

L'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants

Guide à destination des éleveurs
et des gestionnaires de centrales agrivoltaïques



**Cette publication a été élaborée dans le cadre
des partenariats distincts avec :**



Rédaction :

Milène CRESTEY, Marianne D'AZEMAR, Benoît DELMAS, Vigan DERVISHI, Julien FRADIN, Jérôme PAVIE, et Emeline REBERT (Institut de l'Élevage)

Relecture : Fabienne LAUNAY et Catherine BROCAS (Institut de l'Élevage), Léna PIGNE (Neoen), Clémence DAUDE (Photosol), Philippe DIMON et Julien RENON (QAIR), Lucie LORIEAU (TSE), Audrey DESORMEAUX et André DELPECH (FNO)

Crédit photo de couverture : NEOEN • **Réalisation :** Beta Pictoris

Mise en page : Magali ALLIÉ (Institut de l'Élevage) • N° réf. Idele : 0025413037 - N° ISBN : 978-2-7148-0190-6 •
Août 2025



André DELPECH,
Administrateur de la Fédération Nationale Ovine (FNO)
en charge du dossier Agrivoltaïsme

A

u titre de la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), le gouvernement français a fixé un objectif ambitieux de développement de l'énergie solaire photovoltaïque, qui ne pourra être atteint que s'il s'accompagne, aux côtés du développement solaire sur les toitures et les terres dégradées, d'un accès raisonné aux terres agricoles.

Bénéficiant à présent d'un cadre réglementaire, l'idée de l'agrivoltaïsme prend alors tout son sens. Le monde agricole peut, une fois de plus, prendre sa part au développement des énergies renouvelables. Permettant une production d'électricité à bas coût, l'installation de structures agrivoltaïques constitue un moyen de conforter l'activité agricole en recherche de diversification dans la mesure où ces installations sont conçues pour assurer la meilleure cohabitation possible avec la production agricole, dont le pâturage des ovins.

En adaptant la hauteur des panneaux, pour laisser passer et permettre de surveiller les brebis, et l'espacement entre eux pour permettre le passage d'engins agricoles, l'impact de l'installation d'une centrale photovoltaïque au sol sur l'activité de pâturage des ovins est minime, voire bénéfique pour la pousse de l'herbe selon de type de sol et la zone géographique. Pour les éleveurs ovins, cela représente une opportunité de diversification et donc de consolidation du revenu tout en conservant leur capacité de production pour la filière. Il s'agit d'une opportunité pour l'installation, la confortation d'élevages en situation délicate ou des perspectives pour des exploitations qui n'ont pas le dimensionnement nécessaire pour une transmission dans de bonnes conditions.

Dès 2017, la FNO a décidé de se saisir de la question de l'agrivoltaïsme en rédigeant, 3 ans plus tard, une charte destinée à partager notre vision pour le développement de projets agrivoltaïques vertueux. Avec l'arrivée bien venue d'un cadre réglementaire et les premiers retours de suivis d'installations, fin 2024, la FNO a mis à jour cette charte accompagnée de recommandations techniques pour la conception de la centrale.

Ce guide, proposé par l'Institut de l'Élevage, constitue le socle technique de notre réflexion et permet d'apporter bon nombre de réponses ou, tout au moins, d'éclairages pour une construction avisée des projets : de la conception de la centrale, à l'évolution du système de production agricole en passant par le volet partenarial qui constitue la base de la durabilité du projet. Il est également un recueil de questions en suspens qui nous montre tout l'intérêt d'expérimenter des projets pour disposer enfin de références documentées et partageables. Nous remercions l'Institut de l'Élevage et les développeurs partenaires de ce guide, pour ce travail de synthèse et de transparence qui servira, nous en sommes sûrs, a bon nombre d'éleveurs, de structures techniques d'accompagnement, de gestionnaires de centrales agrivoltaïques et de décideurs.

