n'ont pas augmenté la diversification mais ont favorisé l'agrandissement des exploitations d'élevage et la simplification des pratiques (Veysset *et al.*, 2014), qui peut entraîner une mauvaise gestion des prairies. Dans le développement le plus récent de la politique agricole commune "PAC pour les biens publics", les subventions publiques viseront plus spécifiquement les services d'habitat et culturels fournis par les prairies semi-naturelles, car elles remplissent des fonctions importantes pour la biodiversité, les loisirs et les paysages qui ont une valeur culturelle, comme par exemple les prairies des paysages sylvopastoraux suisses (Huber *et al.*, 2013). En outre, l'agriculture européenne bénéficie de subventions qui encouragent les éleveurs à diversifier leurs sources de revenus afin de limiter l'abandon des terres en zones de montagne, et de retenir les populations dans les régions les plus isolées (Pardini & Nori, 2011).

Par ailleurs, dans plusieurs pays de l'UE, des fonds publics spéciaux indemnisent les agriculteurs en cas d'événements extrêmes (climat, marché ou problèmes de santé animale) ce qui réduit le risque de pertes économiques trop importantes. Cependant, ces

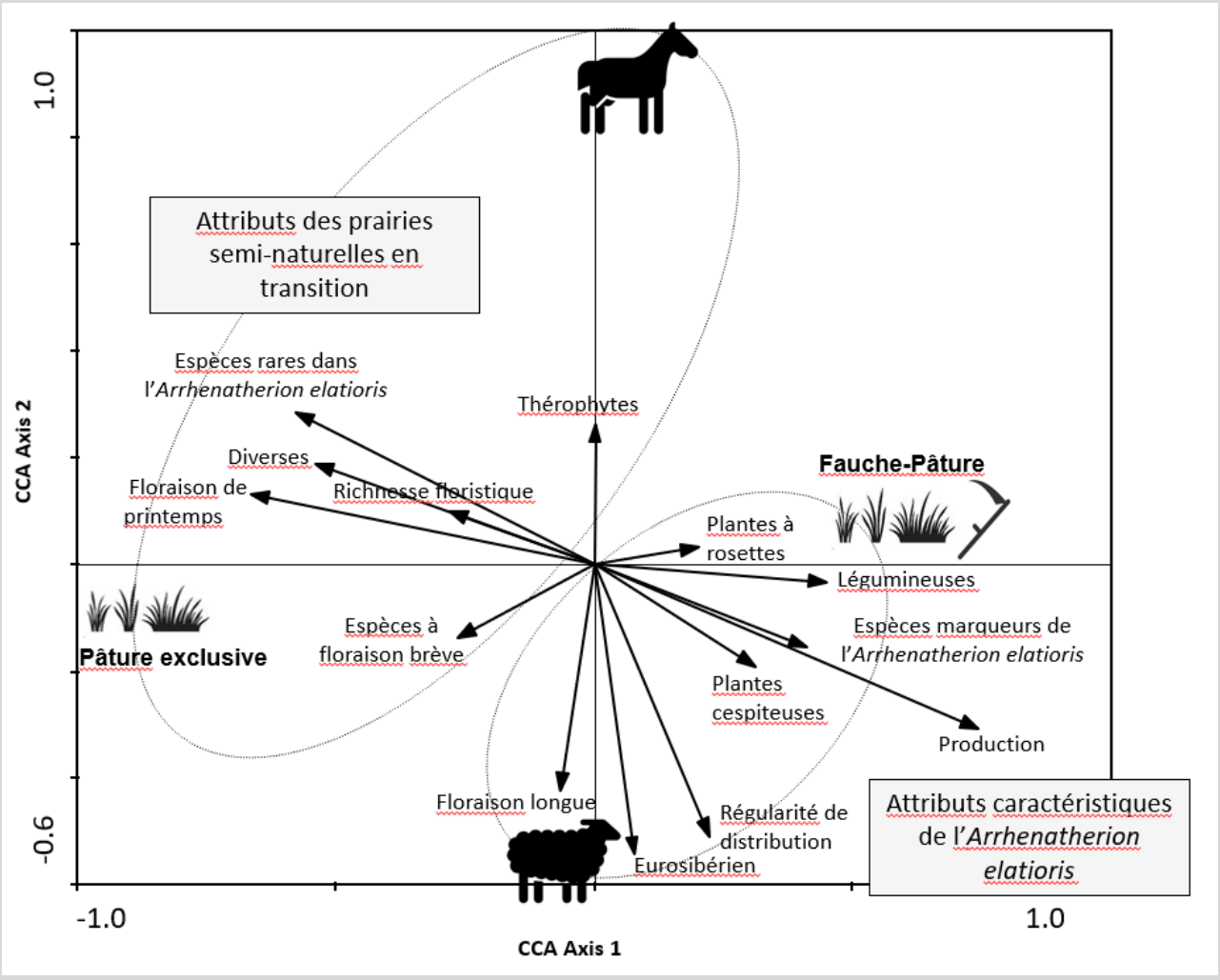


FIGURE 3 : **Projection des caractéristiques de prairies mésophiles (ou mésohydriques) d'altitude de l'*Arrhenatherion elatioris* des Pyrénées catalanes sur les deux premiers axes d'une analyse canonique des correspondances, décrivant la composition et la structure des communautés selon les pratiques.** Certaines pratiques comme l'abandon de la fauche et le pâturage équin signent la simplification de la conduite des parcelles qui est la conséquence de la diversification du travail en dehors de l'agriculture (adapté de López-i-Gelats *et al.*, 2015). Les flèches représentent différents paramètres botaniques.

