

ÉTAT DES LIEUX DE L'AGRIVOLTAÏSME APPLIQUÉ À L'ÉLEVAGE DES RUMINANTS

Mise en situation

Les projets de centrales agrivoltaïques se sont fortement développés au cours des dernières années en France. Les filières et le Gouvernement s'organisent pour construire le cadre de cette activité. Les retours d'expérience permettent d'établir des tendances concernant l'impact des panneaux solaires sur le système agricole. Mais l'avenir de l'agrivoltaïsme est encore en train de s'écrire.

Résumé

D'ici à 2035, l'objectif est d'atteindre 100 GWc de puissance photovoltaïque (PV) installée en France. Bien que les toitures, parkings, friches industrielles et espaces dégradés soient favorisés, la mise en place de projets agrivoltaïques semble un levier pertinent pour parvenir à cet objectif à temps. Récemment, la législation a encadré le développement des projets agrivoltaïques afin que la production agricole reste significative sur les parcelles concernées. Pour cela, un projet doit être réversible, apporter des services à l'agriculture et maintenir le revenu issu de la production agricole. Pour l'élevage de ruminants, le projet agrivoltaïque doit maintenir au moins 90% du rendement historique de la parcelle et du chargement animal de l'exploitation.

Ces nouveaux critères amèneront probablement des changements sur la conception des centrales. En effet, les premières références montrent des résultats divergents sur la capacité à maintenir la production fourragère selon les territoires et les structures photovoltaïques utilisées. L'ombre apporte par ailleurs des modifications de composition de la flore des prairies. La valeur alimentaire du fourrage, notamment les fibres et la teneur en protéines, évolue également selon la part d'ombre, en lien avec le stade de développement. Du point de vue du bien-être animal, ces nouvelles conditions de milieu représentent un intérêt pour la gestion du stress thermique des animaux. Cependant, la part d'ombre évolue fortement spatialement et temporellement, créant de l'hétérogénéité au sein de la parcelle. Les adaptations techniques sont nombreuses et les références restent encore à construire. Nous proposons dans cet article un état des lieux de l'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants.

Summary

The current state of agrivoltaics applied to ruminant farming

By 2035, the objective is to reach 100 GWp of photovoltaic (PV) power installed in France. Although roofs, car parks, brownfield sites and degraded areas are favoured, the implementation of agrivoltaic projects seems to be a relevant lever to achieve this objective on time. Recently, legislation has regulated the development of agrivoltaic projects so that agricultural production remains significant on the plots concerned. To do this, a project must be reversible, provide services to agriculture and maintain the income from agricultural production. For ruminant farming, the agrivoltaic project must maintain at least 90% of the historical yield of the plot and the animal load of the farm. These new criteria will probably lead to changes in the design of the power plants. Indeed, the first references show divergent results on the capacity to maintain fodder production depending on the territories and the photovoltaic structures used. Shade also brings changes in the composition of meadow flora. The nutritional value of fodder, particularly fiber and protein content, also changes according to the amount of shade, in relation to the stage of development. From an animal welfare perspective, these new environmental conditions are of interest for managing heat stress in animals. However, the amount of shade changes significantly spatially and temporally, creating heterogeneity within the plot. There are many technical adaptations and references have yet to be built. In this article, we provide an overview of agrivoltaics applied to ruminant farming.

Auteurs

Fradin J., d'Azemar M.¹

¹IDELE

Auteur correspondant:

Julien.fradin@idele.fr

Mots clés

Agrivoltaïsme, élevage, ruminants

Key words

Agrivoltaics, livestock, ruminants

Références de l'article

Fradin J., d'Azemar M. (2025). État des lieux de l'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants, (2025), *Fourrages* 262, Pages. 65-75.

Article accepté pour publication le 17 avril 2025

Introduction et contexte

En 2019, la loi « Energie-climat » a fixé un objectif ambitieux pour la France : atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050. Le développement des énergies renouvelables et notamment la production d'énergie photovoltaïque (PV) est un des axes identifiés pour atteindre ces objectifs. En effet, dans le cadre de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) de 2018, il est prévu de multiplier par 3 ou 4 les capacités photovoltaïques installées d'ici 2028, pour atteindre une production de 35 à 45 GW/an. Pour répondre à ces objectifs, le photovoltaïsme sur les toitures et les centrales photovoltaïques au sol, déployées sur les parkings ou terrains dégradés, restent une priorité mais ne seront pas suffisants, en raison de problèmes de disponibilité et d'adaptation de ces surfaces. Dans ce contexte, la loi « Energie-Climat » a ouvert l'accès des centrales photovoltaïques aux terres agricoles, jusque-là très limité, en mettant en avant une synergie entre les deux activités et faisant ainsi émerger une nouvelle filière : l'agrivoltaïsme (Crestey *et al.*, 2021). Dans le cadre de la stratégie française sur l'énergie et le climat mise en consultation fin 2024, l'Etat va encore plus loin et fixe un objectif de 75 à 100 GW de capacité photovoltaïque installée pour 2035. L'agrivoltaïsme aura probablement une place centrale dans l'atteinte de ces objectifs.

En 2019, les acteurs des secteurs de l'énergie et de l'agriculture se sont organisés pour répondre aux nombreuses questions inhérentes au développement de l'agrivoltaïsme. Plusieurs acteurs (Ademe, FNO, chambres d'agriculture) ont publié des études, guides et chartes pour encadrer cette pratique. Depuis 2023, l'agrivoltaïsme est encadré par la loi relative à l'accélération des énergies renouvelables du 10 mars 2023 et par son décret d'application et arrêté ministériel. Les centrales agrivoltaïques doivent désormais respecter des critères, pour assurer le maintien des rendements et des revenus issus des productions agricoles. Mais au-delà des exigences du décret, les questions autour de la mise en œuvre de l'agrivoltaïsme persistent et les points de vigilance concernant les effets induits de l'agrivoltaïsme (réduction de la production agricole, augmentation du prix du foncier) sont encore questionnés par les filières. L'élevage de ruminants est particulièrement concerné par ces sujets. En effet, pour répondre aux objectifs de rentabilité des centrales agrivoltaïques, les projets se sont initialement orientés vers l'élevage ovin allaitant. Aujourd'hui, l'agrivoltaïsme se diversifie vers d'autres filières, notamment la filière bovine, induisant de nouvelles interrogations (adaptation des technologies, impacts sur les animaux). À travers cet article, nous proposons un état des lieux de l'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants.

