



HAL
open science

L'agroforesterie : atouts et points de vigilance pour répondre aux défis de l'élevage bio

Martin Trouillard, Sara Bosshardt, Floriane Derbez, Briec Desaint, Arnaud Dufils, Geoffrey Mesbahi

► **To cite this version:**

Martin Trouillard, Sara Bosshardt, Floriane Derbez, Briec Desaint, Arnaud Dufils, et al.. L'agroforesterie : atouts et points de vigilance pour répondre aux défis de l'élevage bio. INRAE Productions Animales, 2024, 37 (2), pp.7468. 10.20870/productions-animales.2024.37.2.7468 . hal-04698460

HAL Id: hal-04698460

<https://hal.inrae.fr/hal-04698460>

Submitted on 16 Sep 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

L'agroforesterie : atouts et points de vigilance pour répondre aux défis de l'élevage bio

Martin TROUILLARD¹, Sara BOSSHARDT², Floriane DERBEZ³, Briec DESAINT⁴, Arnaud DUFILS², Geoffrey MESBAHI^{5,6}

¹ FiBL France, Institut de Recherche de l'Agriculture Biologique, 26400, Eurre, France

² INRAE, Écodéveloppement, 84000, Avignon, France

³ Institut Agro Dijon, INRAE, CESAER, 21000, Dijon, France

⁴ Institut Technique de l'Agriculture Biologique, 49100, Angers, France

⁵ INRAE FERLUS, 86600, Lusignan, France

⁶ Department of Livestock Sciences, FiBL, Research Institute of Organic Agriculture, 5070 Frick, Suisse

Courriel : martin.trouillard@fibl.org ; geoffrey.mesbahi@fibl.org

■ **Pratique agroécologique à la fois ancestrale et d'avenir, l'agroforesterie a le potentiel pour être une alliée de poids dans le développement de l'agriculture biologique. En effet, les animaux ont beaucoup à gagner à évoluer à l'ombre des arbres, et à en consommer les feuilles et les fruits. Réciproquement, les arbres peuvent bénéficier de la présence animale. Néanmoins, certaines adaptations peuvent être nécessaires, et la complexification des systèmes agricoles soulève de nouveaux défis.**

Introduction

La « Révolution verte » qui, poussée par les incitations et subventions publiques, visait à atteindre l'autonomie alimentaire à la suite de la seconde guerre mondiale, s'est faite au prix d'une transformation profonde du profil des exploitations, et a conduit à une uniformisation et à un cloisonnement des paysages et des savoir-faire. Cela a notamment mené à la dégradation ou la suppression d'habitats semi-naturels tels que les haies et les prairies permanentes, participant de manière significative à l'extinction massive d'espèces vivantes (Reidsma *et al.*, 2006). Par ailleurs, les agriculteurs ne captent qu'une faible partie de la valeur ajoutée générée par leur travail, et de nombreuses exploitations se trouvent fragilisées par un endettement important et par une forte dépendance vis-à-vis du cours des denrées agricoles et des intrants sur les marchés mondiaux.

L'agriculture biologique (AB) s'est développée en partie pour répondre aux impacts négatifs de cette intensification et spécialisation, en soulignant notamment l'importance de l'association cultures/élevage. Les « principes de l'agriculture biologique » mettent ainsi en avant les notions de santé globale (« soutenir et améliorer la santé des sols, des plantes, des animaux, des hommes et de la planète, comme étant une et indivisible ») et d'écologie (« [se baser] sur les cycles et les systèmes écologiques vivants, s'accorder avec eux, les imiter et les aider à se maintenir ») (IFOAM, 2005).

Les systèmes d'élevage ont une forte empreinte sur notre planète : en 2006, ils occupaient 33 % des terres émergées, parmi lesquelles 30 % des terres arables étaient utilisées pour la production d'aliments destinés au bétail (Steinfeld *et al.*, 2006). Ce secteur représente 8 % de la consommation d'eau

globale, et ses effluents produisent d'importantes pollutions des milieux aquatiques (Steinfeld *et al.*, 2006 ; Schlink *et al.*, 2010). D'après la FAO, les gaz à effet de serre émis par l'élevage, principalement sous la forme de CH₄ et NO₂, contribueraient à hauteur de 14,5 % (en équivalent CO₂) des émissions anthropogéniques (Gerber *et al.*, 2013).

Dans ce contexte, l'agroforesterie, pratique agricole consistant à associer des arbres avec des cultures et/ou de l'élevage, apparaît comme une des réponses possibles aux crises sanitaires, climatiques, économiques, sociétales, etc., actuelles ou à venir. Réédition moderne de pratiques ancestrales, l'agroforesterie est une tentative de maintenir voire d'améliorer les rendements agricoles, en bénéficiant des biens et services écosystémiques fournis par la présence des arbres. Dans un système agroforestier, la gestion des

flux entrants (éclairage solaire, eau, nutriments...) et sortants (déjections animales, résidus de cultures, intrants agricoles résiduels...) peut en effet être optimisée par rapport à des parcelles séparées de culture et de boisement (Dupraz & Liagre, 2008). Des habitats sont générés pour la micro- et la macro-faune sauvage, du carbone atmosphérique est stocké en grande quantité, et des bénéfices peuvent être espérés en termes de santé des cultures et/ou de bien-être animal (Veldkamp et al., 2023). L'agroforesterie peut donc être envisagée comme une forme d'agroécologie en mesure d'accompagner la transition des exploitations vers l'agriculture biologique (Dupraz & Liagre, 2008), mais aussi comme une piste de développement pour l'avenir de l'AB (Rosati et al., 2021). Malgré tout, plusieurs contraintes sont générées par la présence des arbres, qui peuvent impacter le temps de travail, le rendement, et la vision du travail de l'agriculteur.

De nombreuses définitions existent pour qualifier les systèmes agroforestiers associant l'élevage (SAFEs, **encadré 1**). Il s'agit de systèmes complexes, qui outre des animaux (de différentes espèces et races) et des arbres (de diverses essences et variétés), comprennent aussi le sol, le climat, le couvert végétal, les pratiques agricoles préexistantes, ainsi que les agriculteurs et le contexte social, économique et politique dans lequel ces derniers sont insérés. Les motivations pour l'établissement d'un SAFE concernent les synergies qu'il peut produire entre alimentation animale, entretien du couvert végétal, bien-être animal, etc., mais des interactions négatives entre éléments du système sont aussi possibles. Il s'agira alors de les limiter par un pilotage approprié.

Le présent article ambitionne de documenter la diversité des SAFEs et des synergies potentielles qu'ils produisent, ainsi que leurs limites et les nouveaux enjeux qu'ils soulèvent, en variant les points de vue (arbre, animal, agriculteur) et en explorant les gradients d'intégration arbres/animaux. Cet article de synthèse s'appuie sur la littérature scientifique anglophone,

mais également sur de la littérature grise (généralement francophone), ainsi que sur des résultats préliminaires issus de projets en cours. Dans une première partie, il passe en revue les différents types de défis auxquels l'élevage est confronté : changements globaux (extinction massive d'espèces, catastrophe climatique globale...), puis aborde la conduite et les performances de l'élevage agroforestier, pour s'intéresser finalement aux enjeux économiques, sociaux et réglementaires de cette pratique.

L'article choisit de centrer son propos sur les SAFEs des régions tempérées, en faisant à l'occasion référence à une littérature plus abondante concernant les conditions tropicales. Certains exemples sont extraits des données produites dans les systèmes sylvo-arables, qui ont aussi leur importance dans les systèmes d'élevage (production de concentré), et un focus particulier est porté sur les associations de l'élevage avec les cultures pérennes spécialisées (vergers, vignes).

1. L'agroforesterie pour faire face aux défis environnementaux et climatiques de l'élevage

■ 1.1. Maintien des capacités productives des parcelles

Bien que souvent perçus comme des freins à la productivité agricole, les arbres sont aujourd'hui reconnus pour leur contribution à l'autonomie fourragère et au maintien de la qualité et de la fertilité des sols.

a. Une production fourragère plus diversifiée

La bonne gestion des fourrages est cruciale en agriculture biologique, puisque les cahiers des charges imposent une forte part d'aliments produits à la ferme, pour les ruminants comme pour les monogastriques. Les fourrages achetés doivent être certifiés biologiques et provenir autant que possible de la région, ce qui peut induire de fortes dépenses. Viser l'autonomie fourragère est donc essentiel, pour des raisons économiques mais aussi pour faire face aux sécheresses et aux canicules estivales.

b. Modification de la productivité et de la qualité du fourrage

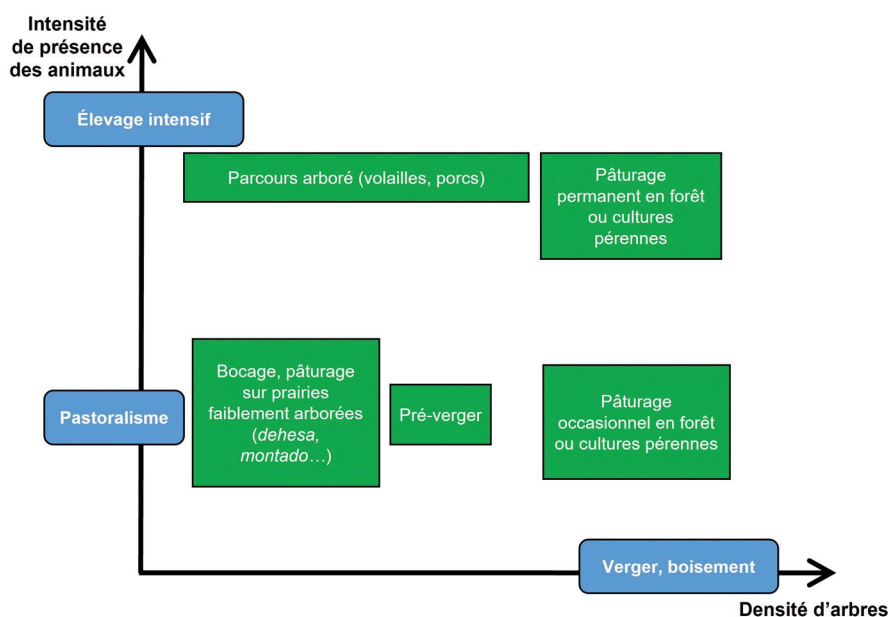
Le risque de diminution des rendements fourragers limite l'implantation d'arbres en milieu agricole. Pourtant, l'effet des arbres sur les cultures varie selon la densité de plantation, les conditions pédoclimatiques et les espèces cultivées, compliquant toute conclusion générale en termes d'impact sur la productivité (Torrallba, 2016). Concernant les prairies, l'effet des arbres est principalement dû à l'ombre produite mais pas ou peu à la compétition pour l'eau ou les minéraux (DeBruyne et al., 2011).

En France, une canopée ouverte à au moins 60 % peut ne pas affecter la productivité de la prairie, sauf pour l'herbe située au pied de l'arbre (Béral & Moreau, 2020), mais des diminutions sont observées dans d'autres prairies tempérées. Les arbres induisent un

Encadré 1. Terminologie de l'agroforesterie en élevage.

L'agroforesterie appliquée aux systèmes d'élevages (« *sylvopastoralism* » en anglais) peut être définie comme la « combinaison d'arbres, de plantes fourragères et d'animaux dans un système géré de manière intégrée et intensive » (Jose & Dollinger, 2019). Ces « systèmes agroforestiers associant l'élevage » (SAFEs) peuvent désigner aussi bien les pratiques de pâturage en zones forestières ou subarborées, que la présence d'animaux dans des cultures pérennes (vignobles, vergers), ou encore la création de parcours arborés sur un atelier d'élevage (figure 1). La notion « d'agro-sylvo-pastoralisme », association d'élevage, de production végétale et d'arbres, recoupe assez largement celle de SAFE — à ceci près que le terme de pastoralisme fait référence au pâturage extensif, auquel l'agroforesterie ne se limite pas. De la même manière, le « sylvopastoralisme » (en français) renvoie essentiellement à l'élevage à faible densité en parcours boisé. La notion « d'intégration cultures-élevage » (« *Crop-Livestock Integration* »), enfin, tend à regrouper et englober toutes ces associations, en admettant également des systèmes dont l'arbre est absent (pâturage de couverts d'interculture, par exemple).

Figure 1. Modalités d'agroforesterie en élevage (SAFEs).



Dehesa et *montado* : systèmes traditionnels méditerranéens de pâturage extensif dans des zones de densité d'arbres intermédiaire entre la prairie et le boisement, possédant des équivalents dans différents pays d'Europe.

décalage temporel dans la croissance de l'herbe, permettant des pâturages ou des fauches plus tardives, grâce à la création de microclimats (Karki & Goodman, 2015). Bien que l'ombre des arbres puisse diminuer la production de légumineuses (Béral & Moreau, 2020), les graminées peuvent être de meilleure qualité fourragère sous le houppier (Kallenbach *et al.*, 2006), ce qui pourrait mener à des fourrages de qualité équivalente entre agroforesterie et prairie ouverte. Des modèles de calcul de la densité d'arbres optimale pour conserver une productivité adéquate de la ressource herbacée ont été produits (García de Jalón *et al.*, 2018b), mais restent largement à mettre à l'épreuve des données du terrain.

c. Une meilleure valorisation de la strate herbacée

La présence d'arbres impacte aussi le comportement des animaux qui vont potentiellement mieux valoriser la strate herbacée.