SOMMAIRE

L'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants

PARTIE 1

9

Contexte d'émergence et enjeux des projets couplant photovoltaïsme et élevage de ruminants

10

UNE POLITIQUE NATIONALE EN FAVEUR DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

11

ÉMERGENCE DE L'AGRIVOLTAÏSME

13

ENCADREMENT DE LA PRATIQUE DE L'AGRIVOLTAÏSME EN FRANCE

13 Cadre législatif de l'agrivoltaïsme

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

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

18

ZOOM SUR LE COUPLAGE ÉLEVAGE ET PHOTOVOLTAÏSME

18 Co-activité élevage de ruminants-photovoltaïsme : de quoi parle-t-on ?

19 Agrivoltaïsme, un couplage gagnant-gagnant

19 Facteurs conditionnant la réussite des projets agrivoltaïques

PARTIE 2

21

Recensement des essais et travaux menés sur l'agrivoltaïsme et la co-activité élevage/production d'énergie

22

RÉFÉRENCES SCIENTIFIQUES DISPONIBLES CONCERNANT L'IMPACT DE L'ACTIVITÉ PHOTOVOLTAÏQUE SUR L'ACTIVITÉ D'ÉLEVAGE DE RUMINANTS

22 Impacts du pâturage sous panneaux photovoltaïques sur le bien-être des animaux d'élevage

24 Impacts des panneaux photovoltaïques sur le couvert végétal

27 Impact du pâturage sous panneaux photovoltaïques sur la productivité de l'activité d'élevage

28

RECUIL SUR LA BIBLIOGRAPHIE : DES EXPÉRIMENTATIONS À MULTIPLIER ET DES QUESTIONS ENCORE À EXPLORER

PARTIE 3

Adapter les équipements agrivoltaïques et réfléchir à leur implantation pour une co-activité avec l'élevage

31

32 CHOISIR UNE STRUCTURE PHOTOVOLTAÏQUE ADAPTÉE À LA CO-ACTIVITÉ AVEC L'ÉLEVAGE

- 32** Les différentes technologies disponibles
- 33** Critères de choix des équipements par les gestionnaires

35 DÉFINIR DES CONDITIONS D'IMPLANTATION DES ÉQUIPEMENTS FAVORABLES À LA CO-ACTIVITÉ

- 35** Prévoir une hauteur minimale des équipements permettant la circulation fluide et sécurisée des animaux
- 36** Prévoir une hauteur minimale des équipements permettant le passage d'engins agricoles
- 39** Adapter la répartition des équipements photovoltaïques dans l'espace
- 40** Choisir un système de fixation au sol des structures le moins impactant pour le couvert végétal

41 PROTÉGER LES ANIMAUX DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES

43 POSER DES CLÔTURES EXTÉRIEURES FIABLES ET ROBUSTES

PARTIE 4

Outiller le parc photovoltaïque d'équipements additionnels spécifiques à l'activité d'élevage

45

46 LES PANNEAUX FOURNISSENT DES ABRIS AUX ANIMAUX

46 PRÉVOIR DES POSSIBILITÉS D'AFFOURAGEMENT DANS LE PARC

47 PRÉVOIR DES POINTS D'ALIMENTATION EN EAU POUR L'ABREUVEMENT

48 PRÉVOIR UN SYSTÈME DE CONTENTION

49 PRÉVOIR DES CLÔTURES SUPPLÉMENTAIRES POUR REDECOUPER LE PARC

50 FACILITER LA SURVEILLANCE ET LA MANIPULATION DU TROUPEAU

PARTIE 5

Faciliter l'ergonomie du travail d'élevage

53

54 FACILITER L'ACCÈS DES ÉLEVEURS À LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

54 FACILITER LE DÉCHARGEMENT DES ANIMAUX

54 SURVEILLER LE TROUPEAU À DISTANCE

55 ALERTE EN CAS D'INTRUSION DANS LE PARC OU DE SORTIE D'ANIMAUX

PARTIE 6

57

**Veiller à la qualité
du couvert végétal
des parcs agrivoltaïques**

58 RÉALISER UN DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE INITIAL

- 58 Évaluer la ressource végétale initialement disponible sur la surface
- 59 Evaluer le potentiel agronomique du sol

61 METTRE EN PLACE UNE STRATÉGIE DE GESTION DU COUVERT EN FONCTION DU DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE INITIAL

- 61 Scénario 1 : maintien du couvert initial et sursemis
- 62 Scénario 2 : réensemencement total de la surface