1. Elevage et agrivoltaïsme, un couplage gagnant-gagnant ?

Sur le principe, les installations agrivoltaïques couplées à l'élevage de ruminants peuvent présenter des synergies et des bénéfices intéressants pour les différents acteurs impliqués. Pour les

développeurs, la coactivité avec l'élevage permet tout d'abord d'accéder à des surfaces agricoles tout en préservant leur nature première de production agricole. La gestion de la végétation, habituellement réalisée mécaniquement dans les projets de PV au sol est, dans les projets d'agrivoltaïsme, assurée par des animaux en production. Cela i) réduit le coût et les impacts écologiques de l'entretien, ii) minimise le risque de dommages sur les équipements (jet de pierres...), et iii) permet de maintenir un revenu agricole sur ces terres. La présence régulière de l'éleveur permet, en complément de la surveillance de son troupeau, d'assurer une surveillance du parc, permettant de signaler à l'exploitant de la centrale des dysfonctionnements. Pour les éleveurs, les centrales photovoltaïques peuvent représenter des nouvelles opportunités de pâturage dans un contexte où des tensions sur les ressources fourragères se font de plus en plus présentes, contribuant ainsi à l'autonomie fourragère et à la résilience des élevages. L'utilisation de surfaces clôturées peut en outre permettre à des éleveurs pratiquant la garde de réduire leur charge de travail voire le coût de main d'œuvre lié à la garde du troupeau. L'entretien des clôtures étant de la responsabilité du gestionnaire de la centrale, l'éleveur se voit déchargé de cette activité coûteuse et chronophage. Les clôtures sécurisées offrent de plus une tranquillité d'esprit à l'éleveur dans un contexte de prédation de plus en plus prégnant. Enfin, la rémunération de l'entretien du parc photovoltaïque par du pâturage permet la diversification et la sécurisation des revenus dans une filière d'élevage en difficulté. La consolidation des revenus peut sécuriser des projets d'installation, renforcer des élevages en activité dans leur développement ou encore faciliter la transmission (dans le cadre d'une transmission, l'accès au foncier pour le nouvel installé peut être facilité par le fait que le propriétaire n'aura pas d'intérêt à vendre son foncier et cherchera donc plutôt à le louer). Pour le troupeau, les infrastructures photovoltaïques peuvent représenter un abri en cas de fortes chaleurs, de vent froid ou d'intempéries (Crestey *et al.*, 2021).

Cependant, ce couplage entre production agricole et production d'énergie peut présenter certains risques, limitant toujours aujourd'hui le développement de l'agrivoltaïsme. Dans un premier temps, l'agrivoltaïsme doit rester un équilibre entre production d'énergie et production agricole, sans que l'un pénalise l'autre, pour que chaque filière trouve son intérêt. Le montage juridique des centrales, avec la signature d'un bail emphytéotique entre le développeur et le propriétaire de la parcelle, ne doit pas modifier les conditions d'accès voire pénaliser l'accès au foncier par les agriculteurs. Aussi, la manne financière doit être justement répartie entre tous les acteurs du projet, sans que les revenus perçus par l'agriculteur l'incitent à réduire sa production agricole. Enfin, la durée d'exploitation d'une centrale agrivoltaïque, comprise entre 40 et 50 ans, et le manque de retour d'expérience, posent de nombreuses questions, notamment concernant les aléas de gestion (transmission, changement de système d'élevage ou de production), les non-respects des engagements en termes de maintien de l'activité agricole, les impacts à terme sur la production

fourragère, notamment dans un contexte de changement climatique, la destination finale du foncier agricole avec un risque d'artificialisation des terres agricoles.

Pour répondre à ces questions, l'encadrement réglementaire et technique des centrales agrivoltaïques ont permis de préciser les conditions de mises en œuvre de l'agrivoltaïsme, afin de bénéficier des opportunités tout en se prémunissant des menaces.

2. Encadrement réglementaire de l'agrivoltaïsme en France

2.1. Cadre législatif de l'agrivoltaïsme

L'agrivoltaïsme est encadré par la loi du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables, le décret d'application du 9 avril 2024 et l'arrêté ministériel du 5 juillet 2024.

À ce titre, une installation agrivoltaïque est une installation de production d'électricité photovoltaïque dont les modules sont situés sur une parcelle agricole. Cette parcelle agricole est définie comme un périmètre présentant des caractéristiques agricoles homogènes, supportant un projet d'installation agrivoltaïque et déterminé par les limites physiques d'une implantation continue de panneaux. Elle est donc à différencier de la surface clôturée de la centrale, qui intègre la surface agricole autour du périmètre de panneaux continu (figure 1).

Toute installation agrivoltaïque doit :

- Garantir une production agricole principale et significative ainsi qu'un revenu durable issu de cette production agricole ;
- Être réversible ;
- Apporter au moins l'un des services suivants :
 - L'amélioration du potentiel et de l'impact agronomiques ;
 - L'adaptation au changement climatique ;
 - La protection contre les aléas ;
 - L'amélioration du bien-être animal.

Ces trois textes de loi ont permis de clarifier la notion de services à fournir par une installation agrivoltaïque (tableau 1) et définir les critères et seuils à respecter, avec des spécificités pour l'élevage de ruminants (tableau 2). À ce jour, le cadre législatif de l'agrivoltaïsme doit être complété par d'autres arrêtés, qui permettront de préciser la grille de lecture du décret, notamment en termes de règles de calcul.

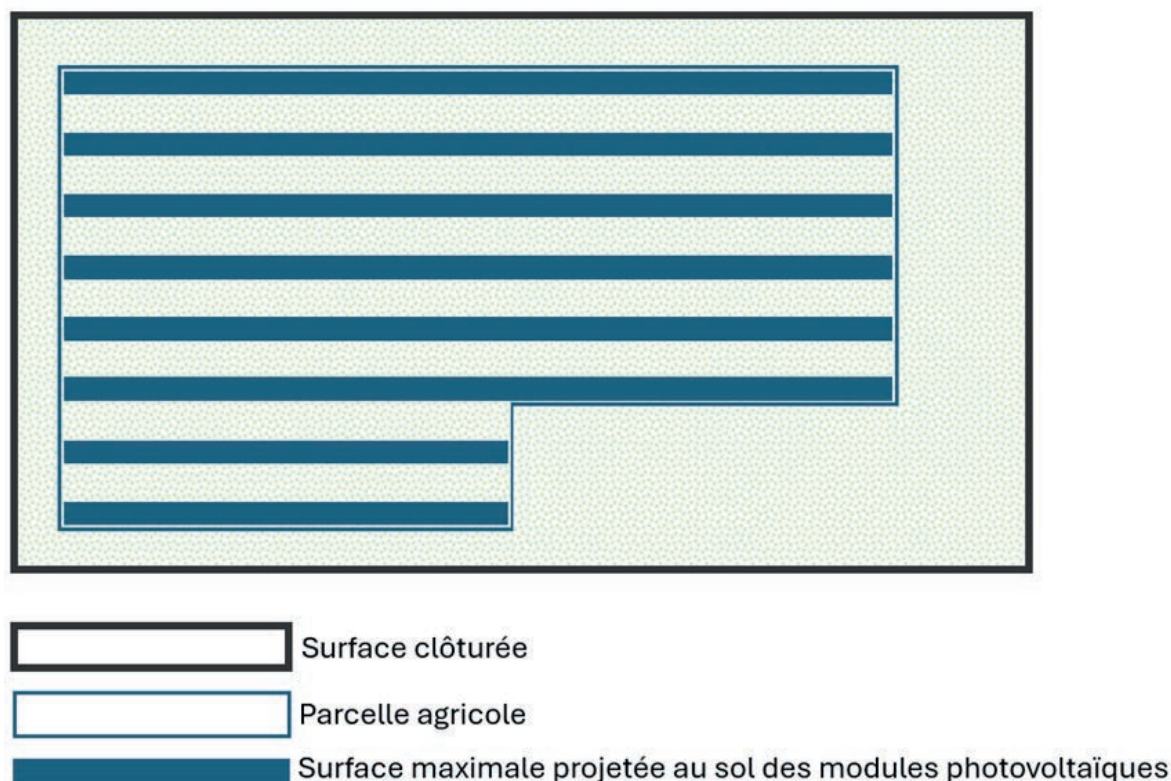


Figure 1 : représentation schématisée d'une centrale agrivoltaïque

Tableau 1 : les services attendus par l'agrivoltaïsme (decret d'application du 9 avril 2024)