Pour les volailles, l'aménagement du parcours est essentiel pour les inciter à sortir du bâtiment d'élevage (Béral *et al.*, 2014). Les poules en parcours arborés consomment ainsi plus d'herbe (Dal Bosco *et al.*, 2014), favorisant une meilleure prise de poids

(Germain, 2014). Néanmoins, l'accès à un parcours peut aussi engendrer une ingestion de sol plus importante (Jurjanz *et al.*, 2015). Ainsi, maintenir la qualité du couvert enherbé est crucial pour limiter cet effet et garantir un apport alimentaire adapté. Ceci nécessite d'identifier les espèces herbacées appétentes et ayant des teneurs protéiques intéressantes (Germain, 2014), tout en prenant en compte l'aspect lié à la concurrence du couvert vis-à-vis des arbres. Les arbres protègent les porcins du soleil, favorisant leurs déplacements dans les prairies (Jakobsen, 2018). De plus, la consommation de fourrages sur pied par les porcins permet de réduire la part d'aliments concentrés distribués et d'améliorer la valorisation des carcasses (Maupertuis & Desaint, 2023).

d. Les arbres comme source de fourrage

De nombreuses espèces d'arbres sont utilisées depuis le néolithique pour nourrir le bétail dans les étables (Rasmussen, 1989). Trois points sont à prendre en compte pour étudier leurs intérêts pour des ruminants : le rendement, la qualité fourragère et l'appétence.

Les rendements fourragers sont encore méconnus, et varient selon les espèces, âges et modes de gestion (trogne ou haut jet¹, fréquence d'élagage de la trogne...). Les premières études montrent des productions moyennes de feuilles par arbre pouvant dépasser 800 g de matière sèche par an pour des têtards bas (Mesbahi & Novak, 2022). Mesurer le rendement des têtards hauts, des arbres de haut jet et des haies est plus difficile car ces arbres sont plus grands, seulement partiellement atteignables par les animaux et souvent entrelacés. Il existe donc très peu de données à ce jour malgré leur plus forte présence en France métropolitaine.

Les espèces ligneuses montrent une forte variabilité dans leurs valeurs nutritives : elles sont souvent de qualité supérieure aux graminées en été, mais elles restent inférieures à la chicorée (Novak *et al.*, 2020a) (tableau 1). Le remplacement partiel de la luzerne par du mûrier blanc dans les rations de chèvres augmente la production de matière grasse de 9 g par kg de lait (Boyer, 2022). Comme pour les espèces herbacées, la qualité fourragère des espèces ligneuses diminue avec l'avancement de la saison (Mesbahi *et al.*, 2022a). Les espèces ligneuses peuvent contenir de nombreux composés secondaires aux potentielles propriétés médicinales et/ou de diminution des émissions de gaz à effet de serre, mais pouvant aussi avoir un effet anti-nutritionnel (cf. § 2.1.b). Au-delà des ruminants, des études préliminaires montrent que les porcins en phase de finition consomment les fourrages arborés (saule) disponibles, mais que cela ne suffit pas à compenser la perte de croissance causée par une restriction de 30 % de la ration alimentaire (Kongsted, 2022).

¹ On parle de « haut jet » pour un arbre destiné à la production de bois d'œuvre, dont le tronc est dégagé et le houppier se développe librement. Une « trogne » est un arbre régulièrement recépé (« trogné ») à différentes hauteurs du tronc ou des branches, afin de produire du petit bois et du fourrage. Son appellation peut varier selon les régions et les élagages pratiqués : têtard, plesse, ragosse, tête de chat, etc.

Les fruits cultivés (pommes, cerises...) ou sauvages (glands, châtaignes...), peuvent également être valorisés par les animaux (Solagro, 2016). Dans le projet Lapoesie, des lapins pâturant dans un verger ont ainsi consommé 23 % d'aliment en moins par rapport à leurs congénères élevés en bâtiment, du fait de leur utilisation du couvert végétal et des fruits tombés au sol (Savietto, 2023). Dans les systèmes méditerranéens de production porcine extensive (*dehesa, montado*), la consommation de fruits durant la finition améliore le gras intramusculaire, le profil d'acide gras de la viande, et son appréciation par les consommateurs (Lebret, 2008).

L'étude de l'appétence est primordiale, car une espèce productive et de bonne qualité fourragère devient inutile si elle n'est pas consommée par les animaux. Le frêne est traditionnellement utilisé comme fourrage, pourtant diverses études ont montré qu'il était très peu pâturé par les bovins si d'autres ressources étaient disponibles (Vandermeulen *et al.*, 2018 ; Mesbahi *et al.*, 2022b), mais que les ovins le consomment volontiers à l'auge lorsqu'il est présenté seul (Bernard *et al.*, 2020). Parmi

les espèces régulièrement observées en Europe de l'Ouest, l'aubépine, le cornouiller, l'orme, le noisetier, le robinier et certains saules sont particulièrement appréciés des ruminants (Vandermeulen *et al.*, 2018) (figure 2). Le mûrier blanc, plus méditerranéen, est aussi très appétent pour les bovins, ovins et caprins. Ces résultats sur l'appétence sont cependant à compléter, car peu d'études ont été réalisées à ce jour et les déterminants des préférences alimentaires restent à identifier selon les espèces, races, habitudes ou encore l'équilibre de la ration alimentaire des animaux.

e. Des sols agroforestiers en bonne santé

Les sols agricoles bénéficient généralement de l'introduction d'arbres sur les parcelles : en grandes cultures, l'agroforesterie améliore leur structuration, augmente la stabilité des agrégats et la capacité d'infiltration de l'eau, ce qui induit une meilleure résistance aux phénomènes érosifs (Fahad *et al.*, 2022). Dans les sylvo-pâturages méditerranéennes traditionnelles, une réduction de l'érosion hydrique a également été observée, bien que cela soit dépendant des pratiques de pâturage (Shakesby *et al.*, 2002). Le piétinement

par les animaux, mais également la croissance radiale des racines des arbres, peut exercer un effet de compaction sur le sol, mais celui-ci reste assez peu marqué et sa réversibilité est bonne (Sharrow, 2007).

Une partie de la biomasse des arbres est *in fine* mise à disposition des autres éléments de l'agroécosystème, *via* la décomposition des racines fines et la chute annuelle des organes aériens caducs. Les arbres induisent la remontée d'eau et de minéraux depuis les couches profondes du sol, inaccessibles aux racines des plantes herbacées. En outre, certaines espèces d'arbres et arbustes fixent l'azote atmosphérique dans le sol, grâce à la relation symbiotique établie avec des bactéries spécifiques, ce qui pourrait favoriser la croissance des plantes avoisinantes. Il s'agit en particulier d'espèces de la famille des légumineuses (*Fabaceae*) comme le févier d'Amérique (*Gleditsia triacanthos*), mais aussi par exemple des aulnes (*Alnus spp*) et de l'argousier (*Hippophae rhamnoides*).

L'agroforesterie a un impact positif sur l'abondance et la diversité des micro- et macro-organismes du sol, de manière plus marquée dans les systèmes sylvoagaires (Marsden *et al.*, 2020 ; Beule *et al.*, 2022), que sylvo-pastoraux (Cubillos *et al.*, 2016 ; Poudel *et al.*, 2022).

La présence d'animaux dans les zones arborées (boisements, cultures pérennes) engendre la déposition de déjections (urine, fèces) riches en minéraux favorables à la croissance des arbres. L'activité biologique des sols et la disponibilité de l'azote et du phosphore sont par exemple améliorées dans des vignobles et des oliveraies pâturés par des moutons (Ferreira *et al.*, 2013 ; Brewer *et al.*, 2022). Les effets peuvent néanmoins s'inverser au-delà d'un certain seuil : par exemple, la présence de volailles enrichit en azote le sol des zones boisées (Hilimire *et al.*, 2013), mais une présence prolongée à un chargement élevé finit par produire une surfertilisation délétère pour les arbres fruitiers (Timmermans & Bestman, 2016).

Figure 2. Consommation de fourrage arboré (orme *Lutèce*) par une vache croisée holstein x jersiaise x rouge scandinave (photo : G. Mesbahi – INRAE).



Tableau 1. Digestibilité de la matière sèche *in vitro* et matière azotée totale moyennes en août de quelques espèces ligneuses particulièrement appréciées par les bovins, ainsi que de la chicorée et du ray-grass pour comparaison. (Novak et al., 2020a).

Nom français	Nom latin	Digestibilité <i>in vitro</i> (%)	Matière azotée totale (g/kg MS)
Aubépine	<i>Crataegus monogyna</i>	73,1	126
Cornouiller sanguin	<i>Cornus sanguinea</i>	89,4	90
Mûrier blanc	<i>Morus alba</i>	84,8	164
Noisetier	<i>Corylus avellana</i>	51,1	133
Orme champêtre	<i>Ulmus minor</i>	60,8	131
Robinier	<i>Robinia pseudoacacia</i>	50,1	216
Saule des vanniers	<i>Salix viminalis</i>	58,7	167
Saule marsault	<i>Salix caprea</i>	70,4	159
Chicorée	<i>Cichorium intybus</i>	87,3	207
Ray-grass anglais	<i>Lolium perenne</i>	62,4	120

■ 1.2. Atténuation des effets négatifs de l'agriculture sur l'environnement

a. Services écosystémiques et biodiversité

Au-delà de son effet sur la fertilité des sols, l'association équilibrée d'animaux et d'arbres peut également contribuer à limiter les impacts environnementaux et climatiques liés aux pratiques agricoles.

La suppression de forêts pour créer des pâtures induit la perte des services de régulation hydrique rendus par les arbres (Jose, 2009 ; Zhu *et al.*, 2020 ; Smith *et al.*, 2022). Dans un SAFE, ces derniers exercent une fonction de « filet de sécurité », limitant le flux d'eau et de nutriments non captés ou restitués par la strate herbacée, qui pourraient provoquer des pollutions environnementales ou simplement une perte de performance du système (Udawatta *et al.*, 2011 ; Zhu *et al.*, 2020). Cet aspect est particulièrement important dans l'élevage porcin, qui génère des quantités élevées d'azote spatialement localisées sous forme de « latrines », efficacement captées par les racines des arbres (Jakobsen *et al.*, 2019).

L'agroforesterie produit des hétérogénéités spatiales, donc une diversité d'habitats potentiels, ce qui a généralement un effet positif sur la biodiversité.

Cet effet est marqué dans les systèmes sylvoagaires (Beillouin *et al.*, 2021) mais plus contrasté dans les SAFEs : si certaines études suggèrent que les pâtures arborées attirent à la fois les espèces forestières et celles inféodées aux milieux ouverts (Mcadam *et al.*, 2007), d'autres concluent que les SAFEs ne présentent pas de biodiversité plus élevée que les milieux pastoraux ou forestiers (Mupepele *et al.*, 2021). Ce résultat pourrait être dû à la diminution de la proportion d'espèces végétales menacées ou spécialistes des prairies lorsque les arbres se développent sur des prairies permanentes (Boch *et al.*, 2019). La zone climatique semble aussi avoir une importance : en Europe, les services écosystémiques fournis par les SAFEs sont plutôt positifs en milieu méditerranéen, mais neutres en milieu tempéré, continental et alpin (Torralba, 2016). La conception des parcours arborés (choix des espèces, type d'aménagements) et leur connectivité à une mosaïque paysagère diversifiée sont donc cruciales pour maximiser l'efficacité des SAFEs vis-à-vis de la biodiversité (Béral *et al.*, 2014).

L'utilisation d'animaux pour gérer l'enherbement dans les vignes et vergers permet de limiter les opérations de broyage, lesquelles impactent les espèces d'arthropodes les moins mobiles. De plus, la présence de déjections animales peut attirer des scarabéidés spécialisés dans

leur décomposition, qui sont initialement absents des zones de cultures végétales, et qui à leur tour génèrent de nombreux services écosystémiques (Nichols *et al.*, 2008).

b. Stockage de carbone

Le passage de pratiques agricoles « classiques » à l'agroforesterie augmente généralement le stock de carbone de la parcelle (De Stefano & Jacobson, 2018 ; Mayer *et al.*, 2022), du fait de la production de biomasse aérienne et souterraine par les arbres, et de la modification des cycles du carbone et de l'azote sous l'influence des microclimats créés par les arbres (Marsden *et al.*, 2020). Cet effet est plutôt détecté dans les horizons de surface, alors même que les arbres sembleraient en mesure de stocker du carbone dans les couches du sol plus profondes. Les arbres à feuillage caduc sont associés à un stockage de carbone plus intense, probablement du fait de leur enracinement plus profond et de la quantité et facilité de dégradation de leur litière (Mayer *et al.*, 2022).

Pourtant, la perturbation générée par l'établissement d'un SAFE à partir d'un environnement forestier ou prairial semble en mesure de générer des pertes temporaires ou durables de carbone du sol (De Stefano & Jacobson, 2018 ; Contosta *et al.*, 2022 ; Mayer *et al.*, 2022). En effet, les prairies permanentes

tempérées sont proches de la saturation de leur stock de carbone organique, et l'implantation d'arbres peut perturber les communautés herbacées installées (Mayer *et al.*, 2022). Pour autant, le potentiel de stockage de carbone semble plus élevé à long terme dans un SAFE que dans une pâture ouverte (Contosta *et al.*, 2022).

À l'inverse, transformer les parcelles tempérées de cultures temporaires permet une forte augmentation des stocks de carbone, car ces stocks sont souvent initialement faibles (De Stefano & Jacobson, 2018 ; Mayer *et al.*, 2022).

En vignoble ou en plantation de merisiers, il a été montré que le pâturage induit un stockage de carbone accru, quelle que soit la profondeur observée, à condition que le pâturage soit mené correctement (Ferreiro-Domínguez *et al.*, 2016 ; Brewer *et al.*, 2022). En effet, les déjections animales enrichissent le sol en carbone directement et indirectement *via* l'activation de la communauté microbienne (Brewer & Gaudin, 2020). Néanmoins, cela pourrait également accroître les émissions de N₂O et CH₄, puissants gaz à effet de serre (Lazcano *et al.*, 2022).