65 SUIVI RÉGULIER DE L'ÉTAT DE LA VÉGÉTATION DU PARC

PARTIE 7

67

**Choisir un système de
pâturage adapté aux objectifs
de chacun des acteurs**

68 CONNAÎTRE LA COURBE DE LA POUSSE DE L'HERBE AU COURS DE LA CAMPAGNE

68 CHOIX DES ANIMAUX PÂTURANT EN PARC PHOTOVOLTAÏQUE

68 LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE PÂTURAGE

- 69 Le pâturage tournant dynamique
- 70 Le pâturage tournant classique
- 70 Le pâturage continu

71 L'ORGANISATION SPATIALE ET TEM- PORELLE D'UN PÂTURAGE TOURNANT EN CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

- 71 Aménagement de la centrale photovoltaïque en cellules de pâturage
- 72 Repères théoriques pour l'organisation du planning de pâturage tournant en centrale photovoltaïque
- 75 Une gestion du pâturage à adapter selon l'effet des modules photovoltaïques sur la ressource herbagère

PARTIE 8

77

**Établir les bases
d'un partenariat durable
entre éleveur et gestionnaire**

78 PARTAGER LES OBJECTIFS ET CONTRAINTES DE CHACUN

78 ANALYSER LES GAINS ET LES PERTES POUR CHACUN DES PARTENAIRES

- 78 Impacts liés à l'aménagement du parc pour la co-activité
- 78 Impacts liés à la pratique même de l'agrivoltaïsme

79 S'ENTENDRE SUR UNE RÉPARTITION ÉQUILIBRÉE DES INVESTISSEMENTS, DES TÂCHES ET DES RESPONSABILITÉS

- 79 Tâches attribuées à chaque partie prenante
- 80 Responsabilités de chaque partie prenante

80 PARTAGER UN CALENDRIER PRÉVISIONNEL DE PÂTURAGE ET D'INTERVENTIONS

- 80 Le calendrier de pâturage
- 81 Le planning des interventions

81 SENSIBILISER LES INTERVENANTS TECHNIQUES AUX ENJEUX DE LA PRÉSENCE D'ANIMAUX DANS LA CENTRALE

82 COMMUNIQUER, RESTER À L'ÉCOUTE, S'ADAPTER

82 FORMALISER LE PARTENARIAT PAR LA CONTRACTUALISATION

84

Bibliographie



7 250 ha

C'est la surface qui serait aujourd'hui couverte par des parcs photovoltaïques au sol de plus de 1 MW en France, sans qu'il soit possible d'aller plus loin dans la qualification des terres concernées (source : le journal du photovoltaïque, 2024).

Faute d'observatoire dédié, il est aujourd'hui difficile d'estimer la surface agricole couverte par des projets agrivoltaïques respectant la nouvelle réglementation.

Ovins au pâturage dans la centrale du Canadel (83) (©Voltalia)

Contexte d'émergence et enjeux des projets de l'agrivoltaïsme

Dynamisées par un cadre stratégique national favorable, les énergies renouvelables sont en plein essor en France, notamment la production photovoltaïque au sol.

L'accès à des terrains dégradés étant de plus en plus compliqué, les gestionnaires se tournent désormais vers les terrains agricoles, vus comme des opportunités de développement pour étendre le parc photovoltaïque au sol. L'usage des terres agricoles pour des projets d'aménagement étant très réglementé, les développeurs de centrales photovoltaïques se sont mis à monter des projets d'agrivoltaïsme couplant les activités de production d'électricité et les activités agricoles. La co-activité nécessite une prise en compte des enjeux des différents acteurs et une réflexion sur les aménagements à prévoir dès la conception du projet.

UNE POLITIQUE NATIONALE EN FAVEUR DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

La stratégie française pour l'énergie et le climat, présentée en novembre 2018, s'est fixé l'objectif ambitieux d'atteindre la neutralité carbone en 2050, en s'appuyant sur deux stratégies : la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), feuille de route de la France pour réduire ses émissions de gaz à effet de serre, et la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), qui fixe les priorités d'actions dans le domaine de l'énergie pour la décennie 2020-2030.