Figure 3 : Projection of the characteristics of mesophilic (or mesohydric) highland meadows of the Arrhenatherion elatioris of the Catalan Pyrenees on the first two axes of a canonical correspondence analysis, describing the composition and structure of the communities according to practices. Some practices, such as the abandonment of mowing and horse grazing, indicate the simplification of the management of the plots as a consequence of the diversification of work outside agriculture (adapted from López-i-Gelats et al., 2015). The arrows represent different botanical parameters.

indemnisations devraient se limiter aux aléas exceptionnels et ne pas ne dissuader les éleveurs de gérer eux-mêmes les risques « classiques » (Tangerman, 2011), notamment en diversifiant leur système. Les éleveurs sont également encouragés à souscrire des assurances privées. Le régime d'assurance multirisque des prairies réduit la variabilité et la probabilité d'un faible revenu agricole (Finger & Calanca, 2011) mais nombreux sont les éleveurs réticents à souscrire de telles assurances qu'ils jugent trop coûteuses. Les assurances ne devraient donc pas être envisagées sans avoir au préalable évalué les opportunités offertes par la diversification des types de prairies, du troupeau, des produits et de la main-d'œuvre agricole. Comme il peut être très coûteux de s'auto-assurer pour faire face à des pertes exceptionnelles (Mosnier, 2015), les assurances privées pourraient toutefois s'avérer intéressantes (Clarke & Dercon, 2009), en particulier si les fonds publics spéciaux d'indemnisation des calamités agricoles se réduisent.

5. Conclusion

La diversification des systèmes d'élevage herbagers permet de faire face à des risques de nature différente. Elle permet de réduire les intrants ce qui accroit la viabilité économique des exploitations et améliore leurs performances environnementales. Dans cette synthèse