En résumé, l'agroforesterie pourrait contribuer à la limitation du changement climatique, surtout dans les systèmes sylvoagaires (« *alley-cropping* »). Ainsi, c'est principalement dans les parcelles en rotation que les fermes d'élevage peuvent augmenter leur stockage de carbone dans le sol. Les SAFEs sont aussi particulièrement efficaces pour stocker du carbone en milieu tropical, mais leur intérêt en milieu tempéré est plutôt de lutter contre l'érosion hydrique et éolienne, et d'améliorer les microclimats (Mayer *et al.*, 2022).

c. Émissions de méthane

En plus de leur rôle dans la séquestration de carbone, les arbres fourragers peuvent aider à diminuer les émissions de gaz à effet de serre des ruminants. Ainsi, l'abroustissement d'arbres ou la consommation de bouchons de feuilles permettent une diminution, souvent faible, des émissions de méthane (Ramírez-Restrepo *et al.*, 2010 ; Terranova *et al.*, 2021). De plus,

une diminution des émissions d'azote urinaire est parfois observée, permettant la diminution des émissions de N₂O, qui est lui aussi un gaz à effet de serre (Terranova *et al.*, 2021).

Cette diminution est souvent liée à la teneur en tanins condensés des fourrages (Terranova *et al.*, 2021), mais d'autres composés secondaires comme les saponines et les phénols plus généralement pourraient aussi avoir un rôle, encore mal compris. Les espèces ligneuses de climat tempéré ayant de fortes teneurs en tanins (> 50 g/kg MS) sont par ordre croissant le hêtre, le kiwi, la vigne, le noisetier, le saule des vanniers et le robinier (Novak *et al.*, 2020a), ces deux dernières espèces ayant même des teneurs supérieures à celles du sainfoin. Ces teneurs évoluent cependant selon les individus et les conditions pédoclimatiques. Les noisetiers, saules des vanniers et robiniers sont particulièrement intéressants car de nombreuses observations ont montré qu'ils étaient appréciés des ruminants.

2. Cohabitation des arbres et des animaux : synergies potentielles et enjeux techniques de l'agroforesterie

■ 2.1. Bien-être et santé des animaux

a. Microclimat et ombrage

L'agroforesterie crée des hétérogénéités microclimatiques à l'échelle de la parcelle permettant aux animaux de choisir l'environnement le plus adapté à leur bien-être. Les arbres protègent du soleil, tamponnent les variations de température, et limitent la vitesse du vent (Karki & Goodman, 2015) : les températures peuvent ainsi être diminuées de 3 à 6 °C par rapport à une prairie non arborée (Béral *et al.*, 2018). La protection climatique fournie par les arbres concerne aussi les conditions froides, pluvieuses ou ventées : les ovins recherchent alors activement leur couvert, et les bovins gagnent à hiverner dans les zones boisées si les sols le permettent. Une parcelle arborée de manière régulière fournit des abris faciles à atteindre, ce qui

pourrait limiter la dépense énergétique du bétail (Béral *et al.*, 2018).

Dans l'ensemble, la protection et la diversité de microclimats offertes par les arbres améliorent le bien-être des ruminants, des porcins, des volailles, et des lapins, en fournissant des abris contre les conditions adverses, et en leur permettant d'exprimer leurs comportements naturels (Dal Bosco *et al.*, 2014 ; Jakobsen, 2018 ; Savietto, 2023) (figure 3).

b. Impact de la présence d'arbres sur la santé des animaux

L'introduction d'arbres dans les parcours ou dans l'alimentation des animaux pourrait être une opportunité pour réduire les intrants médicamenteux des élevages, notamment en aidant au contrôle du parasitisme interne. Pour autant, les effets thérapeutiques ou nocifs des éléments arborés sur les animaux d'élevage, dans les conditions d'exploitation, restent encore incertains et nécessitent des recherches plus approfondies pour mieux accompagner les agriculteurs.

Les parcours arborés favorisent l'exploration d'un environnement plus vaste par les animaux (Germain, 2014), ce qui peut contribuer à limiter leur concentration et donc leur réinfestation parasitaire. Également, certains composés chimiques présents dans les feuilles des arbres pourraient contribuer, dans les prairies, à limiter les populations de parasites intestinaux avant leur ingestion par les animaux d'élevage. En revanche, le microclimat plus frais et humide généré par les arbres (et par l'irrigation dans le cas des vergers) pourrait bénéficier à ces parasites ; les données manquent encore pour conclure à ce sujet.

Les animaux sont susceptibles de consommer spontanément certaines plantes dans une démarche d'automédication, bien que ce comportement dépende fortement de leur race et de leur historique, et reste encore débattu par la communauté scientifique (Villalba *et al.*, 2014). Ainsi, des chevreux fortement parasités se mettent

Figure 3. Brebis de race shropshire profitant de l'ombrage d'un verger de pêchers lors de l'été caniculaire 2022 (photo : L. Marie – FiBL France).



à consommer le pistachier lentisque, ce qui diminue l'infestation (Landau *et al.*, 2010). Par ailleurs, des agneaux infestés par des parasites augmentent leur consommation de fourrage riche en tanins (Lisonbee *et al.*, 2009).

En effet, les feuilles, les fruits, le bois vert, et l'écorce des arbres peuvent contenir de fortes teneurs en tanins (Novak *et al.*, 2020a), reconnus pour leur effet antiparasitaire. Ainsi, l'ingestion de saule frais riche en tanins diminue l'infestation des agneaux (Musonda *et al.*, 2009 ; Mupeyo *et al.*, 2011). La consommation par des porcs de fruits riches en tanins et en lactones sesquiterpéniques (châtaignes, noix, noisettes, glands...) améliore leur tolérance vis-à-vis des nématodes et des bactéries pathogènes (Hassan *et al.*, 2020).

Toutefois, la diversité des tanins, les molécules auxquels ils s'associent et l'environnement des animaux empêchent de conclure à ce stade sur les propriétés réelles des différents tanins sur la santé en conditions d'élevage. Certaines études montrent par exemple l'importance d'associer les tanins à des rations pauvres en protéines, car les tanins associés aux protéines perdent leur efficacité (Butter *et al.*, 2000) et inhibent l'assimilation de ces dernières. À l'inverse, une ration riche en protéines pourrait permettre

à l'animal d'expulser plus de parasites, de réduire les pertes de poids et de limiter les réinfections (Butter *et al.*, 2000).

Les fourrages ligneux peuvent aussi jouer un rôle dans l'alimentation minérale des animaux d'élevage. Par exemple, figuier, mûrier blanc et tilleul contiennent 15 fois plus de calcium que le maïs (Novak *et al.*, 2020a). Pour valoriser les minéraux, il est donc possible de planter des « haies médicinales » en bordure de parcelles ou le long des chemins empruntés par les troupeaux.

Cependant, certains arbres peuvent contenir des molécules toxiques. Les risques sont faibles pour les ruminants, mais semblent non négligeables pour les monogastriques. Ces risques sont encore très peu compris aujourd'hui car ils dépendent de la dose ingérée, de la proportion dans la ration, du stade phénologique des feuilles ou fruits consommés, de l'espèce animale, de l'habitude du troupeau, des interactions entre molécules et éventuels effets « cocktail », etc.

c. Prédation

Les animaux d'élevage de petite taille (volailles, lapins) sont particulièrement sujets à la prédation en plein air, qu'elle soit aérienne (rapaces) ou terrestre (renards, fouines...) (Stahl *et al.*, 2002).

Les poules peuvent se prémunir contre la prédation terrestre en se perchant dans les éventuels éléments arborés, bien que ce comportement dépende de la race et des individus, ainsi que de la conduite de l'élevage (amputation des rémiges). La protection fournie par les arbres contre la prédation aérienne est également intéressante, même si certaines espèces de rapaces, comme l'autour des palombes, sont capables de chasser en sous-bois (Bestman & Bikker-Ouwejan, 2020).

La présence d'arbres procurerait donc un sentiment de sécurité aux volailles et aux lapins, mais n'est pas à elle seule suffisante pour garantir la protection contre la prédation et le vol d'animaux, lesquels restent des enjeux majeurs des systèmes agroforestiers (García de Jalón *et al.*, 2018a). D'autres systèmes

de protection tels que des abris fermés pour la nuit, des systèmes de clôtures électrifiées, et éventuellement d'effarouchement restent donc indispensables (Knierim, 2006).

La disposition du couvert arboré pourrait induire des modifications du comportement de vigilance par rapport au risque d'attaque. Les bovins renonceraient à s'allonger à proximité d'une haie, derrière laquelle des loups pourraient se cacher, alors qu'ils s'autoriseraient à se reposer dans un bosquet isolé doté d'une bonne visibilité (Kluever *et al.*, 2008) – comportement que les ovins, quant à eux, semblent ne pas adopter (Monier S., communication personnelle).

■ 2.2. Dégâts aux arbres

Malgré un fort potentiel de bénéfices réciproques de l'association des animaux avec les arbres, des risques existent pour la pérennité des plantations. Ils dépendent des espèces introduites dans les zones boisées, du taux de chargement, du temps de séjour des animaux, du type de conduite du troupeau, et de nombreux autres paramètres. La littérature disponible sur le sujet concerne surtout les dégâts causés par les ongulés ou les rongeurs sauvages, et ne peut pas toujours être transposée aux situations d'élevage.

a. Abrouissement

Le premier type de dégâts que les animaux peuvent causer aux arbres concerne l'abrouissement, à savoir la consommation des feuilles et des rameaux. Cette action n'est pas nécessairement néfaste, et peut même être recherchée dans le cas de pâturage d'arbres fourragers, dans des landes et maquis, ou en milieu forestier (élagage des branches basses), à condition que le bourgeon terminal soit inaccessible (Gill, 1992b).

Dans les zones d'arboriculture fruitière intensive, en revanche, cela conduit à une perte de production sur l'étage accessible aux animaux, qui est également celui où la récolte est la plus aisée. En hiver, les dégâts causés par le pâturage ovin restent généralement acceptables (quelques

bourgeons consommés), mais après débourement, la végétation peut être consommée jusqu'à une hauteur de 1,60 m (SSBA, 2017 ; Conrad *et al.*, 2022), ce qui est souvent considéré comme rédhibitoire par les producteurs (AREFE, 2018). Certaines races ovines, comme la shropshire (lignée danoise) et la southdown, semblent incapables de se tenir debout sur leurs pattes arrière, ce qui permettrait de réduire la hauteur des dégâts (Conrad *et al.*, 2022). Les arbres peuvent être protégés de l'abrouissement par des fils électriques ou barbelés, tandis que l'application de répulsifs semble efficace à court terme contre l'abrouissement par les ovins (Guittonneau *et al.*, 2023a) mais peu contre celui des bovins (Novak *et al.*, 2020b).

De manière évidente, des animaux de plus grande taille (bovins, équins) risquent d'occasionner des dégâts d'abrouissement jusqu'à des hauteurs plus importantes, sans compter l'éventualité que des branches soient arrachées du fait du frottement des animaux. Dans ces situations, seuls les boisements relativement âgés et les vergers de haute tige seront alors appropriés.

En viticulture, bien que le même type de problématique se pose, il est intéressant de noter que certains producteurs (essentiellement en Nouvelle-Zélande et en Australie) utilisent les moutons pour réaliser un effeuillage ponctuel dans la zone des grappes, sans dégâts pour la récolte si la temporalité est maîtrisée (Emms, 2010). L'épamprage (suppression des pousses non fructifères) par les ovins peut également être envisagé (Conrad *et al.*, 2022).

b. Écorçage

De nombreux animaux sont susceptibles de consommer ou de dégrader les écorces des arbres présents sur leur parcelle de pâturage, ce qui peut être rédhibitoire si les arbres représentent une importante valeur ajoutée (vergers, bois d'œuvre précieux).

Les ovins peuvent écorcer des pommiers de manière massive et soudaine, au milieu d'un épisode de pâturage en vergers sans incident (figure 4). Pour

autant, sur plusieurs années de pâturage, ils semblent occasionner moins de dégâts cumulés que les bovins ou les chevaux (López-Sánchez *et al.*, 2020). Les lapins, quant à eux, sont très généralistes, capables d'écorcer massivement des jeunes arbres particulièrement en hiver, avec une préférence toutefois pour les arbres fruitiers (Gill, 1992a). Une protection adéquate des arbres à l'aide de manchons permet de pallier efficacement ce risque (Saviotto, 2023). Des observations préliminaires du FiBL France indiquent que les porcs à l'engraissement peuvent provoquer d'importants dégâts par consommation des écorces et des racines avec une plus forte prédilection pour certaines espèces (pommier, abricotier, cerisier, prunier, alisier blanc), alors que d'autres semblent épargnées (érables, frêne à feuilles étroites, viorne lantane, fusain d'Europe). Même parmi les arbres d'une même espèce, le génotype de certains individus a un impact sur la probabilité d'écorçage (Guerreiro *et al.*, 2015).

L'alimentation dont disposent les animaux joue très probablement un rôle central dans le déclenchement du comportement d'écorçage : il a par exemple été observé que les cervidés consomment prioritairement l'écorce des hêtres ayant la plus forte teneur en sucre (Kurek *et al.*, 2019). Les ruminants semblent augmenter leur propension à écorcer les arbres lorsque leur alimentation est déficiente en fibres, en minéraux, ou en protéines (SSBA, 2017 ; Nicodemo & Porfírio-da-Silva, 2019). Par ailleurs, Keenan (1986) a observé que l'écorçage d'eucalyptus par des chevaux semblait être lié à la présence d'irrigation sur leur pâturage. Des témoignages d'agriculteurs abondent dans le même sens, reliant précipitations abondantes, faible teneur en fibres dans le fourrage herbacé, et comportement d'écorçage par les ovins. Cependant, ce facteur est insuffisant pour déclencher le comportement d'écorçage parmi des petits groupes d'ovins pâturant dans des vergers de pommiers (Guittonneau *et al.*, 2023b).

De nombreux autres facteurs semblent avoir une influence sur le déclenchement de ce comportement : densité des arbres ou du chargement, conduite

du troupeau, apprentissage social et dynamiques collectives, automédication (cf. § 2.1.b), stress, ennui, etc. (figure 5). Le comportement d'écorçage est donc probablement à comprendre comme la résultante d'un ensemble de facteurs concordants, sans que la pondération de ces différents éléments soit très claire. Ces incertitudes rendent le pâturage en agroforesterie potentiellement insécurisant pour les gestionnaires du troupeau et de la parcelle.