La PPE est l'outil de pilotage de la politique énergétique française dans laquelle l'ensemble des piliers de la politique énergétique sont traités, avec, entre autres, d'une part la baisse de la consommation d'énergie notamment d'origine fossile (pétrole, gaz, charbon), et d'autre part la diversification du mix énergétique en mobilisant les énergies renouvelables et en réduisant la part du nucléaire. Alors que la précédente PPE publiée en 2016 avait fixé un objectif pour 2018 de 10,2 GW, la PPE présentée en 2018 va plus loin, puisque l'objectif ambitieux était de doubler les capacités photovoltaïques pour 2023 (pour atteindre 18,2 à 20,2 GW) et de les multiplier par 3 ou 4 d'ici 2028 pour atteindre 35 à 45 GW (figure 1). Dans le cadre de la stratégie française sur l'énergie et le climat mise en consultation début 2025, un objectif de 65 à 90 GW de capacité photovoltaïque installée a été fixé pour 2035, afin de répondre à l'augmentation des besoins en électricité décarbonée (projet de PPE n°3 soumis à la concertation - novembre 2024).

La PPE oriente donc vers une accélération du développement de la filière photovoltaïque, comparé

au rythme de développement des années précédentes, et met l'accent sur les solutions compétitives comme les installations photovoltaïques au sol, tout en localisant les projets en priorité sur des espaces artificialisés ou dégradés, de manière à préserver les espaces naturels et agricoles.

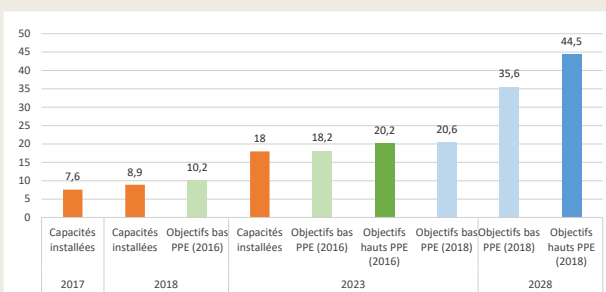
À SAVOIR !

Pour atteindre les objectifs de la PPE3 (version mars 2025), la puissance solaire projetée d'ici 2035 doit être comprise entre 65 et 90 GWc. Aucune trajectoire spécifique n'est prévue pour l'agrivoltaïsme. Cet objectif est désormais ventilé entre catégories d'installations (toitures et sol) : 41% sur petites et moyennes toitures ; 5% sur petites installations au sol ; 54% sur grandes installations, correspondant à 38% au sol et 16% sur toiture.

À ce jour, les installations de plus d'1 MWc au sol représentent une puissance totale de 7 GWc mais il est difficile de retracer l'origine des surfaces et leur utilisation : friche industrielle, friche agricole etc.

En partant de l'hypothèse qu'il faut 2 ha de panneaux photovoltaïques pour produire 1 MWc, en comptant les espaces entre rangées pour permettre l'activité agricole, et qu'environ un tiers de la puissance solaire installée en 2035 serait au sol (cf. Projet de PPE n°3 - 2025), il s'agirait alors de mobiliser entre 38 000 et 55 000 ha de surface agricole supplémentaire d'ici 2035. La surface agricole que pourrait représenter les projets agrivoltaïques reste donc relativement limitée (<0,2%) comparativement à d'autres usages du sol, notamment la surface de terre arable destinée actuellement à produire des carburants (618 132 ha en 2022, soit 2,16% de la SAU (FranceAgriMer, 2024)).

FIGURE 1 : CAPACITÉS PHOTOVOLTAÏQUES INSTALLÉES ET OBJECTIFS (EN GW) FIXÉS PAR LA PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ÉNERGIE (PPE) (SOURCE : ADEME, 2025)



ÉMERGENCE DE L'AGRIVOLTAÏSME

Les orientations nationales poussent les développeurs d'installations photovoltaïques à cibler principalement et en priorité des zones non agricoles sans conflits d'usage, et en particulier les anciens sites industriels (centres d'enfouissements techniques, friches industrielles, carrières, décharges...).

Le développement du photovoltaïsme sur les toitures est également une priorité, mais la couverture des toitures ne suffira pas à elle seule pour atteindre les objectifs de la PPE, toutes les toitures ne pouvant pas supporter la charge des équipements photovoltaïques ou ne disposant pas d'une orientation favorable. Avec le développement rapide des centrales photovoltaïques au sol, la disponibilité des terrains dégradés a très vite diminué, augmentant par la même leur valeur foncière. Les potentiels terrains encore disponibles ont aujourd'hui un coût élevé du fait de leur éloignement du réseau et/ou de leur caractère accidenté. Les développeurs se tournent, de fait, vers les terrains agricoles, vus comme des opportunités majeures pour développer la surface de production photovoltaïque.