Services	Définition
Amélioration du potentiel et de l'impact agronomiques	- Amélioration des qualités agronomiques du sol. - Augmentation du rendement de la production agricole ou maintien de ce rendement ou réduction de la baisse tendancielle du rendement observée localement. - Remise en activité agricole ou pastorale d'un terrain agricole inexploité depuis plus de cinq années.
Adaptation au changement climatique (CC)	- Limitation des effets néfastes du changement climatique, se traduisant par une augmentation du rendement de la production agricole ou par la réduction ou le maintien de la réduction tendancielle du rendement observée localement ou par une amélioration de la qualité de la production agricole. - La limitation des effets néfastes s'apprécie par l'observation de l'un des effets adaptatifs suivant : • En termes d'impact thermique, par la fonction de régulation thermique de la structure en cas de canicule ou de gel précoce ou tardif ; • En termes d'impact hydrique, par la limitation du stress hydrique des cultures ou des prairies, l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau par irrigation ou la diminution de l'évapotranspiration des plantes ou de l'évaporation des sols, et par un confort hydrique amélioré • En termes d'impact radiatif, par la limitation des excès de rayonnement direct conduisant notamment à une protection contre les brûlures foliaires.
Protection contre les aléas	Protection apportée par les modules agrivoltaïques contre au moins une forme d'aléa météorologique, ponctuel et exogène à la conduite de l'exploitation, faisant peser un risque sur la quantité ou la qualité de la production agricole.
Amélioration du bien-être animal.	- Amélioration du confort thermique des animaux, démontrable par l'observation d'une diminution des températures dans les espaces accessibles aux animaux à l'abri des modules photovoltaïques. - Apport de services ou de structures améliorant les conditions de vie des animaux.

Tableau 2 : critères et seuils de l'agrivoltaïsme en élevage de ruminants

Critère	Indicateur	Seuil
Production agricole significative	Production de biomasse fourragère (mesurée à l'échelle de la parcelle) et le taux de chargement (mesuré à l'échelle de la surface accessible aux animaux).	> 90% Moyenne olympique sur 5 ans (en enlevant la meilleure et la pire) par rapport à un référentiel local dans le cas des prairies pâturées ou à une zone témoin (pas obligatoire).
Revenu agricole durable	La moyenne des revenus issus de la vente des productions végétales et animales de l'exploitation agricole avant/après l'implantation de l'installation agrivoltaïque.	Maintien ou hausse Moyenne olympique sur 5 ans (en enlevant la meilleure et la pire) par rapport aux résultats avant-projet de l'exploitation ou à un référentiel local.
Production agricole principale	- Superficie non exploitable du fait de l'installation agrivoltaïque.	< 10%
	- Taux de couverture par les panneaux	< 40%

2.2. Des groupes de travail, guides et chartes pour encadrer la pratique de l'agrivoltaïsme

Le sujet de l'agrivoltaïsme rassemble de nombreux acteurs sous la forme de groupes de travail qui, au-delà du cadre législatif, s'organisent pour formuler des recommandations sur les pratiques agrivoltaïques.

Du côté des filières des énergies renouvelables, l'Ademe a réalisé en 2021 une étude approfondie pour améliorer l'évaluation des projets photovoltaïques sur les terrains agricoles et construire un guide pour accompagner et faciliter la réalisation de projets d'agrivoltaïsme. La Plateforme Verte (association professionnelle dédiée à la transition énergétique créée en 2018) propose depuis 2022 le guide « plateforme pour un agrivoltaïsme vertueux », rédigé par un groupe de travail dédié à l'agrivoltaïsme et portant une vision opérationnelle et interdisciplinaire de la question. Enfin, France agrivoltaïsme, association regroupant les acteurs de la filière agrivoltaïque et dont l'objectif est la défense et la promotion d'un agrivoltaïsme équitable et responsable, a publié, en juillet 2023, le guide des bonnes pratiques RSE de l'agrivoltaïsme.

Du côté des filières agricoles, la Fédération Nationale Ovine a été précurseur en rédigeant dès 2020, avec l'entreprise NEOEN, une « charte pour le développement de projets agrivoltaïques ovins vertueux », mise à jour une première fois en 2022 puis à nouveau en novembre 2024. L'objectif de cette charte est de porter à la connaissance des acteurs du monde agricole et des énergies renouvelables la vision de l'agrivoltaïsme de la FNO, appliquée à l'élevage ovin et de définir un cadre à partager et à adapter aux contextes des projets. En parallèle, l'institut de l'élevage a rédigé le guide de « l'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants », un guide pratique pour accompagner les gestionnaires et les éleveurs dans leurs projets d'agrivoltaïsme. En parallèle, l'institut de l'élevage a rédigé en 2021 le guide de « l'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants », un guide pratique pour accompagner les gestionnaires et les éleveurs dans leurs projets d'agrivoltaïsme. Une version mise à jour du guide doit être publiée en 2025.

En 2021, Chambres d'Agriculture France et la FNSEA (organismes représentant des agriculteurs) et EDF Renouvelables, développeur et producteur d'énergie solaire et éolienne, ont signé une charte pour développer et mieux encadrer les projets photovoltaïques au sol sur les terres agricoles. Plus localement, les institutions (Chambres d'Agriculture, Direction Départementales des Territoires [et de la Mer]) se sont progressivement approprié le sujet, en rédigeant des chartes locales, permettant d'adapter le déploiement de l'agrivoltaïsme aux spécificités des territoires.

À l'échelle européenne, le Copa (Comité des organisations professionnelles agricoles) - Cogeca (Confédération générale des coopératives agricoles) a publié le 16 janvier 2025 les « réflexions préliminaires concernant les équipements solaires photovoltaïques en agriculture et sylviculture », proposant ainsi les bases d'un encadrement européen de l'agrivoltaïsme.

Outre ces différentes chartes, des initiatives collectives ont émergé au cours des dernières années. Dans la continuité de l'étude réalisée en 2021, l'Ademe teste actuellement une méthode d'évaluation des projets agrivoltaïques dans cinq régions (Bourgogne-Franche-Comté, Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, PACA et La Réunion). Ces retours régionaux permettront de consolider une méthode nationale, qui sera mise à disposition des collectivités, chambres d'agriculture, CDPENAF et services déconcentrés de l'État, pour évaluer les projets agrivoltaïques. À termes, l'Ademe prévoit de suivre un échantillon de projets et d'utiliser les résultats de ces évaluations pour créer un Observatoire National de l'Agrivoltaïsme. En vertu de l'arrêté du 5 juillet 2024, l'Ademe collectera également des informations obligatoires transmises annuellement par les développeurs.