Pour autant, les cas de mortalité massive de plantations suite à l'introduction d'animaux d'élevage restent relativement rares, surtout si on les compare aux dégâts commis par les animaux sauvages : campagnols, lapins, cervidés. Cette différence provient surtout de la surveillance du troupeau, qui permet de limiter l'écorçage à des dégâts légers à moyens, lesquels peuvent malgré tout aboutir à une perte de performance des arbres s'ils sont réitérés fréquemment (López-Sánchez *et al.*, 2020). Des études sont nécessaires pour documenter plus précisément l'impact d'écorçages occasionnels sur la physiologie et la productivité des arbres.

■ 2.3. Spécificités liées au pâturage des vignes et vergers

a. Risques liés aux produits phytosanitaires utilisés en AB

Lorsque la composante arboricole du SAFE est une culture à haute valeur ajoutée (vignobles, vergers...), des produits de phytoprotection sont généralement appliqués sur le feuillage. Les substances employées sont très diverses, et leurs effets sur la santé des humains, et *a fortiori* des animaux, ne sont pas toujours bien connus. Or, ces derniers sont potentiellement très exposés à des risques de toxicité, en particulier lorsqu'ils consomment le couvert végétal et/ou des éléments du sol, voire les feuilles des arbres. Qui plus est, les études visant à évaluer la toxicité des pesticides sont généralement réalisées sur des animaux modèles (rat, chien...) et sur des animaux sauvages (poissons, insectes pollinisateurs...), mais les données sont très rares pour les animaux d'élevage alors que les seuils

de toxicité varient significativement d'une espèce à l'autre.

L'agriculture biologique fait un emploi particulièrement important des fongicides/bactéricides à base de cuivre, notamment en viticulture et arboriculture (Andrivon *et al.*, 2019 ; Lamichhane *et al.*, 2018). Le cuivre est bien toléré par de nombreux animaux, son absorption étant même un facteur de promotion de la croissance chez les porcins, les volailles et les lapins. En revanche, une quantité de cuivre, même relativement faible, ingérée pendant plusieurs mois peut être létale pour les bovins et les ovins (National Research Council, 2005 ; Suttle, 2010). Chez ces derniers, le cuivre est en effet principalement accumulé dans le foie, d'où il peut être relargué soudainement suite à un stress même léger (modification d'alimentation, changement de parcelle, mise bas...), provoquant la mort de l'animal en quelques jours.

Le pâturage hivernal de vignes et de vergers par des ovins peut néanmoins être conduit sans risque d'intoxication si un délai suffisamment long est respecté après le dernier traitement. Le cuivre est alors dilué par la pousse des plantes et lessivé par la pluie, abaissant sa concentration à des niveaux non toxiques en quelques semaines (Trouillard *et al.*, 2021 ; Dufils *et al.*, 2022). Les situations réclamant une surveillance particulière sont donc celles où le pâturage intervient rapidement après l'application de produits à base de cuivre : printemps/été pour pommiers ou noyers (Trouillard *et al.*, 2023), sortie d'hiver pour pêcheurs, pâturage hivernal en verger de pommiers ayant subi une défoliation précoce aux chélates de cuivre – ou lorsque la consommation des feuilles de vigne par les ovins est réalisée à dessein (Emms, 2010). En cas de doute, le risque d'intoxication peut être estimé en se basant sur les teneurs en cuivre, en molybdène et en soufre (antagonistes de l'absorption du cuivre) dans le couvert végétal (Trouillard *et al.*, 2021).

L'application phytopharmaceutique pourrait occasionnellement produire des « effets collatéraux » en médecine vétérinaire : par exemple,

Figure 4. Pommiers (variété Kermerrien/M7) écorcés par des ovins (mérinos x mourérous) à l'automne 2022 (photo : M. Trouillard – FiBL France).



l'azadirachtine, utilisée dans le traitement des infestations de divers insectes en verger biologique, pourrait avoir un effet antiparasitaire sur les strongles gastro-intestinaux du mouton (Iqbal *et al.*, 2010), et sur la gale porcine (Pasipanodya *et al.*, 2021). Il reste à déterminer si les doses employées permettent un réel gain sanitaire pour les animaux.

La question des résidus de pesticides dans les produits animaux destinés à la consommation humaine est complexe, du fait de la diversité des substances employées (Dasenaki *et al.*, 2023). Le cuivre quant à lui s'accumule peu dans les muscles des animaux, et l'humain y est généralement peu sensible (Anses, 2012).

b. Prophylaxie du verger liée au pâturage

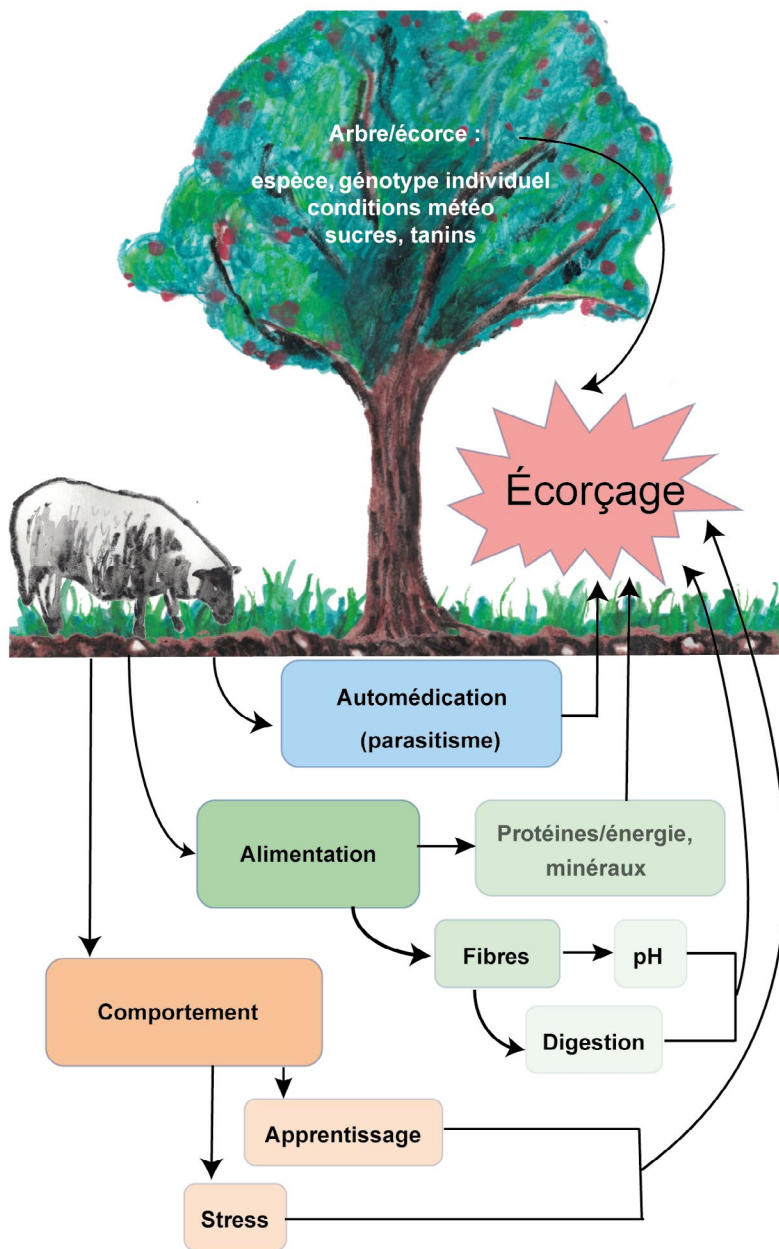
Si l'intégration des animaux en arboriculture vise surtout la gestion de l'enherbement, elle offre également un moyen de contrôle des bioagresseurs (Paut *et al.*, 2021), particulièrement dans le cas des volailles. Toutefois, l'intégration des animaux doit être utilisée à titre préventif, et non comme solution curative (Laget *et al.*, 2015). Les animaux peuvent exercer une prophylaxie directe en prédatant les bioagresseurs,

ou indirecte en rendant le milieu défavorable à leur présence et à leur développement.

La prophylaxie directe implique principalement l'ingestion des bioagresseurs par les animaux : les poules peuvent s'attaquer à certains ravageurs des cultures fruitières tels que le scarabée japonais (*Popillia japonica*) et la punaise terne (*Lygus lineolaris*) (Clark & Gage, 1996). De manière non ciblée, les animaux peuvent aussi consommer des ravageurs ou des pathogènes présents dans ou sur les fruits tombés au sol (Lavigne *et al.*, 2012). Suite à l'introduction de cochons en vergers de pommiers ou de poiriers, la quasi-totalité des fruits tombés au sol était consommée, favorisant ainsi la lutte contre la mouche de la pomme (*Rhagoletis pomonella*) ou la réduction de l'inoculum de carpocapse de la pomme (*Cydia pomonella*) et de tordeuse orientale du pêcher (*Grapholita molesta*) (Nunn *et al.*, 2007 ; Buehrer & Grieshop, 2014).

En termes de lutte indirecte, la présence de poulets dans un verger abaisse les populations de fourmis mutualistes des pucerons, ce qui pourrait limiter l'impact de ces derniers (Hilaire & Mathieu, 2000). La consommation de la strate herbacée par des

Figure 5. Aspect multifactoriel du comportement d'écorçage des herbivores (adapté de Nicodemo & Porfírio-da-Silva, 2019).



herbivores expose les rongeurs (Wilson & Hardesty, 2006) et les insectes (Witt *et al.*, 1995 ; Clark & Gage, 1996) à leurs prédateurs naturels et à un climat défavorable. Par ailleurs, le piétinement des ovins semble détruire les galeries et le tumulus des campagnols consommateurs de racines des arbres fruitiers (Pype & Venineau-Delvalle, 2016), et pourrait diminuer l'inoculum de la tavelure (*Venturia inaequalis*) par dégradation de la litière, bien que cela reste difficile à confirmer (Dufils, 2017).

Pour caractériser le potentiel de prophylaxie de l'espèce animale à

introduire, il est indispensable de considérer ses préférences alimentaires, son comportement de recherche alimentaire (grattage du sol, abroustissement, broutage...), et sa morphologie. Un compromis doit être trouvé entre l'effet prophylactique recherché et la complémentarité avec les cultures fruitières : passage des animaux sous les branches basses, compaction du sol. Des adaptations de conduite du SAFE peuvent être nécessaires (déplacement des abris, parcs tournants), pour synchroniser la présence animale avec le stade de sensibilité du bioagresseur ciblé, afin d'optimiser l'efficacité prophylactique.

3. L'agroforesterie pour faire face aux défis économiques et organisationnels de l'élevage.

■ 3.1. Entre diversification des revenus et coûts additionnels

En plus de fournir des services écosystémiques et agronomiques, l'intégration d'un nouvel atelier offre de nouvelles possibilités de revenus et d'économies. La production arboricole peut fournir du bois d'œuvre, du bois-énergie, des fruits ou d'autres denrées (figure 6), et l'élevage génère des produits animaux commercialisables : œufs, viande et autres coproduits tels que la laine (Moreno *et al.*, 2018). Les déjections animales apportent des éléments nutritifs pour les cultures (cf. §1.1.e), dont la contribution peut être très appréciable dans un contexte de forte volatilité du prix des matières fertilisantes. Par ailleurs, la présence animale dans des vignes et vergers est fréquemment exploitée à des fins d'image de marque, permettant potentiellement une meilleure valorisation économique des produits (Mohamed, 2015).

La diversification engendrée par l'association d'arbres et d'animaux devient une source de résilience économique, dans la mesure où les deux ateliers sont impactés différemment par les aléas climatiques (gel tardif, sécheresse) ou conjoncturels (variation des prix de vente) (Cubbage *et al.*, 2012). Cet effet est renforcé par les différences de temporalité entre ateliers (Smith *et al.*, 2022). Une valorisation à court terme des produits issus de l'élevage peut permettre un revenu en attendant une valorisation de plus long terme des fruits ou du bois d'œuvre (Dupraz & Liagre, 2008 ; Smith *et al.*, 2022). De même, les revenus saisonniers liés à la vente de fruits peuvent, par exemple, être complétés par des revenus plus réguliers issus de la commercialisation d'œufs.

À cette complémentarité temporelle s'ajoute une complémentarité spatiale liée à la coexistence dans un espace restreint de deux productions simultanées.

Celles-ci bénéficient alors de synergies qui permettent de faire des économies, notamment en termes de bouclage de cycle (Rocchi *et al.*, 2019). Une troisième complémentarité concerne les modes de valorisation économique : circuit long, vente directe, autoconsommation – ce qui peut stabiliser l'économie des fermes en améliorant leur potentiel vivrier (Moreno *et al.*, 2018 ; Guittonneau & Pellissier, 2023).

Néanmoins, la mise en place d'un atelier complémentaire est aussi coûteuse (Paut *et al.*, 2021). Des investissements sont nécessaires pour développer un atelier d'élevage : clôtures, bâtiments, installations de traitement, éventuellement de transformation et d'emballage des produits animaux. Les tâches spécifiques à l'élevage (surveillance, soins, abreuvement, alimentation...) et leur coût s'ajoutent aux charges déjà engagées pour les vignes ou vergers, ce qui peut être difficilement gérable pour certains agriculteurs (Moreno *et al.*, 2018 ; Guittonneau & Pellissier, 2023).

Introduire des arbres en partant d'un atelier d'élevage implique aussi quelques investissements et coûts réguliers pour s'assurer de leur bon développement : matériel végétal, dispositifs de protection, fertilisation, irrigation, paillage, etc. (Béral *et al.*, 2014). Les charges inhérentes aux opérations de récolte (abattage, découpe, transport) doivent être également intégrées au modèle économique envisagé (Solagro, 2016).