nous avons discuté comment la diversification des types de prairies, des troupeaux, des produits et de la main-d'œuvre agricole offre des leviers aux éleveurs herbagers de plaine, de montagne et des zones méditerranéennes pour faire face aux aléas. Ces mécanismes renforcent les capacités tampon, d'adaptation et de transformation, facteurs de résilience de tout système (Tableau 1). Il ne faut pourtant pas considérer que diversifier les systèmes constituerait une stratégie universelle. Les conditions de milieu et les exigences des agriculteurs doivent être prises en compte. En outre, il existe des compromis à trouver entre les différents niveaux de diversification. Par exemple, si la stratégie des agriculteurs les conduit à diversifier leurs types d'activités, la main-d'œuvre pourrait être diluée et les agriculteurs risquent de moins bien gérer chaque activité. Nous avons discuté que cela pouvait avoir des conséquences néfastes sur la gestion des prairies et leur biodiversité. En revanche, une diversification adaptée au cas par cas, qui s'adapte à la main-d'œuvre disponible et profite des opportunités locales, permet de préserver la biodiversité des prairies, tout en améliorant la résilience socio-économique de l'exploitation et son potentiel d'atténuation et d'adaptation au changement climatique et à d'autres perturbations. La recherche de telles opportunités est rendue possibles par des processus tels que la co-innovation qui aborde les systèmes dans leur complexité et identifie les perceptions et les besoins des acteurs, et par le partage des connaissances et la mise en réseau des agriculteurs.

Accepté pour publication le 03 mars 2023

	Diversité des prairies et des ressources alimentaires	**Diversité des troupeaux et de leurs modes de conduite**	**Interactions au sein de l'exploitation, produits, organisation du travail**
Capacité tampon	• Bénéficier de la diversité des espèces végétales et de leurs traits fonctionnels pour atténuer les effets d'épisodes de sécheresse • Préserver la diversité des prairies au sein de l'exploitation, par exemple les prairies de zones humides et les pelouses sur sols superficiels, qui maintiennent leur fonction productive en année sèche ou humide	• Utiliser différentes races dans les troupeaux pour bénéficier de la diversité de leurs réponses adaptatives • Garder un "troupeau de service" constitué d'animaux de race rustique • Favoriser le pâturage mixte	• Constituer des stocks de fourrages pour prévenir les futures périodes de sécheresse
Capacité d'adaptation	• Semer un mélange ou une espèce résistante à la sécheresse (sainfoin, chicorée) • Réduire la fréquence de fauche pour préserver la qualité des pâturages les années de sécheresse • Stocker de la biomasse sur pied pour un pâturage d'arrière-saison	• Décharger en vendant des animaux lors des sécheresses estivales • Vendre en priorité les petits ruminants dont les troupeaux sont plus faciles à reconstituer (cycle rapide)	• Adapter le type de produit (e.g., âge à l'abattage) aux conditions du marché • Embaucher un ouvrier agricole pour faire face à un pic d'activité
Capacité de transformation	• Développer l'agroforesterie (*Fraxinus excelsior*) pour créer des ombrages et disposer de fourrages en été • Cultiver des céréales et faire pâturer les cultures intermédiaires	• Allonger la durée de lactation et de vie productive des animaux pour réduire les émissions / unité produit • Ajouter un atelier de porcs ou de volailles	• Transformer les produits à la ferme pour créer de la valeur ajoutée • Diversifier hors de l'agriculture (agritourisme) pour déconnecter le revenu des conditions du marché

TABLEAU 1 : **Une typologie des facteurs de résilience selon Darnhofer (2014) liés à la diversification des types de prairies, des troupeaux, des produits et de la main-d'œuvre agricole dans les systèmes herbagers.**
Table 1 : ***A typology of resilience factors according to Darnhofer (2014) related to diversification of grassland types, herds, products and farm labor in grassland systems.***

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Astigarragga L., & Ingrand S., (2011). « Production flexibility in extensive breed farming systems ». *Ecology & Society*, 16, 7. https://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art7/

Biggs R., Schlüter M., Biggs D., Bohensky E.L., Burn Silver S., Cundill G., Dakos V., Daw T.M., Evans L.S., Kotschy K., Leitch A.M., Meek C., Quinlan A., Raudsepp-Hearne C., Robards M.D., Schoon M.L., Schultz L., & West P.C., (2012). « Towards principles for enhancing the resilience of ecosystem services ». *Annual Review of Environment and Resources,* 37, 421-448. https://doi.org/10.1146/annurev-environ-051211-123836

Bruinenberg M.H., Valk H., Korevaar H., & Struik P.C., (2002). « Factors affecting digestibility of temperate forages from seminatural grasslands: a review ». *Grass and Forage Science*, 57, 292-301. https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.2002.00327.x

Carrère P., Lemauviel-Lavenant S., & Dumont B., (2022). « Conserver les « vieilles prairies », un levier efficace pour étendre le bouquet de services ». *Fourrages*, 250, 63-77.