Plus spécifique aux suivis expérimentaux des centrales, à l'occasion de l'édition 2023 du Salon international de l'agriculture, 37 structures ont signé un protocole d'accord pour créer un Pôle national de recherche, innovation et enseignement (PNRIE OU PNR) sur la thématique de l'agrivoltaïsme : le PNRIE-AgriPV. À l'initiative d'INRAE, ce pôle rassemble des acteurs publics et privés de l'agrivoltaïsme. Son objectif est de fédérer les recherches conduites en France autour de la production agricole et électrique et de permettre le développement raisonné de la technologie photovoltaïque sur les terres agricoles.

Enfin, depuis décembre 2024, un label Afnor « Projet Agrivoltaïque » a été créé pour les projets en système de culture et d'élevage. Son objectif est de qualifier un projet agrivoltaïque, de la phase de conception jusqu'à la phase de fonctionnement. D'après Afnor, les projets labellisés favorisent la production agricole et améliorent durablement la performance de la parcelle et de l'exploitation.

2.3. De la conception au démantèlement, les différentes étapes d'un projet agrivoltaïque

À ce jour, les étapes pour obtenir la mise en service d'un projet agrivoltaïque restent nombreuses. Plus de 5 ans peuvent être nécessaires à la concrétisation d'un projet de centrale agrivoltaïque (figure 2). Ces délais et les publications récentes des textes de loi expliquent le manque de retour actuel en termes d'impact des centrales sur les systèmes agricoles (production, bien-être des animaux, conditions de travail de l'éleveur, etc).

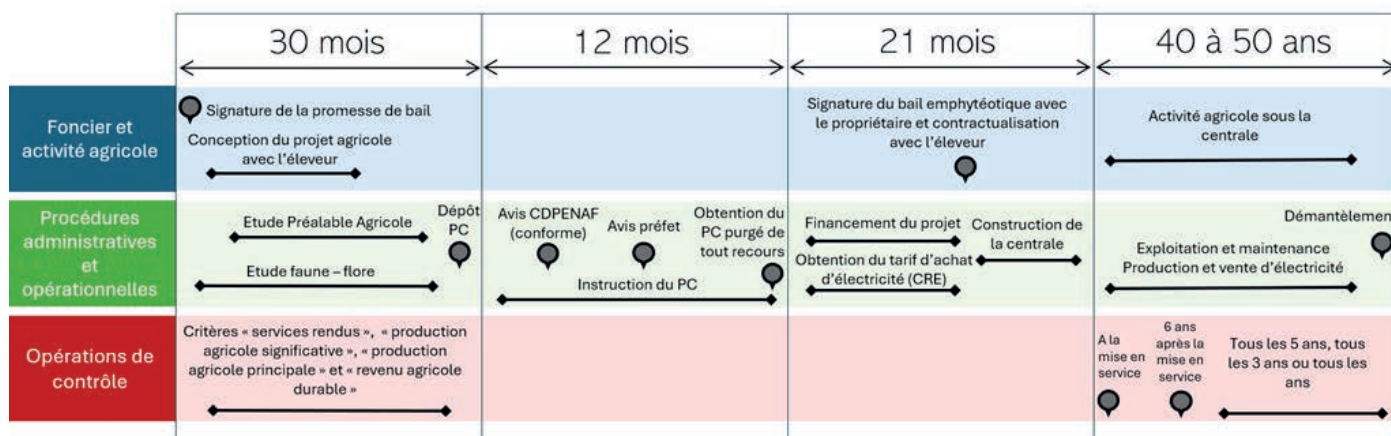


Figure 2 : les différentes étapes d'un projet agrivoltaïque (adapte de la france agricole, photosol et qair)

Composition

- 1 Panneaux photovoltaïques et structures métalliques
- 2 Locaux techniques
 - Onduleurs
 - Transformateurs
 - Compteur
 - Poste de livraison
- 3 Raccordée au Poste Source vers le Réseau national de transport et de distribution d'électricité
- 4 Accès et pistes
- 5 Réseaux de câbles enterrés
- 6 Clôture
- 7 Citerne incendie



Figure 3 : les différents composants d'une centrale agrivoltaïque (qair, 2023)

3. Encadrement technique de l'agrivoltaïsme

3.1. Principe de fonctionnement d'une centrale agrivoltaïque

Une centrale agrivoltaïque est constituée de plusieurs éléments (ADEME, 2021) :

- Des éléments techniques inhérents à la production d'électricité (figure 3). Plus précisément, ces éléments sont i) des tables d'assemblage (ou panneaux), fixées au sol et organisées en rangées, les modules photovoltaïques permettant de capter les rayonnements du soleil sont posés sur ces tables d'assemblage ; ii) des câbles aériens issus d'un groupe de panneaux, permettant d'acheminer le courant continu vers le local technique ; iii) un local technique, abritant les postes onduleurs, les transformateurs, les compteurs, les installations de protection électrique et le poste de livraison ; iv) des clôtures, des voies d'accès nécessaires pendant la construction,

l'exploitation et le démantèlement ainsi qu'une citerne en cas d'incendie.

- Une zone témoin pour vérifier le critère « production agricole significative » D'après le décret, cette zone témoin concerne toutes les installations agrivoltaïques, hors élevage. Cependant, en élevage de ruminant, pour vérifier l'indicateur pertinent « volume de biomasse fourragère », la présence d'une zone témoin est indispensable. Pour les centrales qui sont suivies dans le cadre d'un protocole expérimental, la zone témoin est dans ce cas obligatoire. La zone témoin doit :
 - o Représenter une superficie d'au moins 5% de la surface agrivoltaïque installée, dans une limite de 1ha ;
 - o Être située à proximité de l'installation agrivoltaïque ;
 - o Ne comporter ni installation équipée de modules photovoltaïques ni installation ou arbre apportant de l'ombre ;
 - o Être cultivée dans les mêmes conditions que la parcelle sur laquelle est située l'installation agrivoltaïque.

3.2. Les types de technologies agrivoltaïques rencontrées en élevage de ruminants

L'étude réalisée par l'Ademe en 2021 a permis de recenser les technologies déployées en agriculture. Depuis, les retours d'expériences et les spécificités techniques et réglementaires de l'agrivoltaïsme et de l'élevage des ruminants ont engendré une spécialisation des technologies déployées. Certaines, en lien avec le déploiement de l'agrivoltaïsme en élevage ovin sont déjà mises sur le marché et d'autres, avec le développement de l'agrivoltaïsme en filière bovine, sont encore à l'état de prototype.