Dans tous les cas, de nouvelles connaissances et compétences doivent être acquises, et les erreurs commises par inexpérience peuvent affecter la réussite de l'atelier d'élevage et/ou la valorisation économique des arbres. Un SAFE nécessite donc une gestion attentive, éventuellement coûteuse en ressources, mais ayant le potentiel pour générer un surcroît de revenus s'il est géré de manière adéquate (Jose *et al.*, 2017 ; Pent, 2020).

■ 3.2. Organisation et charge de travail, réglementation

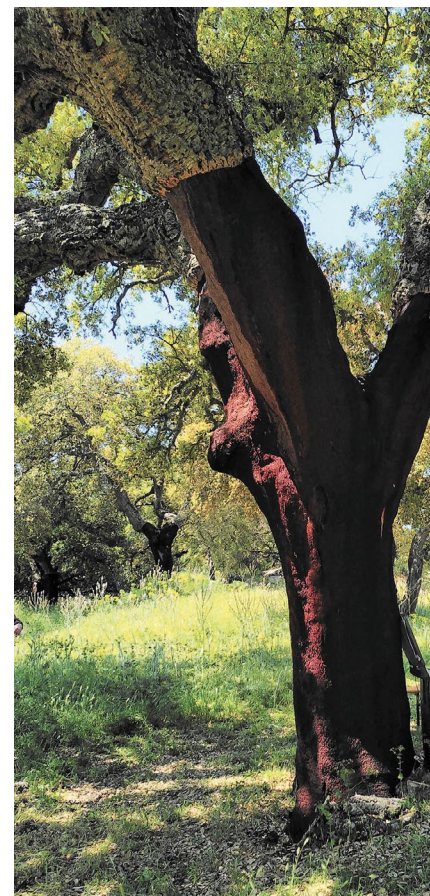
Le développement d'un SAFE à partir d'une ferme d'élevage n'en modifie pas profondément l'organisation. La

présence d'arbres procure une certaine flexibilité : mobilisation de la ressource fourragère arborée en cas de pénurie, rentrée rapide de trésorerie *via* la récolte d'arbres matures (Dupraz & Liagre, 2008). En revanche, la mécanisation (production de foin, broyage des refus) peut devenir plus fastidieuse. Par ailleurs, les jeunes arbres doivent faire l'objet de soins (irrigation, désherbage...), ce qui constitue une astreinte. Sur le plan réglementaire, la plantation de vignes fait l'objet d'une demande d'autorisation et d'un suivi administratif ; les arbres du genre *Prunus* peuvent faire l'objet de visites de contrôle pour vérifier l'absence du virus de la sharka. Bien entendu, les arbres doivent être conduits selon le cahier des charges de l'AB pour permettre la labellisation des animaux pâturant sur la parcelle.

Lorsqu'un atelier d'élevage est développé sur une ferme arboricole, viticole ou sylvicole, certains aspects de l'organisation du travail peuvent être facilités : la temporalité de l'introduction des animaux dans les parcelles est maîtrisée, ce qui est important pour contrôler les bioagresseurs (cf. § 2.3.b), réaliser une opération culturale à moindre coût (par ex. épamprage et effeuillage par les moutons, cf. § 2.2.a), ou encore limiter la hauteur d'herbe en prévision d'un épisode de gel printanier. Les déjections animales fournissent du fumier et du compost, ce qui améliore l'autonomie en matière organique (cf. § 1.1.e).

Les agriculteurs qui pratiquent cette association évoquent néanmoins des contraintes additionnelles d'ordre organisationnel : augmentation de la charge et de la complexité du travail, gestion administrative (García de Jalón *et al.*, 2018a). Les pics de travail des cultures fruitières s'accommodent difficilement de l'astreinte inhérente aux pratiques d'élevage, et la présence des animaux peut être incompatible avec les interventions sur les cultures pérennes (traitements phytosanitaires, présence de salariés, de machines agricoles...), induisant des opérations de déplacement du bétail et/ou le recours à des parcelles de retrait (Moraine *et al.*, 2012). Celles-ci peuvent aussi être

Figure 6. Valorisation économique du liège issu de *Quercus suber* dans les paysages sylvopastoraux de Sardaigne, lesquels acquièrent une forte valeur culturelle et patrimoniale (cf. § 3.3) (photo : M. Trouillard – FiBL France).



justifiées dans une logique de gestion de la ressource herbagère (Dufils, 2017) ou de préservation de la strate herbacée vis-à-vis des animaux déstructurant le sol comme les poules (Bosshardt *et al.*, 2022) ou les porcs.

L'établissement à l'échelle territoriale de partenariats entre éleveurs et arboriculteurs (cf. § 3.3) permet de conserver une partie des services rendus par les animaux dans les parcelles (Moraine *et al.*, 2012), sans toutefois nécessiter un réaménagement profond du fonctionnement de l'exploitation. La réussite de l'association repose alors sur la volonté des parties prenantes de collaborer et de mettre en place les ajustements mutuels nécessaires, notamment en termes de temporalité.

Les SAFEs présentent un certain nombre de particularités en termes

de réglementation, qui bien souvent ne sont pas prévues par les textes actuellement en vigueur : déclaration PAC en cas d'usages croisés d'une parcelle, temps de retour à la parcelle après traitement, temps d'exclusion des animaux avant récolte, règles de biosécurité imposant la création d'une clôture spécifique dans une vigne ou un verger pâturé, etc. (Riffard & Liagre, 2023). Ces vides réglementaires peuvent parfois donner de la marge de manœuvre aux agriculteurs, mais aussi représenter des points de blocage ou de vigilance en cas de problème. Parmi les rares textes sur le sujet, un « Guide de bonnes pratiques d'hygiène [...] pour les fruits frais », paru au Journal officiel et par conséquent juridiquement opposable, mentionne que « dans la mesure du possible, [les animaux] doivent être tenus à l'écart des cultures » (CTIFL, 2012).

L'agriculture biologique accorde une tolérance au pâturage d'animaux non biologiques sur des surfaces labellisées, tant qu'il n'excède pas quatre mois par an. La réciproque (pâturage d'animaux labellisés AB sur des parcelles non bio) n'est pas possible, même si la parcelle pâturée est pourvue d'arbres. Les arbres forestiers et agroforestiers sont dispensés de certification biologique tant qu'ils « ne [produisent] pas de produits agricoles commercialisables » (INAO, 2023), ce qui pose question s'ils sont destinés à une utilisation fourragère plus ou moins principale.

■ 3.3. Intégration territoriale et patrimoniale

Tandis que l'activité agricole reposait encore, au début du xx^e siècle, sur des relations étroites et synergiques entre végétaux et animaux (Mazoyer & Roudart, 2017), le mouvement de « modernisation » (mécanisation et « chimisation ») agricole a conduit à une dissociation de ces deux univers. Cette partition entre productions animales et végétales structure désormais à la fois l'espace, qui se retrouve divisé en « bassins » de production spécialisés, et les filières.

L'échelle territoriale semble à la fois pertinente et prometteuse pour

opérer un travail de reconnexion entre ces deux univers (Moraine *et al.*, 2016 ; Napoleone *et al.*, 2022). Plusieurs projets de recherche-action récents ou en cours (Dépasse, Paradoce, Brebis_Link, ECORCE, PÂRTEN'R-AuRA) attestent de ce regain d'intérêt pour des pratiques souvent traditionnelles mais menacées de déclin : par exemple, complémentarité entre oliviers, vignes et brebis dans les espaces méditerranéens (Mohamed, 2015) ou pâturage dans les noyeraies bordant les zones d'estive.

Dans ces cas, une forme d'association temporaire entre un éleveur et un ou plusieurs arboriculteurs se développe pour générer des synergies territoriales. Bien que cette association implique une coordination importante des parties prenantes, elle est généralement actée par un simple accord oral. Plusieurs projets récents ont proposé des ateliers et/ou des conventions de contractualisation pour favoriser une bonne compréhension entre éleveurs et cultivateurs et anticiper les possibles conflits, en maintenant le caractère spontané de leur collaboration (Lyazid *et al.*, 2021). D'un point de vue opérationnel, des outils en ligne de mise en relation d'acteurs d'un territoire ont vu le jour récemment².

L'élevage crée et entretient des liens sociaux et agronomiques à l'échelle territoriale. Les déplacements de troupeaux génèrent de la matière organique dans des zones où l'élevage est faiblement présent, réduisant leur dépendance aux fertilisants externes et leur empreinte écologique. Les échanges entre plaine et montagne peuvent contribuer à renforcer l'autonomie fourragère des élevages (Napoleone *et al.*, 2022), et à (re) valoriser des parcelles en déprise. Dans certains cas, le pâturage des surfaces arborées permet l'installation d'éleveurs ovins « herbassiers » ou « sans-terre », contribuant ainsi à l'installation hors cadre familial. Les arboriculteurs, viticulteurs et céréaliers d'une région peuvent être amenés à s'entendre en

² Par exemple, l'outil « Qui veut mon herbe ? » : <https://gard.chambre-agriculture.fr/productions-techniques/elevage/repertoire-pastoral-des-costieres/>, ou encore <https://www.echange-cerealiereleveur.fr/>

vue de proposer une surface pâturable suffisamment importante pour justifier le déplacement d'un éleveur.

La réintroduction des animaux dans un bassin de cultures spécialisées modifie l'environnement visuel, sonore et olfactif de l'agriculture. La présence des machines agricoles est réduite, mais de nouvelles nuisances potentielles peuvent apparaître : cris d'animaux, odeurs des déjections, risque d'échappement des bêtes, etc. L'introduction d'arbres dans des paysages qui en sont plus ou moins dépourvus (plaine agricole intensive, mais aussi estives et pâturages extensifs non bocagers) impacte positivement la qualité de vie des riverains (García de Jalón *et al.*, 2018a ; Elbakidze *et al.*, 2021). Le dessin d'implantation des arbres peut rompre la monotonie des paysages, en adoptant des dispositions circulaires ou en suivant les lignes de niveau (Dupraz & Liagre, 2008 ; Giambastiani *et al.*, 2023), surtout si la principale activité agricole concerne l'élevage peu ou pas mécanisé.

Les territoires héritiers d'une tradition agroforestière (bocage, pré-verger, *dehesa*, *montado*, *streuobst*...) tendent à revendiquer cet aspect de leur paysage comme une particularité culturelle précieuse, et à le valoriser dans un cadre patrimonial et touristique (Moreno *et al.*, 2018), ainsi que comme image de marque des produits agricoles (cf. § 3.1). La multifonctionnalité de l'agroforesterie (Veldkamp *et al.*, 2023) se révèle donc pleinement à cette échelle du territoire, produisant des retombées économiques positives pour les agriculteurs, mais également un maillage écologique et paysager, qui peut aboutir à la définition d'une identité culturelle locale (Jeanneret *et al.*, 2021).

Conclusion, défis pour la recherche

Les défis posés actuellement à l'élevage biologique sont nombreux, et l'agroforesterie a le potentiel pour en relever un certain nombre. Les SAFEs peuvent rendre les exploitations plus résilientes, en fournissant

des ressources fourragères moins impactées par les aléas climatiques, et en diversifiant les sources de revenus. Les herbivores consomment le couvert végétal des vergers, et en fertilisent le sol. Les arbres peuvent représenter un abri et une ressource médicinale pour les animaux, qui sont eux-mêmes susceptibles de limiter les bioagresseurs des cultures pérennes. Les synergies potentielles entre arbres et animaux sont donc nombreuses, et font résonner fortement l'agroforesterie avec les principes de l'AB : santé, écologie, équité, précaution.

Ces bénéfices connaissent néanmoins de nombreuses limites qui sont autant de défis à relever : les animaux peuvent endommager des arbres précieux, ou être intoxiqués par les produits phytosanitaires. Le potentiel de stockage de carbone de l'agroforesterie appliqué aux prairies permanentes est faible. L'élevage agroforestier peut se heurter à des difficultés organisationnelles, et conduire à multiplier les contraintes et les investissements.

Ces différents aspects de l'agroforesterie en élevage, évoqués tout au long du présent article, sont résumés dans la [figure 7](#) page suivante.

À l'instar de l'AB, l'agroforesterie invite à trouver un point d'équilibre entre performances agronomiques et préservation voire enrichissement de la

biodiversité, du tissu social, du revenu des agriculteurs, etc. Il s'agit alors de piloter finement un système complexe et de tenter de positionner l'agroécosystème sur une série d'optimums productifs et environnementaux. Cela implique une gestion intensive des interactions entre éléments du système, et potentiellement une charge mentale accrue ainsi qu'un investissement temporel et financier dans la conception du système et dans l'acquisition de matériels et de compétences. Des contraintes spécifiques liées à la législation et à l'acceptation sociale sont aussi à prendre en compte.