Chai-allah A., Fox N., Brunschwig G., Bimonte S., & Joly F., (2023). « A trail-based approach using crowdsourced data to assess recreationists' preferences for landscape ». *Landscape and Urban Planning*, 233, 104700. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104700

Clarke D.J., & Dercon S., (2009). « Insurance, Credit and Safety Nets for the Poor in a World of Risk ». *DESA Working Paper* No. 81, Department of Economics and Social Affairs, United Nations, 16 pp. https://www.un.org/esa/desa/papers/2009/wp81_2009.pdf

Couval G., Michelin Y., Giraudoux P., Maire F., & Truchetet D., (2014). « Changements agricoles de 1956 à 2010 et évolution des pullulations d'*Arvicola terrestris* : comparaison entre la Bourgogne, la Franche-Comté et les Alpes ». *Fourrages*, 220, 303-310.

d'Alexis S., Sauvant D., & Boval M., (2014). « Mixed grazing systems of sheep and cattle to improve liveweight gain: a quantitative review ». *Journal of Agricultural Science (Cambridge),* 152, 655-666. https://doi.org/10.1017/S0021859613000622

Darnhofer I., (2014). « Resilience and why it matters for farm management ». *European Review of Agricultural Economics,* 41, 461-484. https://doi.org/10.1093/erae/jbu012

de Roest K., Ferrari P., & Knickel K., (2018). « Specialization and economies of scale or diversification and economies of scope? Assessing different agricultural development pathways ». *Journal of Rural Studies,* 59, 222-231. https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2017.04.013

Do Carmo M., Claramunt M., Carriquiry M., & Soca P., (2016). « Animal energetics in extensive grazing systems: Rationality and results of research models to improve energy efficiency of beef cow-calf grazing Campos systems ». *Journal of Animal Science*, 94 (suppl.6), 84-92. https://doi.org/10.2527/jas.2016-0596

Dumont B., Rossignol N., Loucougaray G., Carrère P., Chadoeuf J., Fleurance G., Bonis A., Farruggia A., Gaucherand S., Ginane C., Louault F., Marion B., Mesléard F., & Yavercovski N., (2012). « When does grazing generate stable vegetation patterns in temperate pastures? ». *Agriculture, Ecosystems and Environment,* 153, 50-56. https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.03.003

Dumont B., Puillet L., Martin G., Savietto D., Aubin J., Ingrand S., Niderkorn V., Steinmetz L., & Thomas M., (2020). « Incorporating diversity into animal production systems can increase their performance and strengthen their resilience ». *Frontiers in Sustainable Food Systems,* 4, 109. https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00109

Dumont B., Benoit M., Chauvat S., Cournut S., Martin G., Mischler P., Magne M.A., (2022). « Durabilité des exploitations d'élevage multi-espèces en France et en Europe : bénéfices observés, freins et leviers pour leur déploiement ». *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 26, 7-8 Décembre 2022. http://journees3r.fr/spip.php?article5178

Finger R., & Calanca L., (2011). « Risk management strategies to cope with climate change in grassland production: an illustrative case study for the Swiss plateau ». *Regional Environmental Change,* 11, 935-949. https://doi.org/10.1007/s10113-011-0234-9

Fleurance G., Sallé G., Lansade L., Wimel L., & Dumont B., (2022). « Comparing the effects of horse grazing alone or with cattle on horse parasitism and vegetation use in a mesophile pasture ». *Grass and Forage Science,* 77, 1-14, in press. https://doi.org/10.1111/gfs.12564

Forteau L., Dumont B., Sallé G., Bigot G., & Fleurance G., (2020). « Horses grazing with cattle have reduced strongyle egg count due to the dilution effect and increased reliance on macrocyclic lactones in mixed farms ». *Animal,* 14, 1076-1082. https://doi.org/10.1017/S1751731119002738