Ainsi, les différentes technologies déployées en agrivoltaïsme et élevage de ruminants sont :

- Les centrales au sol fixes (figure 4 A,B,C) ont été principalement déployées lors des premiers projets de centrales agrivoltaïques couplées à de l'élevage ovin. À l'époque, deux types de fixations étaient disponibles : les panneaux fixes monopieu (figure 4A) et les panneaux fixes bi-pieux (figure 4B). Aujourd'hui, il y a un consensus entre les acteurs de la filière quant à l'inadéquation du système bi-pieux dans les centrales agrivoltaïques, qui limitent la circulation et la possibilité d'entretenir avec le machinisme agricole disponible dans les élevages. L'enjeu autour de ce type de technologie est la hauteur de bas de table, qui doit être un compromis entre conditions de travail de l'éleveur, bien-être des animaux et rentabilité du projet pour le développeur.

- Les panneaux mobiles ou trackers équipés d'une motorisation leur permettant de suivre la course du soleil pour optimiser leur exposition et donc leur rendement (figure 4D). Deux types de trackers existent :

- Trackers 1 axe pour suivre le soleil d'est en ouest (figure 4E)
- Trackers 2 axes pour une modification de l'orientation et de l'inclinaison (figure 4F)

- Les centrales à modules bifaciaux (ou « haies » photovoltaïques) ont été développées spécifiquement pour répondre aux enjeux agricoles liés à l'emprise au sol. Ce système est actuellement testé en élevage bovin sur le site INRAE de Laqueuille (63) en partenariat avec Engie Green (figure 4G) (Berezyiat *et al.*, 2025).

- Les ombrières fixes (figure 4H) et mobiles (figure 4I) sont des installations en hauteur permettant un couplage avec toutes les productions agricoles requérant des travaux culturaux ou mécanisés. Ces technologies se sont développées en élevage de ruminants, afin de répondre à la problématique de bas de table adaptée. Les ombrières fixes peuvent parfois être confondues avec des centrales au sol fixe bi pieux. La différence entre les deux est la possibilité de circuler avec un engin agricole sous les panneaux.

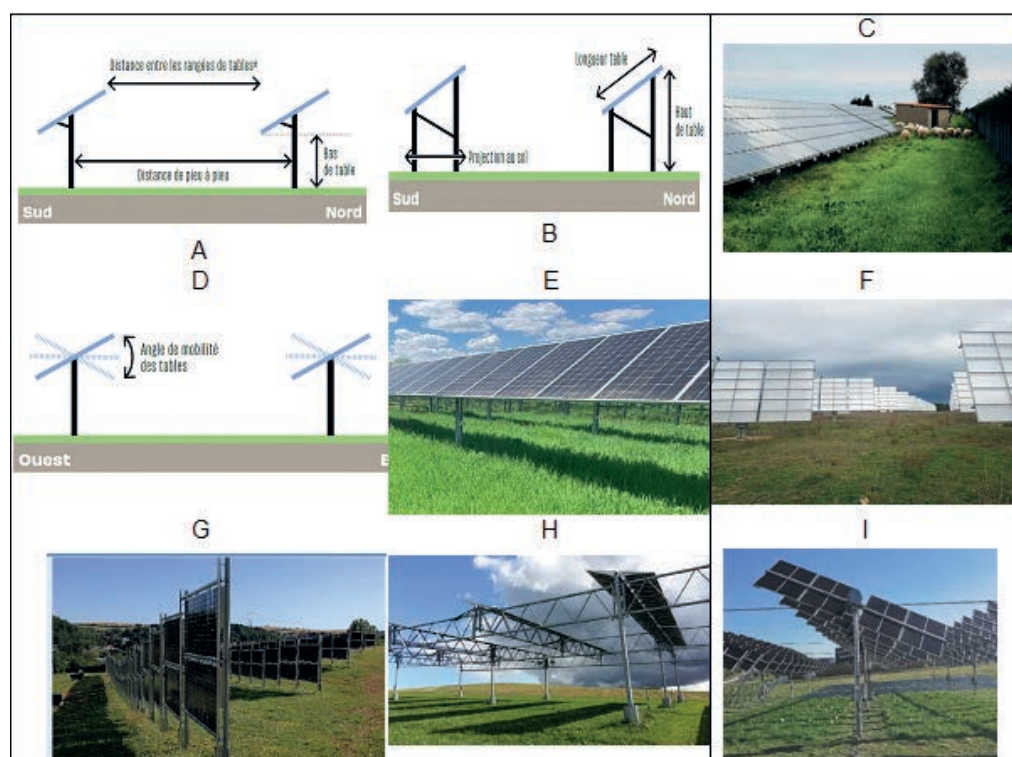


Figure 4 : exemples de différents systèmes agrivoltaïques

A : Système centrale au sol fixe monopieu (Desormeaux, 2021) ; b : Système centrale au sol fixe bipieu (Desormeaux, 2021) ; c : Centrale au sol à table fixe (66) (© Neoen) ; D : Système centrale au sol tracker (Desormeaux, 2021) ; E : Centrale au sol tracker de Jack's Solar Garden (Stucchio, 2022) ; F : Panneaux photovoltaïques trackers 2 axes à Grabels (34) (© Idele, parc géré par Neoen) ; G : Centrale à modules verticaux bifaciaux (Ademe, 2021) ; H : Ombrière fixe (Weselek, 2021) ; I : Ombrière mobile du site EDF Les Renardières (Edouard, 2023)

Le recul de ces dernières années sur les centrales au sol, initialement valorisées par des exploitations ovines, a permis de prendre conscience des limites de ces centrales sur la valorisation difficile de l'herbe exclusivement par l'animal et sur les contraintes de travail engendrées. À ce jour les équipements les plus couramment rencontrés dans les parcs français actuellement pâturés par des ruminants restent donc les centrales au sol, initialement avec des points bas de 80 cm et désormais à plus de 1m50 et plus secondairement les trackers 1 axe. Cependant, les ombrières se développent en système bovin.

3.3. Préconisations des filières pour un agrivoltaïsme vertueux

Du point de vue agricole, plusieurs facteurs incontournables conditionnent le succès et la durabilité des projets couplant élevage de ruminants et agrivoltaïsme :

- Le respect du bien-être animal ;
- Le respect des conditions de travail de l'éleveur (recours possible à la mécanisation, davantage de visibilité pour une meilleure facilité de surveillance) ;
- Le maintien de la performance de la production agricole, en lien avec la productivité de l'élevage ;
- Une contractualisation juste et équilibrée.

Plus spécifiquement sur le critère « bien-être des animaux », il est nécessaire de s'assurer :

- Que les animaux placés sur une parcelle avec panneaux photovoltaïques présentent des budgets temps (temps passé dans les différentes activités comme pâturer, ruminer...etc) au moins similaires (voir optimisés) par rapport à ceux d'animaux placés sur une parcelle sans panneaux,
- Que les structures photovoltaïques (les tables photovoltaïques, câbles, onduleurs...) ne provoquent pas de blessures sur les animaux ou de boiteries,
- Que les animaux puissent disposer de zones de couchage adaptées (n'entraînant pas de problème de saleté excessive) et qu'ils puissent se déplacer librement,
- Que les animaux puissent exprimer les comportements individuels et sociaux propres à leur espèce.

La santé et le bien-être des animaux peuvent-être mesurés grâce à des grilles d'évaluation, notamment celle du bien-être en ovine, mobilisant un système de notation des salissures, boiteries et blessures (Aupiais *et al.*, 2015) et complétée dans le cadre du projet CASDAR CMOUBIENE (Aupiais *et al.*, 2024).