La recherche scientifique a un rôle à jouer pour produire de nouvelles connaissances dans ce domaine, conduisant à la création d'outils permettant d'améliorer la conception des SAFEs, d'éclairer les prises de décision et de faciliter la formation des agriculteurs et conseillers en agroforesterie. Un approfondissement des connaissances nous semble donc prioritaire dans les domaines suivants :

i) compréhension des mécanismes et identification des effets de seuil, au-delà desquels les synergies sont effectives ou au contraire, des disservices apparaissent ;

ii) rentabilité économique de l'agroforesterie, moteur majeur de son développement ;

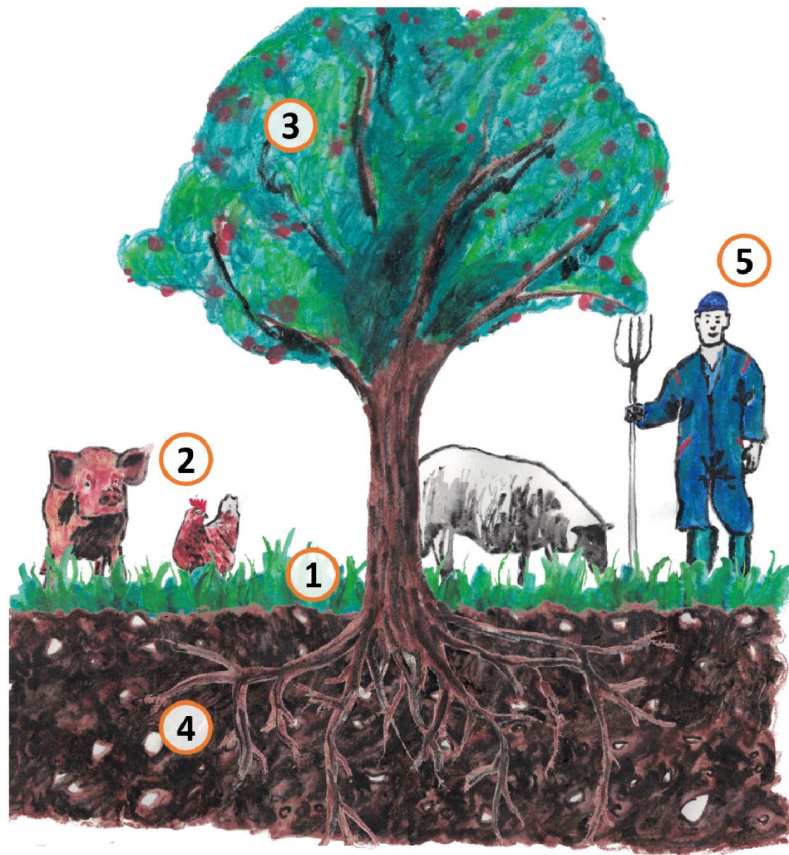
iii) relations des acteurs de l'agriculture agroforestière entre eux, sur les territoires et avec l'ensemble de la société.

L'AB est guidée par des principes forts et adossée à une image de marque très positive, mais elle ne rompt pour l'heure que partiellement la dissociation entre productions animales et végétales qui prévaut depuis la deuxième moitié du XX^e siècle. L'agroforesterie réalise une partie de cette reconnexion, hautement pertinente sur le plan agronomique, mais revêtant aussi une dimension émotionnelle et « philosophique », voire parfois même ésotérique pour les agriculteurs (Foyer *et al.*, 2020). L'élevage a toujours été pensé et pratiqué, jusqu'à une période récente, dans des paysages pourvus d'arbres, et l'agriculture biologique ne saurait se passer de si précieux alliés.

Contribution des auteurs

Coordination, M.T. ; Conceptualisation, M.T., F.D. ; acquisition de fonds, M.T., A.D., B.D., F.D., G.M. et S.B. ; Rédaction - version originale, M.T., G.M., A.D., B.D., F.D., et S.B. ; Rédaction - révision et édition, M.T., S.B., A.D., F.D. et G.M. ; Création, mise en page et adaptation des figures : M.T. Tous les auteurs ont lu et approuvé la version publiée du manuscrit.

Figure 7. Éléments des SAFEs, impliquant des interactions entre animaux, arbres, couvert végétal, sol, et humains (Adapté de Smith et al., 2022) et synergies et limites de l'association des animaux d'élevage avec les arbres.



n°	Élément	Bénéfices/avantages	Contraintes/inconvénients
1	Couvert végétal	Allongement de la saison de production. Maintien de la qualité et quantité de fourrage.	Diminution des légumineuses. Destruction de la strate herbacée : poules, cochons.
2	Animaux	Protection contre le stress thermique, abri contre les intempéries. Valorisation des fourrages arborés et fruits tombés au sol. Limitation de la prédation. Extension de la zone de pâturage explorée, favorisation des comportements naturels. Prophylaxie contre les infestations parasitaires et bactériennes, automédication.	Risques liés aux produits phytosanitaires appliqués sur les arbres. Parasites gastro-intestinaux protégés par l'ombre des arbres et l'irrigation ?
3	Arbres	Fertilisation par les déjections animales. Prophylaxie éventuelle contre campagnol, tavelure, carpocapse, etc.	Surfertilisation possible. Écorçage, abrutissement.
4	Sol et écosystème	Amélioration du recyclage des nutriments. Meilleure infiltration de l'eau en présence d'arbres, réduction de la lixiviation. Accroissement de la biodiversité en lien avec la diversification des habitats. Stockage de carbone dans les systèmes sylvo-arables.	Compaction ; Possible déclin de la biodiversité en cas de surpâturage ou fermeture des milieux. Peu de stockage carbone additionnel par rapport aux prairies naturelles.
5	Humains	Diversification économique et stabilisation du revenu. Gain d'autonomie en fourrages, en matières organiques. flexibilité d'organisation. Lien social cultivateurs-éleveurs et agriculteurs-consommateurs, image de marque. Valeur esthétique et culturelle. Motivation et confort au travail.	Nécessité de formation et d'investissement. Astreinte, besoins spécifiques à chaque atelier. Nuisances liées à la présence des animaux. Contraintes posées par l'arbre sur la mécanisation.

Références

- Andrivon, D., Bardin, M., Bertrand, C., Brun, L., Daire, X., Fabre, F., Gary, C., Montarry, J., Nicot, P.-C., Reignault, P., Tamm, L., & Savini, I. (2019). *Peut-on se passer du cuivre en protection des cultures biologiques?* Éditions Quæ. <https://hal.inrae.fr/hal-02791366>
- Anses (2012). *Avis de l'Anses relatif à « la contamination d'agneaux par du cuivre : éventuelles répercussions sur la qualité sanitaire des viandes et abats qui en sont issus »*, Saisine n° 2012-SA-0270. <https://www.anses.fr/fr/system/files/ERCA2012sa0270.pdf>
- AREFE (2018). *Arbre et élevage : La pratique du pré-verger en Lorraine*. <https://arbele.projet-agroforesterie.net/documents/presentations/ARBELÉArbreetelevagelapartiquedupre-vergerenLorraine.pdf>
- Beillouin, D., Ben-Ari, T., Malezieux, E., Seufert, V., & Makowski, D. (2021). Positive but variable effects of crop diversification on biodiversity and ecosystem services. *Global Change Biology*, 27(19), 4697-4710. <https://doi.org/10.1111/gcb.15747>
- Béral, C., Andueza, D., Ginane, C., Bernard, M., Liagre, F., Girardin, N., ... Rocher, A. (2018). PARASOL : Agroforesterie en système d'élevage ovin – étude de son potentiel dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. <http://www.parasol.projet-agroforesterie.net>
- Béral, C., Guillet, P., & Brun, V. (2014). *Aménagements arborés des parcours de volailles - Guide technique*. <https://www.itavi.asso.fr/publications/guide-technique-amenagement-arbores-des-parcours-de-volailles>
- Béral, C., & Moreau, J. C. (2020). La présence d'arbres intraparcellaires affecte-elle la productivité des prairies permanentes en climat tempéré? *Fourrages*, 242, 9-18. <https://afpf-asso.fr/revue/fourrages-et-agroforesteries?a=2248>
- Bernard, M., Ginane, C., Deiss, V., Emile, J. C., & Novak, S. (2020). Ingestion volontaire et digestibilité in vivo de feuilles de deux essences d'arbres, le frêne commun (*Fraxinus excelsior*) et le mûrier blanc (*Morus alba*). *Fourrages*, 242, 55-59. <https://afpf-asso.fr/revue/fourrages-et-agroforesteries?a=2254>
- Bestman, M., & Bikker-Ouwejan, J. (2020). Predation in organic and free-range egg production. *Animals*, 10(2), 177. <https://doi.org/10.3390/ani10020177>
- Beule, L., Vaupel, A., & Moran-Rodas, V. E. (2022). Abundance, diversity, and function of soil microorganisms in temperate alley-cropping agroforestry systems: A review. *Microorganisms*, 10(3), 616. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030616>
- Boch, S., Bedolla, A., Ecker, K. T., Ginzler, C., Graf, U., Küchler, H., ... Bergamini, A. (2019). Threatened and specialist species suffer from increased wood cover and productivity in Swiss steppes. *Flora*, 258, 151444. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2019.151444>
- Bosshardt, S., Sabatier, R., Dufils, A., & Navarrete, M. (2022). Changing perspectives on chicken-pastured orchards for action: A review based on a heuristic model. *Agricultural Systems*, 196, 103335. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2021.103335>
- Boyer, C. (2022). *Résultats d'essai sur le pâturage de mûriers blancs au Pradel*. JPO, Le Pradel. https://idele.fr/cappradel/?eID=cmis_download&oID=workspace://SpacesStore/18876ed8-1cea-489c-a190-78ae28f0ebc4&cHash=1263981ee4bca9b6295dc17d5408be21
- Brewer, K., & Gaudin, A. (2020). Potential of crop-livestock integration to enhance carbon sequestration and agroecosystem functioning in semi-arid croplands. *Soil Biology and Biochemistry*, 149, 107936. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107936>
- Brewer, K., Muñoz-Araya, M., Martinez, I., Marshall, K., Tiffany, S., & Gaudin, A. (2022). *Carbon sequestration and soil health outcomes in California integrated sheep-vineyard systems*. Davies: UC. https://fibershed.org/wp-content/uploads/2022/06/ISVS-survey_findings_2022.pdf
- Buehrer, K. A., & Grieshop, M. J. (2014). Postharvest grazing of hogs in organic fruit orchards for weed, fruit, and insect pest management. *Organic Agriculture*, 4(3), 223-232. <https://doi.org/10.1007/s13165-014-0076-0>
- Butter, N., Dawson, J., Wakelin, D., & Buttery, P. (2000). Effect of dietary tannin and protein concentration on nematode infection (*Trichostrongylus colubriformis*) in lambs. *The Journal of Agricultural Science*, 134(1), 89-99. <https://doi.org/10.1017/S0021859699007315>
- Clark, M. S., & Gage, S. H. (1996). Effects of free-range chickens and geese on insect pests and weeds in an agroecosystem. *American Journal of Alternative Agriculture*, 11(1), 39 - 47. <https://doi.org/10.1017/S0889189300006718>
- Conrad, L., Hörler, J., Henke, M., Luick, R., & Schoof, N. (2022). Sheep in the vineyard: suitability of different breeds and potential breeding objectives. *Animals*, 12(19), 2575. <https://doi.org/10.3390/ani12192575>
- Contosta, A. R., Asbjornsen, H., Orefice, J., Perry, A., & Smith, R. G. (2022). Climate consequences of temperate forest conversion to open pasture or silvopasture. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 333, 107972. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107972>
- CTIFL (2012). *Guide des bonnes pratiques d'hygiène HACCP pour les fruits et légumes frais non transformés*. <https://www.ctifl.fr/gbph-fruits-et-legumes-frais-non-transformes>
- Cubbage, F., Balmelli, G., Bussoni, A., Noellemeyer, E., Pachas, A. N., Fassola, H., Colcombet, L., Rossner, B., Frey, G., Dube, F., de Silva M.-L., Stevenson, H., Hamilton J., & Hubbard, W. (2012). Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agroforestry Systems*, 86, 303-314. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9482-z>
- Cubillos, A. M., Vallejo, V. E., Arbeli, Z., Terán, W., Dick, R. P., Molina, C. H., Molina, E., Roldan, F. (2016). Effect of the conversion of conventional pasture to intensive silvopastoral systems on edaphic bacterial and ammonia oxidizer communities in Colombia. *European Journal of Soil Biology*, 72, 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2015.12.003>
- Dal Bosco, A., Rosati, A., Paoletti, A., Caporali, S., & Castellini, C. (2014). Effect of range enrichment on performance, behavior, and forage intake of free-range chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 23(2), 137-145. <https://doi.org/10.3382/japr.2013-00814>
- Dasenaki, M. E., Kritikou, A. S., & Thomaidis, N. S. (2023). Meat safety: II Residues and contaminants. *Lawrie's Meat Science*, 2023, 591-626. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85408-5.00007-8>
- De Stefano, A., & Jacobson, M. G. (2018). Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. *Agroforestry Systems*, 92, 285-299. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0147-9>
- DeBruyne, S. A., Feldhake, C. M., Burger, J. A., & Fike, J. H. (2011). Tree effects on forage growth and soil water in an Appalachian silvopasture. *Agroforestry Systems*, 83(2), 189-200. <https://doi.org/10.1007/s10457-011-9376-5>
- Dufils, A. (2017). Associer arbres fruitiers et élevage ovin, une pratique ouverte au plus grand nombre. *Arboriculture Fruitière*, 715, 17-20. <https://hal.inrae.fr/hal-02618739>
- Dufils, A., Trouillard, M., & Bérud, M. (2022). *Le pâturage ovin en verger et le risque cuivre : Expérimentations et recommandations – Fiche technique du projet DÉPASSE n°2*. <https://hal.inrae.fr/hal-03986703>
- Dupraz, C., & Liagre, F. (2008). *Agroforesterie : des arbres et des cultures*. Paris : France Agricole Editions.
- Elbakidze, M., Surová, D., Muñoz-Rojas, J., Persson, J.-O., Dawson, L., Plieninger, T., & Pinto-Correia, T. (2021). Perceived benefits from agroforestry landscapes across North-Eastern Europe : What matters and for whom? *Landscape and Urban Planning*, 209, 104044. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104044>
- Emms, C. (2010). A guide to using sheep for leaf-plucking in the vineyard. <https://www.premier1supplies.com/img/newsletter/09-05-13-sheep/sheep-for-leaf-plucking-booklet.pdf>
- Fahad, S., Chavan, S. B., Chichaghare, A. R., Uthappa, A. R., Kumar, M., Kakade, V., ... Yadav, D. K. (2022). Agroforestry systems for soil health improvement and maintenance. *Sustainability*, 14(22), 14877. <https://doi.org/10.3390/su142214877>
- Ferreira, I. Q., Arrobas, M., Claro, A. M., & Rodrigues, M. (2013). Soil management in rainfed olive orchards may result in conflicting effects on olive production and soil fertility. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(2), 472-480. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013112-3501>