Franca A., Caredda S., Sanna F., Fava F., & Seddaiu G., (2016). « Early plant community dynamics following overseeding for the rehabilitation of a Mediterranean silvopastoral system ». *Grassland Science,* 62, 81-91. https://doi.org/10.1111/grs.12114

Grange G., Finn J.A., & Brophy C., (2021). « Plant diversity enhanced yield and mitigated drought impacts in intensively managed grassland communitiese. *Journal of Applied Ecology,* 58, 1864-1875. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13894

Gudmundsson O., & Dyrmundsson O.R., (1994). « Horse grazing under cold and wet conditions: a review ». *Livestock Production Science*, 40, 57-63. https://doi.org/10.1016/0301-6226(94)90265-8

Headley S.A., de Oliveira T.E.S., & Cunha C.W., (2020). « A review of the epidemiological, clinical, and pathological aspects of malignant catarrhal fever in Brazil » . *Brazilian Journal of Microbiology*, 51, 1405-1432. https://doi.org/10.1007/s42770-020-00273-6

Huber R., Briner S., Peringer A., Lauber S., Seidel R., Widmer A., Gillet F., Buttler A., Bao Le Q., & Hirschi C., (2013). « Modeling social-ecological feedback effects in the implementation of payments for environmental services in pasture-woodlands ». *Ecology and Society,* 18, 41. https://www.jstor.org/stable/26269318

Jerrentrup S.J., Komainda M., Seither M., Cuchillo-Hilario M., Wrage-Mönnig N., & Isselstein J., (2020). « Diverse swards and mixed grazing of cattle and sheep for improved productivity ». *Frontiers in Sustainable Food Systems,* 3, 125. https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00125

Joly F., Tulganyam S., & Hubert B., (2019). « Subsistence of market economy? Assessment of a pastoral system of Mongolia twenty years after the fall of socialism ». *Nomadic Peoples*, 23, 106-142. https://doi.org/10.3197/np.2019230106

Joly F., Benoit M., Martin R., & Dumont B., (2021). « Biological operability, a new concept based on ergonomics to assess the pertinence of ecosystem services optimization practices ». *Ecosystem Services,* 50, 101320. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101320

Kölliker R., Kempf K., Malisch C.S., & Lüscher A., (2017). « Promising options for improving performance and proanthocyanidins of the forage legume sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) ». *Euphytica,* 213, 179. https://doi.org/10.1007/s10681-017-1965-6

Kremen C., & Miles A., (2012). « Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities and trade-offs ». *Ecology and Society*, 17, 40. https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440

López-i-Gelats F., Milán M.J., & Bartolomé J., (2011). « Is farming enough in mountain areas? Farm diversification in the Pyrenees ». *Land Use Policy,* 28, 783-791. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.01.005

López-i-Gelats F., Rivera-Ferre M.G., Madruga-Andreu C., & Bartolomé Filella J., (2015). « Is multifunctionality the future of mountain pastoralism? Lessons from the management of semi-natural grasslands in the Pyrenees ». *Spanish Journal of Agricultural Research,* 13, e0307. https://doi.org/10.5424/sjar/2015134-6960

Loucougaray G., Bonis A., & Bouzillé J.B., (2004). « Effects of grazing by horses and/or cattle on the diversity of coastal grasslands in western France ». *Biological Conservation,* 116, 59-71. https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00177-0

Lüscher A., Barkaoui K., Finn J.A., Suter D., Suter M., & Volaire F., (2022). « Using plant diversity to reduce vulnerability and increase drought resilience of permanent and sown productive grasslands ». *Grass and Forage Science*, 77, 235-246. https://doi.org/10.1111/gfs12578

Mace R., (1990). « Pastoralist herd compositions in unpredictable environments: A comparison of model predictions and data from camel-keeping groups ». *Agricultural Systems*, 33, 1-11. https://doi.org/10.1016/0308-521X(90)90067-Z