Dans ce contexte, et inspirés par les démarches d'agroforesterie, les gestionnaires ont ainsi commencé à monter des projets d'agrivoltaïsme couplant activité de production photovoltaïque et activité agricole. Après plusieurs expériences décevantes sur la combinaison photovoltaïsme-serres agricoles (maraîchage, horticulture, arboriculture, pépinières) dans lesquelles les rendements et la qualité des productions agricoles s'étaient dégradés, le concept d'agrivoltaïsme a émergé, notamment via l'appel d'offre Innovation de la Commission de Régulation de l'Énergie, comme étant le couplage d'une activité agricole et d'une activité photovoltaïque, dans une synergie de fonctionnement.

À l'heure actuelle, en France et à l'étranger, différentes productions agricoles ont fait l'objet d'expérimentations dans le cadre de projets d'installations de parcs photovoltaïques : cultures maraîchères, viticulture, arboriculture, grandes cultures, et dans une moindre mesure, l'élevage (photos 1 à 4). Les résultats des principaux essais menés en élevage sont présentés en partie 2 de ce guide.



Photo 1 : Ombrières photovoltaïques installées au-dessus de cultures maraîchères (© Voltalia)



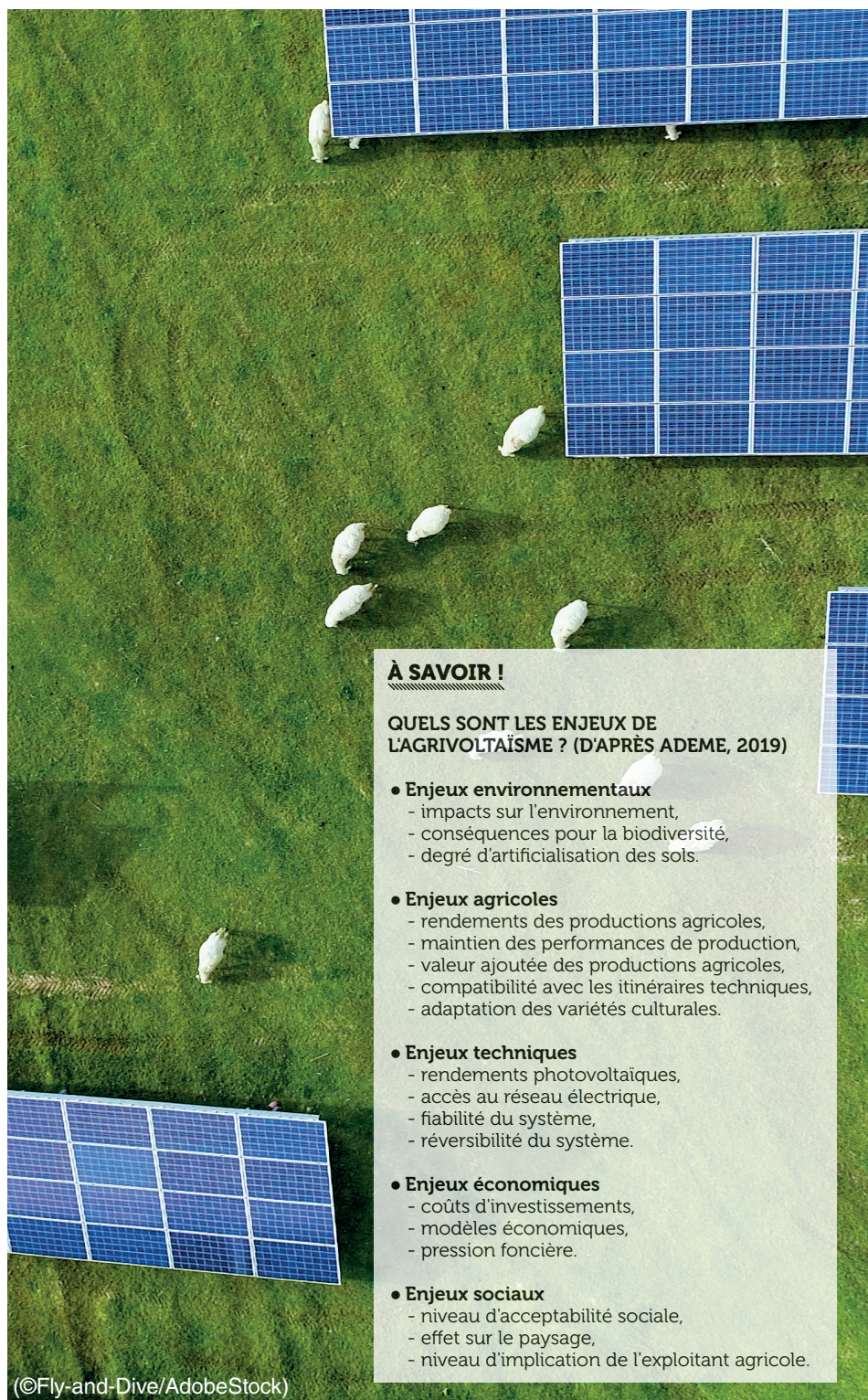
Photo 2 : Ombrières photovoltaïques mobiles installées au-dessus de cultures maraîchères (© Jeson/AdobeStock)