- Ferreiro-Domínguez, N., Rigueiro-Rodríguez, A., Rial-Lovera, K., Romero-Franco, R., & Mosquera-Losada, M. (2016). Effect of grazing on carbon sequestration and tree growth that is developed in a silvopastoral system under wild cherry (*Prunus avium* L.). *Catena*, 142, 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.02.002>
- Foyer, J., Hermesse, J., & Hecquet, C. (2020). Quand les actes agricoles sont au care et au compagnonnage : L'exemple de la biodynamie. *Anthropologica*, 62(1), 93-104. <https://doi.org/10.3138/anth.2018-0103.r1>
- García de Jalón, S., Burgess, P. J., Graves, A., Moreno, G., McAdam, J., Pottier, E., ... Vityi, A. (2018a). How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. *Agroforestry Systems*, 92(4), 829-848. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0116-3>
- García de Jalón, S., Graves, A., Moreno, G., Palma, J. H., Crous-Durán, J., Kay, S., & Burgess, P. J. (2018b). Forage-SAFE: a model for assessing the impact of tree cover on wood pasture profitability. *Ecological Modelling*, 372, 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.01.017>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., ... Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e1afd815-5a76-4b88-beac-fb9bc0e92001/content>
- Germain, K. (2014). Conduite de productions animales dans des couverts complexes. Production de volailles biologiques en parcours prairiaux et arborés. *Innovations Agronomiques*, 40, 125-132. <https://doi.org/10.17180/sb3y-sd91>
- Giambastiani, Y., Biancofiore, G., Mancini, M., Di Giorgio, A., Giusti, R., Cecchi, S., ... Errico, A. (2023). Modelling the effect of keyline practice on soil erosion control. *Land*, 12(1), 100. <https://doi.org/10.3390/land12010100>
- Gill, R. (1992a). A review of damage by mammals in north temperate forests. 2. Small mammals. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 65(3), 281-308. <https://doi.org/10.1093/forestry/65.3.281>
- Gill, R. (1992b). A review of damage by mammals in north temperate forests: 1. Deer. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 65(2), 145-169. <https://doi.org/10.1093/forestry/65.2.145>
- Guerreiro, M. F., Nicodemo, M. L. F., & Porfírio-da-Silva, V. (2015). Vulnerability of ten eucalyptus varieties to predation by cattle in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, 89, 743-749. <https://doi.org/10.1007/s10457-015-9797-7>
- Guittonneau, M., & Pellissier, P. (2023). Pâturage ovin en vergers : Cahier technico-économique. Fiche technique ECORCE n° 1, FiBL France. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10364819>
- Guittonneau, M., Marie, L., Rivoire, C., & Trouillard, M. (2023a). Pâturage ovin en vergers : Abroutissement des arbres fruitiers. Fiche technique ECORCE n°3, FiBL France. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10364183>
- Guittonneau, M., Rivoire, C., & Trouillard, M. (2023b). Pâturage ovin en vergers : Écorçage des arbres fruitiers. Fiche technique ECORCE n° 2, FiBL France. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10301158>
- Hassan, Z. M., Manyelo, T. G., Selaledi, L., & Mabelebele, M. (2020). The effects of tannins in monogastric animals with special reference to alternative feed ingredients. *Molecules*, 25(20), 4680. <https://doi.org/10.3390/molecules25204680>
- Hilaire, C., & Mathieu, V. (2000). Le poulet label, un auxiliaire sélectif. *Infos-CTIFL*, 170.
- Hilimire, K., Gliessman, S. R., & Muramoto, J. (2013). Soil fertility and crop growth under poultry/crop integration. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 28(2), 173-182. <https://doi.org/10.1017/S174217051200021X>
- IFOAM (2005). Principles of Organic Agriculture. https://www.ifoam.bio/sites/default/files/2020-03/poa_english_web.pdf
- INAO (2023). Note de lecture : Matériel de Reproduction Végétal en AB (novembre 2023). <https://extranet.inao.gouv.fr/fichier/Note-GL-2023-MRV.pdf>
- Iqbal, Z., Lateef, M., Jabbar, A., & Gilani, A. (2010). In vivo anthelmintic activity of *Azadirachta indica* A. Juss seeds against gastrointestinal nematodes of sheep. *Veterinary parasitology*, 168(3-4), 342-345. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.11.005>
- Jakobsen, M. (2018). Integrating foraging and agroforestry into organic pig production-environmental and animal benefits [PhD Thesis, Aarhus University]. Retrieved from [https://orgprints.org/id/eprint/33776/7/Endelig%20afhandling_tryk_Malene_Jakobsen_20111406%20\(002\)X.pdf](https://orgprints.org/id/eprint/33776/7/Endelig%20afhandling_tryk_Malene_Jakobsen_20111406%20(002)X.pdf)
- Jakobsen, M., Hermansen, J. E., Andersen, H. M.-L., Jørgensen, U., Labouriau, R., Rasmussen, J., & Kongsted, A. G. (2019). Elimination behavior and soil mineral nitrogen load in an organic system with lactating sows—comparing pasture-based systems with and without access to poplar (*Populus* sp.) trees. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 43(6), 639-661. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1541039>
- Jeanneret, P., Aviron, S., Alignier, A., Lavigne, C., Helfenstein, J., Herzog, F., ... Petit, S. (2021). Agroecology landscapes. *Landscape Ecology*, 36(8), 2235-2257. <https://doi.org/10.1007/s10980-021-01248-0>
- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems*, 76, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Jose, S., & Dollinger, J. (2019). Silvopasture: a sustainable livestock production system. *Agroforestry Systems*, 93, 1-9. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00366-8>
- Jose, S., Walter, D., & Mohan Kumar, B. (2017). Ecological considerations in sustainable silvo-pasture design and management. *Agroforestry Systems*, 93, 317-331. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0065-2>
- Jurjanz, S., Germain, K., Juin, H., & Jondreville, C. (2015). Plant and soil intake by organic broilers reared in tree- or grass-covered plots as determined by means of n-alkanes and of acid-insoluble ash. *Animal*, 9(5), 888-898. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002870>
- Kallenbach, R. L., Kerley, M. S., & Bishop-Hurley, G. J. (2006). Cumulative Forage Production, Forage Quality and Livestock Performance from an Annual Ryegrass and Cereal Rye Mixture in a Pine Walnut Silvopasture. *Agroforestry Systems*, 66(1), 43-53. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-6640-6>
- Karki, U., & Goodman, M. S. (2015). Microclimatic differences between mature loblolly-pine silvopasture and open-pasture. *Agroforestry Systems*, 89, 319-325. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9768-4>
- Keenan, D. (1986). Bark chewing by horses grazed on irrigated pasture. *Australian Veterinary Journal*, 63(7), 234-235. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1986.tb03008.x>
- Kluever, B. M., Breck, S. W., Howery, L. D., Krausman, P. R., & Bergman, D. L. (2008). Vigilance in cattle: the influence of predation, social interactions, and environmental factors. *Rangeland Ecology & Management*, 61(3), 321-328. <https://doi.org/10.2111/07-087.1>
- Knierim, U. (2006). Animal welfare aspects of outdoor runs for laying hens: a review. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences*, 54(2), 133-145. [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(06\)80017-5](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(06)80017-5)
- Kongsted, A. G. (Director). (2022). Animal welfare, environmental and climate impact of organic pig-wil-low silvopastoral [mixed webinar]. Denmark: Aarhus University. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=desktop&v=03_Wr6RralE
- Kurek, T., Todys, J., Pazdrowski, W., Szymański, M., & Łukowski, A. (2019). Intensity of stripping and sugar content in the bark and the bast of European beech (*Fagus sylvatica*). *Open life sciences*, 14(1), 19-28. <https://doi.org/10.1515/biol-2019-0003>
- Laget, E., Guadagnini, M., Plénet, D., Simon, S., Assie, G., Billotte, B., ... Zavagli, F. (2015). *Guide Ecophyto Fruits - Guide pour la conception de systèmes de production fruitière économes en produits phytopharmaceutiques*. GIS Fruits et ministère de l'Agriculture, <https://www.gis-fruits.org/media/files/guide-ecophyto-fruits/guide-ecophyto-fruits-guide-methodologique-ld>
- Lamichhane, J. R., Osdaghi, E., Behlau, F., Köhl, J., Jones, J. B., & Aubertot, J.-N. (2018). Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3), 28. <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0503-9>

- Landau, S., Azaïzeh, H., Muklada, H., Glasser, T., Ungar, E., Baram, H., ... Markovics, A. (2010). Anthelmintic activity of Pistacia lentiscus foliage in two Middle Eastern breeds of goats differing in their propensity to consume tannin-rich browse. *Veterinary parasitology*, 173(3-4), 280-286. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.07.006>
- Lavigne, A., Dumbardon-Martial, E., & Lavigne, C. (2012). Les volailles pour un contrôle biologique des adventices dans les vergers. *Fruits*, 67(5), 341-351. <https://doi.org/10.1051/fruits/2012029>
- Lazcano, C., Gonzalez-Maldonado, N., Yao, E. H., Wong, C. T., Merrilees, J. J., Falcone, M., ... Decock, C. (2022). Sheep grazing as a strategy to manage cover crops in Mediterranean vineyards: Short-term effects on soil C, N and greenhouse gas (N₂O, CH₄, CO₂) emissions. *Agriculture ecosystems & environment*, 327, 107825. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107825>
- Lebret, B. (2008). Effects of feeding and rearing systems on growth, carcass composition and meat quality in pigs. *Animal*, 2(10), 1548-1558. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002796>
- Lisonbee, L. D., Villalba, J. J., Provenza, F. D., & Hall, J. O. (2009). Tannins and self-medication: Implications for sustainable parasite control in herbivores. *Behavioural Processes*, 82(2), 184-189. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2009.06.009>
- López-Sánchez, A., Perea, R., Roig, S., Isselstein, J., & Schmitz, A. (2020). Challenges on the conservation of traditional orchards: Tree damage as an indicator of sustainable grazing. *Journal of environmental management*, 257, 110010. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110010>
- Lyazid, N., Boisvert, B., Ducourtieux, C., Jousseins, C., & Tyssandier, P. (2021). *Un équilibre gagnant/gagnant autour du pâturage ovin en vergers, vignes, céréales*. Chambre d'agriculture de Dordogne, <https://www.inn-ovin.fr/wp-content/uploads/2021/06/Guide-Partenariat-éleveurs-exploitants-2021.pdf>
- Marsden, C., Martin-Chave, A., Cortet, J., Hedde, M., & Capowiez, Y. (2020). How agroforestry systems influence soil fauna and their functions—a review. *Plant and Soil*, 453, 29-44. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04322-4>
- Maupertuis, F., & Desaint, B. (2023). Valorisation parcours et fourrages (SECALIBIO, ECOFEED, VALORAGE) en élevage porcin. https://www.pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Pays_de_la_Loire/022_Inst-Pays-de-la-loire/RUBR-RD-innovation/Agriculture-biologique/Evenements/2023/2023_JR_7_ans_recherche_AB_Atelier_Monogastriques_Presentation_1_valorisation_parcours_porcs.pdf
- Mayer, S., Wiesmeier, M., Sakamoto, E., Hübner, R., Cardinael, R., Kühnel, A., & Kögel-Knabner, I. (2022). Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems – A meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 323, 107689. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107689>
- Mazoyer, M., & Roudart, L. (2017). *Histoire des agricultures du monde. Du néolithique à la crise contemporaine*. Paris : Éditions du Seuil. <https://hal.inrae.fr/hal-02826757>
- Mcadam, J., Sibbald, A., Teklehaimanot, Z., & Eason, W. R. (2007). Developing silvopastoral systems and their effects on diversity of fauna. *Agroforestry Systems*, 70, 81-89. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9047-8>
- Mesbahi, G., & Novak, S. (2022). Rendement, valeur nutritive et appétence des fourrages ligneux. https://rmt-agroforesteries.fr/wp-content/uploads/documents/fiche_patura3d-1.pdf
- Mesbahi, G., Barre, P., Delagarde, R., Bourgoïn, F., Perceau, R., & Novak, S. (2022a). Dynamic of 16 fodder trees' nutritive values from June to October. In: *Agroforestry for the Green Deal transition. Research and innovation towards the sustainable development of agriculture and forestry: 6th European Agroforestry Conference* (pp. 340-342). Nuoro: EURAF. <https://hal.inrae.fr/hal-03683783>
- Mesbahi, G., Jawahir, A., Berthet, M., Ginane, C., Delagarde, R., Chargelègue, F., & Novak, S. (2022b). *Rethinking grasslands in 3D: feeding preferences of dairy cows between temperate fodder trees*. 29th Meeting of the European Grassland Federation, Caen. <https://hal.inrae.fr/hal-03744539>
- Mohamed, M. (2015). L'intégration agriculture-élevage entre exploitations spécialisées pour alimenter les troupeaux méditerranéens ovins en France. [Mémoire de fin d'études, ISTOM]. https://climed.cirad.fr/content/download/4531/32834/version/2/file/MFE_madiha_mohamed_novembre2015.pdf
- Moraine, M., Therond, O., Leterme, P., & Duru, M. (2012). Un cadre conceptuel pour l'intégration agroécologique de systèmes combinant culture et élevage. *Innovations Agronomiques*, 22, 101-115. <https://doi.org/10.17180/7thh-f276>
- Moraine, M., Grimaldi, J., Murgue, C., Duru, M., & Therond, O. (2016). Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level. *Agricultural Systems*, 147, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.06.002>
- Moreno, G., Aviron, S., Berg, S., Crous-Duran, J., Franca, A., de Jalón, S. G., ... Palma, J. H. (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>
- Mupepele, A.-C., Keller, M., & Dormann, C. F. (2021). European agroforestry has no unequivocal effect on biodiversity: a time-cumulative meta-analysis. *BMC Ecology and Evolution*, 21(1), 193. <https://doi.org/10.1186/s12862-021-01911-9>
- Mupeyo, B., Barry, T. N., Pomroy, W. E., Ramírez-Restrepo, C. A., López-Villalobos, N., & Pernthaner, A. (2011). Effects of feeding willow (*Salix* spp.) upon death of established parasites and parasite fecundity. *Animal Feed Science and Technology*, 164(1), 8-20. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.11.015>
- Musonda, K., Barry, T. N., McWilliam, E. L., Lopez-Villalobos, N., & Pomroy, W. E. (2009). Grazing willow (*Salix* spp.) fodder blocks for increased reproductive rates and internal parasite control in mated hoggets. *Animal Feed Science and Technology*, 150(1), 46-61. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.08.003>
- Napoleone, M., Gravas, O., Rouquette, A., Cittadini, R., & Campoy, E. (2022). L'intégration culture-élevage à l'échelle régionale : Le projet Fricato en Pyrénées Orientales. In M. Barbier, C. Lamine & N. Couix (Coord.), *Pratiques et savoirs agricoles dans la transition agroécologique* (pp. 225-242). Paris : Éditions des archives contemporaines. <https://doi.org/10.17184/eac.3048>
- National Research Council (2005). *Mineral Tolerance of Animals*. Washington: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11309>
- Nichols, E., Spector, S., Louzada, J., Larsen, T., Amezcua, S., Favila, M., & Network, T. S. R. (2008). Ecological functions and ecosystem services provided by Scarabaeinae dung beetles. *Biological Conservation*, 141(6), 1461-1474. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.04.011>
- Nicodemo, M. L. F., & Porfirio-da-Silva, V. (2019). Bark stripping by cattle in silvopastoral systems. *Agroforestry Systems*, 93, 305-315. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0185-y>
- Novak, S., Barre, P., Delagarde, R., Mahieu, S., Niderkorn, V., & Emile, J. C. (2020a). Composition chimique et digestibilité *in vitro* des feuilles d'arbre, d'arbuste et de liane des milieux tempérés en été. *Fourrages*, 242, 35-47. <https://hal.inrae.fr/hal-02913155>
- Novak, S., Chargelègue, F., Chargelègue, J., Audebert, G., Liagre, F., & Fichet, S. (2020b). Premiers retours d'expérience sur les dispositifs agroforestiers intégrés dans le système laitier expérimental OasYs. *Fourrages*, 242, 71-78. <https://hal.inrae.fr/hal-03147342>
- Nunn, L., Embree, C. G., Hebb, D., Bishop, S. D., & Nichols, D. (2007). *Rotationally grazing hogs for orchard floor management in organic apple orchards*. International Symposium on Organic Apple and Pear, Wolfville. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.737.9>
- Pasipanodya, C. N., Tekedza, T. T., Chatiza, F. P., & Gororo, E. (2021). Efficacy of neem (*Azadirachta indica*) aqueous fruit extracts against *Sarcoptes scabiei* var. *suis* in grower pigs. *Tropical Animal Health and Production*, 53, 135. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11250-020-02545-7>
- Paut, R., Dufils, A., Derbez, F., Dossin, A.-L., & Penvern, S. (2021). Orchard grazing in France: multiple forms of fruit tree–livestock integration in line with farmers' objectives and constraints. *Forests*, 12(10), 1339. <https://doi.org/10.3390/f12101339>
- Pent, G. J. (2020). Over-yielding in temperate silvopastures: a meta-analysis. *Agroforestry Systems*, 94(5), 1741-1758. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00494-6>