Magne M.A., Thénard V., & Mihout S., (2016). « Initial insights on the performances and management of dairy cattle herds combining two

breeds with contrasted features ». *Animal*, 10, 892-901. https://doi.org/10.1017/S1751731115002840

Maestre F. T., Le Bagousse-Pinguet Y., Delgado-Baquerizo M., Eldridge D. J., Saiz H., Berdugo M., Gozalo B., Ochoa V., Guirado E., García-Gómez M., Valencia E., Gaitán J. J., Asensio S., Mendoza B. J., Plaza C., Díaz-Martínez P., Rey A., Hu H.-W., He J.-Z., … Gross N., (2022). « Grazing and ecosystem service delivery in global drylands ». *Science*, 378 (6622), 915–920. https://doi.org/10.1126/science.abq4062

Marley C.L., Fraser M.D., Davies D.A., Rees M.E., Vale J.E., & Forbes A.B., (2006). « The effect of mixed or sequential grazing of cattle and sheep on the faecal egg counts and growth rates of weaned lambs when treated with anthelmintics ». *Veterinary Parasitology,* 142, 134-141. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.06.030

Martin G., Barth K., Benoit M., Brock C., Destruel M., Dumont B., Grillot M., Hübner S., Magne M.A., Moerman M., Mosnier C., Parsons D., Ronchi B., Schanz L., Steinmetz L., Werne S., Winckler C., & Primi R., (2020). « Potential of multi-species livestock farming to improve the sustainability of livestock farms: A review ». *Agricultural Systems,* 181, 102821. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102821

Melts I., Lanno K., Sammul M., Uchida K., Heinsoo K., Kull T., & Laanisto L., (2018). « Fertilising semi-natural grasslands may cause long-term negative effects on both biodiversity and ecosystem stability ». *Journal of Applied Ecology,* 55, 1951-1955. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13129

Mischler P., 2019. « Effects of livestock species diversity on the economic performance of commercial farms compared to specialized ruminant farms » . In: Deliverable 2.2 Core Organic project MixEnable. https://orgprints.org/id/eprint/36705/

Moreno G., Aviron S., Berg S., Crous-Duran J., Franca A., García de Jalón S., Hartel T., Mirck J., Pantera A., Palma J.H.N., Paulo J.A., Re G.A., Sanna F., Thenail C., Varga A., Viaud V., & Burgess P. J., (2018). « Agroforestry systems of high nature and cultural value in Europe: provision of commercial goods and other ecosystem services » . *Agroforestry Systems,* 92, 877-891. https://doi.org/10.1007/s10457-017-0126-1

Mosnier C., (2015). « Self-insurance and multi-peril grassland crop insurance: the case of French suckler cow farms ». *Agricultural Finance Review,* 75, 533-551. https://doi.org/10.1108/AFR-02-2015-0006

Mosnier C., & Moufid N., (2021). « Assessing and reducing the vulnerability of mixed organic cattle-sheep farms ». In: *Deliverable 5.2 Core Organic project MixEnable* https://orgprints.org/id/eprint/42975/

Mosnier C., Lherm M., Devun J., & Boutry A., (2013). « Sensibilité des élevages bovins et ovins viande aux aléas selon la place des prairies dans les systèmes fourragers ». *Fourrages,* 213, 11-20.

Mosnier C., Benoit M., Minviel J.J., & Veysset P., (2022). « Does mixing livestock farming enterprises improve farm and product sustainability? ». *International Journal of Agricultural Sustainability,* 20, 312-326. https://doi.org/10.1080/14735903.2021.1932150

Mugnier S., Husson C., & Cournut S., (2021). « Why and how farmers manage mixed cattle–sheep farming systems and cope with economic, climatic and workforce-related hazards ». *Renewable Agriculture and Food Systems,* 36, 344-352. https://doi.org/10.1017/S174217052000037X

Nozières M.O., Moulin C.H., & Dedieu B., (2011). « The herd, a source of flexibility for livestock farming systems faced with uncertainties? ». *Animal,* 5, 1442-1457. https://doi.org/10.1017/S1751731111000486