Photo 3 : Tables photovoltaïques implantées au-dessus de grandes cultures (© Jeson/AdobeStock)



Photo 4 : Brebis au pâturage dans une centrale photovoltaïque à tables fixes (© TSE)



À SAVOIR !

QUELS SONT LES ENJEUX DE L'AGRIVOLTAÏSME ? (D'APRÈS ADEME, 2019)

- **Enjeux environnementaux**
 - impacts sur l'environnement,
 - conséquences pour la biodiversité,
 - degré d'artificialisation des sols.
- **Enjeux agricoles**
 - rendements des productions agricoles,
 - maintien des performances de production,
 - valeur ajoutée des productions agricoles,
 - compatibilité avec les itinéraires techniques,
 - adaptation des variétés culturales.
- **Enjeux techniques**
 - rendements photovoltaïques,
 - accès au réseau électrique,
 - fiabilité du système,
 - réversibilité du système.
- **Enjeux économiques**
 - coûts d'investissements,
 - modèles économiques,
 - pression foncière.
- **Enjeux sociaux**
 - niveau d'acceptabilité sociale,
 - effet sur le paysage,
 - niveau d'implication de l'exploitant agricole.

(©Fly-and-Dive/AdobeStock)

ENCADREMENT DE LA PRATIQUE DE L'AGRIVOLTAÏSME EN FRANCE

Cadre législatif de l'agrivoltaïsme

La loi du 10 mars 2023 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables a permis d'apporter un cadre législatif à l'agrivoltaïsme, qui était jusque-là encadré en France par la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 13 octobre 2014.

Une installation agrivoltaïque y est définie comme une installation de production d'électricité photovoltaïque dont les modules sont sur une parcelle agricole.

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.

Avec ce nouveau cadre, l'agrivoltaïsme est à différencier du « photovoltaïsme au sol », qui, par principe, est interdit sur les terrains agricoles, sauf pas dérogation. Pour bénéficier d'une dérogation, le terrain doit avoir été identifié en amont comme « terrain inculte ou inexploité depuis une durée minimale », dans un document cadre proposé par la Chambre d'agriculture départementale et validé sur avis conforme de la Commission Départementale de Préservation des Espaces Naturels, Agricoles et Forestiers (CDPENAF).

La publication du décret d'application du 9 avril 2024, de l'arrêté ministériel du 5 juillet 2024 et de l'instruction interministérielle relative aux installations photovoltaïques sur espaces naturels, agricoles et forestiers, du 18 février 2025, a permis de

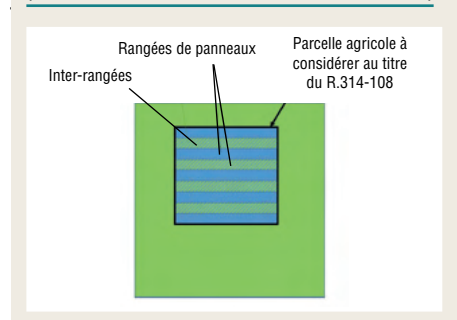
clarifier les notions de services (tableau 1) et de définir les termes des critères d'évaluation pour la conception des projets agrivoltaïques (tableau 2).