Les différentes chartes et notamment celle de la FNO apportent des préconisations pour permettre le maintien aujourd'hui et demain de l'activité agricole.

Il est indispensable que ces préconisations soient intégrées, dès l'étape de conception, pour qu'un projet d'agrivoltaïsme impliquant un élevage de ruminants soit viable et pérenne et que tous les acteurs impliqués s'y retrouvent.

3.3.1. Préconisation en termes de choix des technologies

o Le bas de table pour les centrales au sol est à 1,5 mètres en production ovine. Pour les trackers, cette hauteur est à respecter en période d'exploitation (pâturage ou fauche) de la centrale agrivoltaïque. En production bovine, pour l'instant aucune valeur n'a été fixée, plusieurs prototypes sont en cours de test. Une hauteur minimale comprise entre 2,40m et 3m est conseillée après des essais menés aux USA (Sharpe *et al.*, 2020).

o La distance entre les rangées de tables est de 4 mètres minimum pour permettre la circulation des engins agricoles.

o Les structures en monopieu battus ou vissés sont à privilégier afin de limiter l'utilisation de béton et faciliter le travail mécanique de l'éleveur.

o Les panneaux non jointifs orientés au format paysage, permettant à l'eau de s'écouler entre les panneaux et d'avoir une meilleure répartition sous les structures, sont à privilégier.

3.3.2. En termes d'aménagements spécifiques dans la centrale

Une allée d'une largeur de 3 mètres minimum, perpendiculaire aux rangées de tables, est à prévoir tous les 100 à 120 mètres, pour faciliter la surveillance et la pose de clôtures pour la conduite du pâturage.

Le but du pâturage en centrale photovoltaïque est que les animaux se nourrissent essentiellement de la végétation disponible sur le parc, afin d'en assurer l'entretien. Toutefois, l'apport de fourrage complémentaire distribuées dans zone spécifiques (zones d'affouragement) peut s'avérer nécessaire dans le cas où l'herbe viendrait à manquer et où le parc photovoltaïque est loin des autres parcelles pâturables.

En élevage, le suivi du troupeau nécessite des interventions fréquentes auprès des animaux. Pour réaliser ces manipulations qui peuvent être délicates, les éleveurs ont besoin de parcs de contention efficaces pour travailler en toute sécurité et éviter les accidents. Ces parcs de contention peuvent également servir de parc de chargement/ déchargement des animaux.

Une clôture de l'espace couvert par la centrale solaire, robuste et sécurisée par vidéosurveillance est conseillée.

Des points d'arrivée d'eau sont à prévoir, reliés par des canalisations au réseau de l'éleveur s'il existe, afin que l'éleveur puisse y connecter ses abreuvoirs mobiles. L'implantation des points d'arrivée d'eau doit être définie d'un commun accord entre l'éleveur et l'exploitant de la centrale dès sa conception.

3.3.3. La phase de chantier, une étape indispensable

En amont des travaux, la réalisation d'un diagnostic fourrager (P. Pierre et S. Granger, 2022) est conseillée. Il permettra de mettre en évidence la qualité des plantes destinées à être pâturées sur la surface couverte par la centrale solaire, l'impact de cette ressource de la mise en place des panneaux solaire sur la ressource fourragère et qualité et la quantité, et les semis à réaliser le cas échéant pour compenser l'impact de la centrale.

La phase de chantier doit avoir lieu pendant la période la plus favorable à une moindre dégradation du couvert. Des chantiers de sursemis peuvent être envisagés pour pallier une dégradation, avec des incertitudes sur la réussite, notamment dans les zones à l'ombre sous panneaux.

4. Premiers retours d'expériences en élevage ruminant

4.1. Effets sur le microclimat

Du fait de l'ombrage induit par les panneaux photovoltaïques, la quantité de rayonnement direct, reçu par la végétation, est fortement réduite. Cela peut également modifier d'autres paramètres physiques tels que la température et l'humidité de l'air et du sol ou encore la direction et vitesse du vent. Cependant ces variations sont dépendantes des caractéristiques des technologies agrivoltaïques et du contexte pédoclimatique (Armstrong *et al.*, 2016 ; Adeg *et al.*, 2018) mais l'effet décroît rapidement dans l'espace entre deux rangées de panneaux. Une forte hétérogénéité spatiale du microclimat peut même impacter les caractéristiques phénotypiques de la flore. Dans les situations des ombrières où les panneaux sont surélevés, dans les cas extrêmes jusqu'à 5m, l'impact des panneaux se limite à la quantité de rayonnement et à la température du sol (Weselek *et al.*, 2021). Cela reste néanmoins suffisant pour modifier l'évapotranspiration du couvert végétal et sa croissance (Marrou *et al.*, 2013).

4.2. Effets sur la prairie, son rendement, sa valeur alimentaire et sa composition

4.2.1. Impact sur la production de biomasse

La production des prairies décrit des grandes variations selon le contexte pédoclimatique et la technologie mise en place. En Oregon dans un contexte de type méditerranéen où la prairie est équipée de panneaux bas et fixes, Hassanpour Adeg *et al.* (2018) ont observé un gain de productivité de 90% sous les panneaux par rapport à une zone témoin sans ombre. Ce résultat a été obtenu en observant la production annuelle de la prairie par une récolte unique en été. Cependant, un suivi ultérieur, avec des récoltes mensuelles, mené sur le même dispositif expérimental par Andrew *et al.* (2021) pendant deux ans a montré d'autres résultats. La production de biomasse sous les panneaux était significativement inférieure à

celle des zones témoins et inter-rang, qui ne présentaient pas de différence entre elles. Selon l'année et la gestion de la prairie, la baisse de rendement varie de 9 à 33 % pour la partie équipée de panneaux photovoltaïques comparée à la zone témoin. Une année sur deux, la prairie équipée de panneaux photovoltaïques a été significativement plus productive au début de l'été.

Une expérimentation plus récente menée par Andrew *et al.* (2024), testant différents mélanges prairiaux implantés entre les rangées de panneaux, montre des écarts importants de production d'herbe selon l'emplacement de la prairie entre deux rangées de panneaux. Sous les panneaux, où la rénovation de la prairie n'est pas pratiquée, faute de matériel adapté et de conditions peu propices à la levée des plantes, la production est inférieure de 60% par rapport à l'inter-rang ressemé. Au sein de l'espace entre rangées, il y a une baisse du rendement d'environ 25% pour la zone la plus ombragée par rapport à la zone la plus ensoleillée.

D'autres exemples vont dans le même sens, Kampherbeek *et al.* (2023) en Californie, Armstrong *et al.* (2016) en Angleterre mesurent des pertes de rendement bien supérieures à la limite des 10% mis en avant dans le décret définissant l'agrivoltaïsme. Les zones inter-rangées et témoins ne présentent pas toujours de différence significative entre elles.

En France, une étude de Madej *et al.* (2022) menée sur deux prairies équipées de panneaux photovoltaïques de type centrale au sol dans l'Allier et le Cantal n'a pas révélé d'impact significatif de ces installations sur la production annuelle de biomasse.