Nyfeler D., Huguenin-Elie O., Suter M., Frossard E., & Lüscher A., (2011). « Grass-legume mixtures can yield more nitrogen than legume pure stands due to mutual stimulation of nitrogen uptake from symbiotic and non-symbiotic sources ». *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 140, 155-163. https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.11.022

Ollion E., Ingrand S., Delaby L., Trommenschlager J.M., Colette-Leurent S., & Blanc F., (2016). « Assessing the diversity of trade-offs between life functions in early lactation dairy cows ». *Livestock Science*, 183, 98-107. htpps://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.11.016

Pardini A., & Nori M., (2011). « Agro-silvo-pastoral systems in Italy: integration and diversification ». *Pastoralism: Research, Policy and Practice,* 1, 26. https://doi.org/10.1186/2041-7136-1-26

Pauler C.M., Isselstein J., Braunbeck T., & Schneider M.K., (2019). « Influence of Highland and production-oriented cattle breeds on pasture vegetation: a pairwise assessment across broad environmental gradients ». *Agriculture, Ecosystems & Environment,* 284, 106585. https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106585

Pauler C.M., Isselstein J., Berard J., Braunbeck T., & Schneider M.K., (2020a). « Grazing allometry: anatomy, movement, and foraging behavior of three cattle breeds of different productivity ». *Frontiers in Veterinary Science,* 7, 494. https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00494

Pauler C.M., Isselstein J., Suter M., Berard J., Braunbeck T., & Schneider M.K., (2020b). « Choosy grazers: influence of plant traits on forage selection by three cattle breeds ». *Functional Ecology,* 34, 980–992. https://doi.org/10.1111/1365-2435.13542

Pauler C.M., Zehnder T., Staudinger M., Lüscher A., Kreuzer M., Berard J., & Schneider M.K., (2022). «Thinning the thickets: Foraging of hardy cattle, sheep and goats in green alder shrubs ». *Journal of Applied Ecology,* 59, 1394-1405. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14156

Pe'er G., Bonn A., Bruelheide H., Dieker P., Eisenhauer N., Feindt P.H., Hagedorn G., Hansjürgens B., Herzon I., Lomba A., Marquard E., Moreira F., Nitsch H., Oppermann R., Perino A., Röder N., Schleyer C., Schindler S., Wolf C., Zinngrebe Y., Lakner S., (2020). « Action needed for the EU Common Agricultural Policy to address sustainability challenges ». *People and Nature*, 2, 305-316. https://doi.org/10.1002/pan3.10080

Phocas F., Belloc C., Bidanel J., Delaby L., Dourmad J.Y., Dumont B., Ezanno P., Fortun-Lamothe L., Foucras G., Frappat B., González-García E., Hazard D., Larzul C., Lubac S., Mignon-Grasteau S., Moreno C.R., Tixier-Boichard M., & Brochard M., (2016). « Review: Towards the agroecological management of ruminants, pigs and poultry through the development of sustainable breeding programs: II. Breeding strategy ». *Animal,* 10, 1760-1769. https://doi.org/10.1017/S1751731116001051

Puech T., & Stark F., (2023). « Diversification of an integrated crop-livestock system: Agroecological and food production assessment at farm scale. » *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 344, 108300. https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108300

Rodríguez-Ortega T., Oteros-Rozas E., Ripoll-Bosch R., Tichit M., Martín-López B., & Bernués A., (2014). « Applying the ecosystem services framework to pasture-based livestock farming systems in Europe ». *Animal*, 8, 1361-1372. https://doi.org/10.1017/S1751731114000421

Rogdo T., Hektoen L., Slettemeås J.S., Jørgensen H.J., Østerås O., & Fjeldaas T., (2012). « Possible cross-infection of *Dichelobacter nodosus* between co-grazing sheep and cattle ». *Acta Veterinaria Scandinavia*, 54, 19. https://doi.org/10.1186/1751-0147-54-19

Sands B., & Wall R., (2018). « Sustained parasiticide use in cattle farming affects dung beetle functional assemblages ». *Agriculture Ecosystems & Environment,* 265, 226-235. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.012