- Poudel, S., Bansal, S., Podder, S., Paneru, B., Karki, S., Fike, J., & Kumar, S. (2022). Conversion of open pasture to hardwood silvopasture enhanced soil health of an ultisol. *Agroforestry Systems*, 96(8), 1237-1247. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00783-2>
- Pype, S., & Venineau-Delvalle, C. (2016). *Introduction d'un troupeau de brebis Shropshire dans les vergers basses tiges*. Portrait d'éleveur innovant INOSYS Réseaux d'élevage, Idele. https://rd-agri.fr/detail/DOCUMENT/idele_970
- Ramírez-Restrepo, C., Barry, T., Marriner, A., López-Villalobos, N., McWilliam, E., Lassey, K., & Clark, H. (2010). Effects of grazing willow fodder blocks upon methane production and blood composition in young sheep. *Animal Feed Science and Technology*, 155(1), 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2009.10.003>
- Rasmussen, P. (1989). Leaf-foddering of Livestock in the Neolithic: Archaeobotanical Evidence from Weier, Switzerland. *Journal of Danish Archaeology*, 8(1), 51-71. <https://doi.org/10.1080/0108464X.1989.10590019>
- Reidsma, P., Tekelenburg, T., Van den Berg, M., & Alkemade, R. (2006). Impacts of land-use change on biodiversity: An assessment of agricultural biodiversity in the European Union. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 114(1), 86-102. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.026>
- Riffard, L., & Liagre, F. (2023). *Pâturage ovin en vergers : État des lieux réglementaire et juridique*. Fiche technique ECORCE n°5, FiBL France. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10364922>
- Rocchi, L., Paolotti, L., Rosati, A., Boggia, A., & Castellini, C. (2019). Assessing the sustainability of different poultry production systems: A multicriteria approach. *Journal of cleaner production*, 211, 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.013>
- Rosati, A., Borek, R., & Canali, S. (2021). Agroforestry and organic agriculture. *Agroforestry Systems*, 95, 805-821. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00559-6>
- Savietto, D. (2023). Projet LAPOESIE: Le lapin, le pommier et les bénéfiques écosystémiques interspécifiques. <https://metabio.hub.inrae.fr/thematiques/conception-de-systemes-multi-performants/lapoesie-projet-exploratoire-2020-2022>
- Schlink, A., Nguyen, M., & Viljoen, G. (2010). Water requirements for livestock production: a global perspective. *Revue Scientifique et Technique*, 29(3), 603-619. <https://doi.org/10.20506/rst.29.3.1999>
- Shakesby, R., Coelho, C., Schnabel, S., Keizer, J., Clarke, M., Lavado Contador, J., ... Doerr, S. (2002). A ranking methodology for assessing relative erosion risk and its application to dehesas and montados in Spain and Portugal. *Land Degradation & Development*, 13(2), 129-140. <https://doi.org/10.1002/ldr.488>
- Sharrow, S. H. (2007). Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. *Agroforestry Systems*, 71, 215-223. <https://doi.org/10.1007/s10457-007-9083-4>
- Smith, M. M., Bentrup, G., Kellerman, T., MacFarland, K., Straight, R., Ameyaw, L., & Stein, S. (2022). Silvopasture in the USA: A systematic review of natural resource professional and producer-reported benefits, challenges, and management activities. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 326, 107818. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107818>
- Solagro (2016). *Reintroduire le pâturage dans les cultures pérennes enherbées*. Osaé. Retrieved from <https://osez-agroecologie.org/reintroduire-le-paturage-dans-les-cultures-perennes-enherbees>
- SSBA (2017). Two Crops from One Acre - A comprehensive guide to using Shropshire Sheep for grazing tree plantations. The Shropshire Sheep Breeders' Association, https://www.shropshire-sheep.co.uk/wp-content/uploads/2021/12/Two_Crops_from_One_Acre_Third-edition.pdf
- Stahl, P., Ruetter, S., & Gros, L. (2002). Predation on free-ranging poultry by mammalian and avian predators: field loss estimates in a French rural area. *Mammal review*, 32(3), 227-234. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2907.2002.00110.x>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales, M., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*, FAO, <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/a0701e>
- Suttle, N. (2010). Copper. In: N. Suttle (Ed), *Mineral nutrition of livestock* (pp. 255-305). Wallingford: CAB. <https://doi.org/10.1079/9781845934729.0000>
- Terranova, M., Eggenschwiler, L., Ortmann, S., Claus, M., Kreuzer, M., & Schwarm, A. (2021). Increasing the proportion of hazel leaves in the diet of dairy cows reduced methane yield and excretion of nitrogen in volatile form, but not milk yield. *Animal Feed Science and Technology*, 276, 114790. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114790>
- Timmermans, B., & Bestman, M. (2016). *Quality of apple trees and apples in poultry free range areas*. 3rd European Agroforestry Conference, Montpellier. <https://www.louis-bolk.nl/sites/default/files/publication/pdf/3147.pdf>
- Torralba, M. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 230, 150-161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>
- Trouillard, M., Lèbre, A., & Heckendorn, F. (2021). Grazing sheep in organic vineyards: an on-farm study about risk of chronic copper poisoning. *Sustainability*, 13(22), 12860. <https://doi.org/10.3390/su132212860>
- Trouillard, M., Bouy, M., Constancis, C., & Heckendorn, F. (2023). *Pâturage ovin en vergers : Risque d'intoxication au cuivre*. Fiche technique ECORCE n°4, FiBL France. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10346056>
- Udawatta, R. P., Garrett, H. E., & Kallenbach, R. (2011). Agroforestry buffers for nonpoint source pollution reductions from agricultural watersheds. *Journal of Environmental Quality*, 40(3), 800-806. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0168>
- Vandermeulen, S., Ramírez-Restrepo, C. A., Marche, C., Decruyenaere, V., Beckers, Y., & Bindelle, J. (2018). Behaviour and browse species selectivity of heifers grazing in a temperate silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, 92(3), 705-716. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0041-x>
- Veldkamp, E., Schmidt, M., Markwitz, C., Beule, L., Beuschel, R., Biertümpfel, A., ... Göbel, L. (2023). Multifunctionality of temperate alley-cropping agroforestry outperforms open cropland and grassland. *Nature Communications Earth & Environment*, 4(1), 20. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-00680-1>
- Villalba, J. J., Miller, J., Ungar, E. D., Landau, S. Y., & Glendinning, J. (2014). Ruminant self-medication against gastrointestinal nematodes: evidence, mechanism, and origins. *Parasite*, 21, 31. <https://doi.org/10.1051/parasite/2014032>
- Wilson, L. M., & Hardesty, L. H. (2006). Targeted grazing with sheep and goats in orchard settings. In K. Launchbaugh (Ed.), *Targeted grazing: A natural approach to vegetation management and landscape enhancement* (pp. 99-106). Englewood: American Sheep Industry Association. <https://www.webpages.uidaho.edu/rx-grazing/handbook/asitargetgrazing-book2006.pdf>
- Witt, A. R., Little, R. M., & Crowe, T. M. (1995). The effectiveness of helmeted guineafowl *Numida meleagris* (Linnaeus 1766) in controlling the banded fruit weevil *Phlyctinus collosus* (Schönherr 1826), and their impact on other invertebrates in apple orchards in the Western Cape Province, South Africa. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 55(3), 169-179. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(95\)00626-4](https://doi.org/10.1016/0167-8809(95)00626-4)
- Zhu, X., Liu, W., Chen, J., Bruijnzeel, L. A., Mao, Z., Yang, X., ... Seitz, S. (2020). Reductions in water, soil and nutrient losses and pesticide pollution in agroforestry practices: a review of evidence and processes. *Plant and Soil*, 453, 45-86. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04377-3>

Résumé

La philosophie de l'agriculture biologique implique que les pratiques agricoles s'inspirent des mécanismes naturels de développement du vivant. À ce titre, la déconnexion des productions animales et végétales opérée depuis la deuxième moitié du XXe siècle entrave la fourniture de nombreux services écosystémiques, et fragilise les exploitations qui prennent la décision de renoncer à certains aspects de la « modernisation » agricole.

Dans cette optique, l'agroforesterie présente un fort potentiel pour accompagner le développement de l'élevage biologique. Cette pratique agroécologique consiste à faire coexister des arbres avec une ou plusieurs autres productions agricoles : en créant des hétérogénéités à l'échelle de la parcelle et du territoire, l'association arbres/animaux augmente la diversité des plantes fourragères, génère des habitats pour la biodiversité, stimule le fonctionnement des sols, et favorise le bien-être et la santé des animaux. Elle permet aussi de stabiliser les exploitations sur le plan économique, et d'améliorer l'image de l'élevage auprès des citoyens et consommateurs.

L'agroforesterie implique une complexification du système productif, multipliant ainsi les éléments qui le constituent et leurs interactions. De ce fait, elle se heurte à certaines difficultés potentielles de conception, pilotage et gestion, nécessitant l'acquisition de connaissances et de compétences, et la production de nouveaux référentiels.

À partir d'une synthèse bibliographique, cet article explore les bénéfices et limites de l'agroforesterie dans les systèmes d'élevage en régions tempérées, en adoptant le double point de vue du pâturage en zones arborées, et des cultures pérennes (arbres fruitiers, vignes) ou sylvicoles accueillant des animaux.

Abstract

Agroforestry: benefits and considerations to meet the challenges of organic livestock production

In organic agriculture, farmers' practices are inspired by natural mechanisms that allow life to thrive. In contrast, the modernization process undergone by agriculture in developed countries since the mid-20th century disconnected animal and vegetal productions, impeding the realization of many ecosystem services, and weakening the sustainability of many farms.

Agroforestry, an agroecological practice that consists in integrating trees to one or more agricultural production, shows a potential for limiting those drawbacks in animal husbandry. Indeed, the association of trees with animals generates heterogeneities at farm and landscape scales, which creates habitats for biodiversity, stimulates soil functions, and favors animal welfare and health. It also helps achieve farm economic sustainability, and improves the citizens' and consumers' view of animal production.

Agroforestry makes the farming systems more complex, meaning that its elements become more numerous and intricate. To achieve maximal performance, these systems therefore require suitable design as well as fine tuning and management, raising the need for additional competencies and novel knowledge production.

This article reviews the available scientific literature about the benefits and drawbacks of agroforestry for animal husbandry ("silvopastoralism") in temperate areas, for both animal farming under trees, and perennial crops (fruit and forest trees, wines) welcoming grazing animals.

TROUILLARD, M., BOSSHARDT, S., DERBEZ, F., DESAINT, B., DUFILS, A., & MESBAHI, G. (2024). L'agroforesterie : atouts et points de vigilance pour répondre aux défis de l'élevage bio. Dans : F. Médale, S. Penvern & N. Bareille (Coord.), *Numéro spécial : L'élevage biologique : conditions et potentiel de développement*, INRAE Productions Animales, 37(2), 7468.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2024.37.2.7468>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>

La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI en respectant les informations figurant ci-dessus.