En Allemagne, avec une technologie différente de type ombrière agrivoltaïque, la baisse de rendement d'une prairie temporaire multiespèce conduite en quatre fauches annuelles était de 5% et 8% selon l'année concernée. Cependant cette différence de rendement n'était pas significative entre le traitement agrivoltaïque et le traitement témoin. Il n'y a pas eu de fauche où le rendement du traitement a été supérieur significativement au témoin, sauf sur la quatrième coupe la première année.

4.2.2. Impact sur la qualité fourragère

Plusieurs études indiquent une amélioration de la qualité fourragère des prairies photovoltaïques (Andrew *et al.*, 2021 ; Madej *et al.*, 2022 ; Edouard *et al.*, 2023 ; Sturchio *et al.*, 2024). L'augmentation du taux de matière azotée totale est généralement mise en avant, tandis que certains auteurs observent également une hausse de la valeur énergétique et/ou de la digestibilité de l'herbe.

Concernant la teneur en fibres les résultats sont plus variables et dépendent de la zone considérée, de la période de l'année et des conditions climatiques propres à chaque étude (Andrew *et al.*, 2021 ; Madej *et al.*, 2024 ; Sturchio *et al.*, 2024).

4.2.3. Impact sur la composition floristique

L'impact des panneaux photovoltaïques sur la prairie ne se limite pas à la productivité et à la valeur fourragère, mais concerne également la composition botanique du couvert végétal.

Weselek *et al.* (2021) mesure une augmentation de la proportion de trèfle dans le couvert végétal par rapport à une prairie témoin non couverte. C'est un phénomène propre à cette étude, probablement lié à la technologie implantée et au site concerné, qui n'est pas vérifié par ailleurs. Les légumineuses sont absentes directement sous les panneaux et sont peu présentes dans l'inter-rang (Andrew *et al.*, 2024) dans les centrales au sol.

Une réduction de la diversité végétale sous les panneaux, mais cette fois au profit des graminées, semble se répéter (Amstrong *et al.*, 2016 ; Hassanpour Adeg *et al.*, 2018). La composition floristique des inter-rangées diffère également du témoin, mais de façon moins marquée : les légumineuses et les autres espèces diverses y sont toujours présentes.

Dans une autre expérience menée par Andrew *et al.* (2021), les dicotylédones fourragères ont semblé désavantagées dans la zone sous influence des panneaux photovoltaïques. Cette tendance a été confirmée dans une étude plus récente (Andrew *et al.*, 2024), où il est précisé que l'ombre et le pâturage sélectif nuisent à la persistance des légumineuses.

Au-delà des évolutions floristiques, la présence de panneaux solaires peut également influencer le développement et la morphologie des plantes. Certains auteurs (Madej *et al.*, 2022 ; Rainon et Dagouneau, 2022 ; Weselek *et al.*, 2021) ont mis en évidence un phénomène d'étiollement dans la zone d'influence des panneaux. Ce phénomène se traduit par une croissance en hauteur plus marquée des plantes, une augmentation de l'indice foliaire, au détriment du tallage et de la densité du couvert. À l'instar d'études en agroforesterie, Graham *et al.* (2021) ont montré un retard des stades de développement et notamment de la floraison dans les conditions ombragées des panneaux photovoltaïques.

4.3. Effets sur le bien-être animal et les performances animales

Les études sur les effets des systèmes agrivoltaïques avec pâturage sont encore limitées. Plusieurs recherches récentes ont mis en évidence des avantages pour le bien-être animal.

En situation de fort rayonnement, des études menées au Brésil sur un même dispositif d'ombrière photovoltaïque (PV) (Fonsêca *et al.*, 2023 ; Maia *et al.*, 2020) ont montré que les ovins et bovins recherchent l'ombre des panneaux, avec jusqu'à 70% du temps passé sous les structures. Les animaux exposés à l'ombrage photovoltaïque ont une température corporelle plus basse et expriment davantage de comportements de confort (rumination, repos).

Une préférence des animaux est observée pour l'ombre des panneaux PV plutôt que celle de voiles d'ombrage réduisant 80% du rayonnement reçu.

Aux États-Unis, dans le Minnesota (Sharpe *et al.*, 2021 ; Heins *et al.*, 2022), des vaches laitières en pâturage sous ombrière photovoltaïques ont montré une fréquence respiratoire plus basse en période chaude mais aucune évolution significative de la production laitière n'a été observée.

D'autres recherches (Andrew *et al.*, 2021) indiquent que, malgré une biomasse fourragère inférieure d'environ 30% dans la parcelle agrivoltaïque, la hausse de la qualité du fourrage et la réduction du stress thermique permettent de maintenir des performances animales équivalentes voire supérieures que dans une parcelle témoin non équipée de PV. Les ovins passent du temps sous les panneaux, notamment pour ruminer et se reposer (Kampherbeek *et al.*, 2023).

Les panneaux solaires, notamment ceux verticaux, peuvent également jouer un rôle de protection contre le vent en conditions froides (Bruhwylér *et al.*, 2023), améliorant ainsi les performances et le bien-être des animaux. À l'inverse, en conditions chaudes, l'exposition au vent peut être bénéfique pour la thermorégulation (Mader *et al.*, 2006).

Un exemple français dans la Nièvre (Rainon et Dagouneau, 2022) montre que les gains de poids vif des agneaux sont améliorés dans une centrale agrivoltaïque par rapport à un lot témoin, de la mise à l'herbe jusqu'au sevrage environ 130 jours plus tard. Pourtant les quantités d'herbe disponibles sont inférieures sous panneau que dans les zones sans panneaux. Ce résultat, qui a été obtenu pendant quatre années consécutives, s'expliquerait par une meilleure valorisation d'une herbe de meilleure qualité.

Les systèmes agrivoltaïques semblent être un levier d'adaptation aux situations estivales où les stress thermiques et hydriques sont de plus en plus marqués. Les résultats pourraient néanmoins être différents en fonction du contexte pédoclimatique et du dispositif photovoltaïque utilisé.

5. Perspectives et conclusion

La réglementation encadrant le développement de l'agrivoltaïsme est claire : les projets agrivoltaïques doivent conserver voire améliorer la valeur ajoutée agricole produite sur la parcelle et l'exploitation concernée. Cet objectif ambitieux soulève de nombreuses interrogations sur la capacité à maintenir une production agricole. Quelques exemples d'études ont montré des résultats contradictoires entre le volume de biomasse fourragère produit et le gain de poids vif des animaux au pâturage sur la même période. Bien que la production de l'élevage s'enregistre en viande produite et non en quantité d'herbe disponible, il sera dans ce cas difficile de justifier le caractère agrivoltaïque de l'installation selon la réglementation.

Les références sont encore peu nombreuses et dépendantes de quelques contextes spécifiques. Dans cette situation transitoire, comment valoriser les références actuelles pour les futurs projets ? Finalement dans cet espace où les retours d'expériences sont encore rares (ou manquent de recul) et les projets distincts de par leur contexte ou la technologie appliquée, c'est la cohérence globale du projet qui sera probablement l'indicateur principale de réussite et d'acceptation vis à vis de l'administration compétente.