Schaub S., Finger R., Leiber F., Probst S., Kreuzer M., Weigelt A., Buchmann N., & Scherer-Lorenzen M., (2020). « Plant diversity effects on forage quality, yield and revenues of semi-natural grasslands ». *Nature Communications*, 11, 768. https://doi.org/10.1038/s41467-020-14541-4

Smit B., & Wandel J., (2006). « Adaptation, adaptive capacity and vulnerability ». *Global Environmental Change,* 16, 282-292. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008

Stampfli A., Bloor J.M.G., Fischer M., & Zeiter M., (2018). « High land-use intensity exacerbates shifts in grassland vegetation composition after severe experimental drought ». *Global Change Biology,* 24, 2021-2034. https://doi.org/10.1111/gcb.14046

Steinmetz L., Veysset P., Benoit M., & Dumont B., (2021). „Ecological network analysis to link interactions between system components and performances in multispecies livestock farms ». *Agronomy for Sustainable Development,* 41, 42. https://doi.org/10.1007/s13593-021-00696-x

Tallowin J., & Jefferson R., (1999). « Hay production from lowland semi-natural grasslands: a review of implications for ruminant livestock systems ». *Grass and Forage Science*, 54, 99-115. https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.1999.00171.x

Tangermann S., (2011). « Risk management in agriculture and the future of the EU's common agricultural policy ». ICTSD, *Issue Paper* (34).

Ulukan D., Steinmetz L., Moerman M., Bernes G., Blanc M., Brock C., Destruel M., Dumont B., Lang E., Meischner T., Moraine M., Oehen B., Parsons D., Primi R., Ronchi B., Schanz L., Vanwindekens F., Veysset P., Winckler C., Martin G., & Benoit M., (2021). « Survey data on European organic multi-species livestock farms ». *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 685778. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.685778

Ulukan D., Grillot M., Benoit M., Bernes G., Dumont B., Magne M.A., Monteiro L., Parsons D., Veysset P., Ryschawy J., Steinmetz L., & Martin G., (2022). « Positive deviant strategies implemented by organic multi-species livestock farm in Europe ». *Agricultural Systems*, 201, 103453. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103453

Vagnoni E., & Franca A., (2018). « Transition among different production systems in a Sardinian dairy sheep farm: Environmental implications ». *Small Ruminant Research,* 159, 62-68. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2017.12.002

Veysset P., Benoit M., Laignel G., Bébin D., Roulenc M., & Lherm M., (2014). « Analyse et déterminants de l'évolution des performances d'élevages bovins et ovins allaitants en zones défavorisées de 1990 à 2012 ». *INRA Productions Animales,* 27, 49-64. https://doi.org/10.20870/productions-animales.2014.27.1.3054

Vogel A., Scherer-Lorenzen M., & Weigelt A., (2012). « Grassland resistance and resilience after drought depends on management intensity and species richness ». *PLoS ONE,* 7, e36992. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036992

Vollet D., & Said S., (2018). « Vers l'identification de paniers de biens et de services liée à la demande locale dans les territoires d'élevage : illustration à partir de la Planèze de Saint Flour et du bocage bourbonnais ». *Géocarrefour,* 92/3. https://doi.org/10.4000/geocarrefour.11155

Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R., & Kinzig A., (2004). « Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems ». *Ecology and Society,* 9, 5. https://www.jstor.org/stable/26267673

Wang L., Delgado-Baquerizo M., Wang D., Isbell F., Liu J., Feng C., Liu J., Zhong Z., Zhu H., Yuan X., Chang Q., & Liu C., (2019). « Diversifying livestock promotes multidiversity and multifunctionality in managed grasslands ». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA,* 116, 6187-6192. https://doi.org/10.1073/pnas.1807354116

White T.A., Barker D.J., & Moore K.J., (2004). « Vegetation diversity, growth, quality and decomposition in managed grasslands ». *Agriculture Ecosystems & Environment*, 101, 73-84. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00169-5