L'avenir de l'agrivoltaïsme est en train de s'écrire et l'ensemble des projets commerciaux et de recherche d'aujourd'hui seront les fondations des projets de demain.

Références bibliographiques

- Ademe, I Care & Consult, Ceresco, Céticac, (2021). Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et l'agrivoltaïsme-Etat de l'art bibliographique. 141 pages.
- Andrew, A.C., Higgins, C.W., Smallman, M.A., Graham, M., Ates, S., (2021). Herbage yield, lamb growth and foraging behaviour in agrivoltaic production system. *Front. Sustain. Food Syst*, 5, p. 1 – 12. DOI : 10.3389/fsufs.2021.659175
- Andrew, A.C., Higgins, C.W., Smallman, M.A., Prado-Tarango, D. E., Rosati, A., Ghajar, S., Graham, M., Ates, S., (2024). Herbage and sheep production from simple, diverse and legume pastures established in an agrivoltaic production system. *Grass forage Sci*. 2024, 1 – 14. DOI: 10.1111/gfs.12653
- Armstrong A., Ostle N.J., et Whitaker J., (2016). Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 11 (7), p. 1 11. DOI : 10.1088/1748-9326/11/7/074016
- Aupiais A, Mialon M.M., Gautier D., Pottier E., Ribaud D., Boissy A., Boivin X. (2015). Validation d'une méthode d'évaluation du bien-être des ovins en ferme et comparaison de deux types de conduites hivernales. *Renc. Rech. Ruminants*, 2015, 22, 179-182.
- Aupiais A., Marois M., De Crémoux R., Jean Louis U., Legris M., Faugeras R., Billiez M.A., Renard A., Cornu E., Boivin X., Mialon M.M., Gautier D., Sagot L., Berthelot M., Bailly C. (2024). Développement d'un outil opérationnel d'évaluation et de gestion du bien-être des ovins et des caprins en élevages en France. *Renc. Rech. Ruminants*, 2024, 4p.
- Berezyiat N., Chanet M., Deiss V., Galliot J-N., Klumpp K., Note P., Piccon-Cochard C. (2025). CAMELIA - Un démonstrateur agrivoltaïque associant panneaux photovoltaïques verticaux et pâturage bovin : quels impacts sur la prairie et les animaux ? Journées de printemps de l'AFPF, 20 mars 2025
- Bruhwyler R., Sánchez H., Meza C., Lebeau F., Brunet P., Dabadie G., Dittmann S., Gottschalg R., et Negroni J.J., (2023). Vertical agrivoltaics and its potential for electricity production and agricultural water demand: a case study in the area of Chanco, Chile. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 60, p. 1 9. DOI : 10.1016/j.seta.2023.103425
- Crestey M., Dervishi V., Fradin J., Pavie J. (2021). L'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants. Institut de l'élevage. 79 pages.
- Desormeaux. A, Brasseur C., Brodin O., Fradin J., Miquel M., Puig R., Saget G., Sagot L., Sennepin D., Rainon C., Vaillant C. (2021). Produire des ovins sous panneaux photovoltaïques au sol ce qu'il faut savoir avant de se lancer
- Edouard S., Combes D., Van Iseghem M., Ng Wing Tin M., Escobar-Gutiérrez A.J., (2023). Increasing land productivity with agriphotovoltaics : application to an alfalfa field. *Applied energy* 329, 12p
- Fonsêca V.F.C., de Andrade Culhari E., Moura G.A.B., Nascimento S.T., Milan H.M., Neto M.C., et Maia A.S.C., (2023). Shade of solar panels relieves heat load of sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 265, p. 1 6. DOI : 10.1016/j.applanim.2023.105998
- Graham M, Ates S, Melathopoulos AP, Moldenke AR, DeBano SJ, Best LR, et al. (2021). Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late-season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Sci Rep* 11(1): 1–13.
- Adeh E., E., Selker, J.S., Higgins, C.W., (2018). Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *PLoS One* 13 (11), p 1 – 15. DOI : 10.1371/journal.phone.0203256
- Heins B.J., Sharpe K.T., Buchanan E.S., et Reese M.H., (2022). Agrivoltaics to shade cows in a pasture-based dairy system. *AIP Conference Proceedings*, 2635 (1), p. 1 6. DOI : 10.1063/5.0103148
- Kampherbeek, E.W., Webb, L.E., Reynolds, B.J., Sistla, S.A., Horney, M.R., RipollBosch, R., Dubowsky, J.P., McFarlane, Z.D., (2023). A preliminary investigation of the effect of solar panels and rotation frequency on the grazing behaviour of sheep (*Ovis aries*) grazing dormant pasture. *Appl. Anim. Behav. Sci*. 258, p. 1–12. DOI : 10.1016/j.applanim.2022.105799
- La France Agricole Factory, Agrivoltaïsme, les 10 étapes à connaître pour réaliser votre projet. Non daté.
- Mader T.L., Davis M.S., et Brown-Brandl T., (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84 (3), p. 712 719. DOI : 10.2527/2006.843712x
- Madej L., Michaud L., Bouhier de L'Ecluse C., Cogny C., Roncoroni M., Colosse D., Falcimagne R., Jacquot S., Picon-Cochard C., (2022). Synthèse de la dynamique végétale sous l'influence de panneaux photovoltaïques et du pâturage sur deux sites prairiaux pâturés. Etude des effets sur une période annuelle.. [Rapport de recherche] INRAE. 35p
- Maia A.S.C., de Andrade Culhari E., Fonsêca V.F.C., Milan H.F.M., et Gebremedhin K.G., (2020). Photovoltaic panels as shading resources for livestock. *Journal of Cleaner Production*, 258, p. 1 9. DOI : 10.1016/j.jclepro.2020.120551
- Marrou H., Guillioni L., Dufour L., Dupraz C., et Wery J., (2013). Microclimate under agrivoltaic systems: is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels? *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, p. 117 132. DOI : 10.1016/j.agrformet.2013.04.012
- QAIR, (2023). Projet de centrale agrivoltaïque de la Chappelle Hugon (18) – Résumé non technique de l'étude d'impact sur l'environnement.
- Pierre P., Granger S., (2022). Le Diagnostic Prairial : un outil pour apprécier et caractériser le fonds prairial des prairies temporaires de longue durée et permanentes, *Fourrages* 252, 1-8
- Rainon C. et Dagouneau C., (2022). Pâturage des ovins sous panneaux photovoltaïques : synthèse du suivi réalisé sur le site de Verneuil, dans la Nièvre, en 2021. *Fourrages*, (251), p. 49 53.
- Sharpe K.T., Heins B.J., Buchanan E.S., et Reese M.H., (2021). Evaluation of solar photovoltaic systems to shade cows in a pasture-based dairy herd. *Journal of Dairy Science*, 104 (3), p. 2794 2806. DOI : 10.3168/jds.2020-18821
- Weselek A., Bauerle A., Hartung J., Zikeli S., Lewandowski I., et Högy P., (2021). Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. *Agronomy for Sustainable Development*, 41 (5), p. 1 15. DOI : 10.1007/s13593-021-00714-y