Ainsi, la 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 panneaux¹. Elle est donc à différencier de la surface clôturée de la centrale, qui intègre la surface agricole autour du périmètre de panneaux continu (figure 2).

En élevage de ruminants, la production agricole d'une parcelle agrivoltaïque est **significative** lorsque la production de biomasse fourragère (moyenne olympique des 5 dernières années, mesurée à l'échelle de la parcelle) et le taux de chargement (moyenne olympique des 5 dernières années, mesurée à l'échelle de la surface accessible aux animaux) sont supérieurs à 90 % de la moyenne olympique des 5 dernières années, observés sur une zone témoin ou un référentiel en faisant office.

D'après le décret, en élevage de ruminants, cette zone témoin n'est pas obligatoire. Cependant, pour vérifier l'indicateur pertinent « volume de biomasse fourragère », la présence d'une zone témoin, permettant une comparaison fiable des rendements, semble indispensable.

FIGURE 2 : REPRÉSENTATION SCHÉMATISÉE D'UNE PARCELLE AGRICOLE AU TITRE DE L'AGRIVOLTAÏSME (INSTRUCTION MINISTÉRIELLE DU 11 FÉVRIER 2025)



¹ Périmètre englobant l'ensemble des rangées et inter-rangées ou des installations ponctuelles, et non pas un détournement de chacune des rangées ou installations ponctuelles. A noter : des pistes, voies d'entretien et équipements nécessaires au raccordement au réseau électrique de l'installation rendus nécessaires par le projet ne sont pas inclus au sein de la parcelle agricole.

TABLEAU 1 :
DÉFINITION DES SERVICES RENDUS PAR UN PROJET AGRIVOLTAÏQUE
(DÉCRET D'APPLICATION DU 9 AVRIL 2024)

SERVICE	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	- 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 suivants : • 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
(DÉCRET D'APPLICATION DU 9 AVRIL 2024)

CRITÈRE	INDICATEUR	SEUIL
Production agricole significative	Production de biomasse fourragère (mesurée à l'échelle de la parcelle) et taux de chargement (mesuré à l'échelle de la surface accessible aux animaux).	Supérieur à 90% du référentiel
Revenu agricole durable	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 supérieur
Production agricole principale	- Superficie non exploitable du fait de l'installation agrivoltaïque. - Taux de couverture	Inférieur à 10% Inférieur à 40% (sauf si technologie éprouvée ou projet < 10 MWc)

- agrivoltaïque installée, dans une limite de 1 ha ;
- être située à proximité de l'installation agrivoltaïque ;
- ne comporter ni installation équipée de modules photovoltaïques ni installation ou arbre apportant de l'ombre ;
- être cultivée dans les mêmes conditions que la parcelle sur laquelle est située l'installation agrivoltaïque.

La production agricole est **principale** lorsque :

- la superficie qui n'est plus exploitable du fait de l'installation agrivoltaïque n'excède pas 10 % de la parcelle agricole ;
- la hauteur de l'installation agrivoltaïque ainsi que l'espacement inter-rangées permettent une exploitation normale et assurent notamment la circulation, la sécurité physique et l'abri des animaux ainsi que, si les parcelles sont mécanisables, le passage des engins agricoles ;
- pour les installations de plus de 10 MW, le taux de couverture n'excède pas 40 %.

Le taux de couverture est défini comme le rapport de la surface maximale projetée au sol des modules photovoltaïques sur la parcelle agricole. Un arrêté des ministres chargés de l'énergie et l'agriculture doit prochainement fixer une liste de technologies éprouvées ainsi que leurs valeurs maximales de taux de couverture. Cette liste sera établie sur la base de l'analyse de l'état de l'art et des statistiques fournies par l'Ademe.

Enfin, le revenu agricole est **durable** lorsque la moyenne des revenus² issus de la vente des productions végétales et animales de l'exploitation agricole après l'implantation de l'installation agrivoltaïque n'est pas inférieure à la moyenne de ces revenus avant l'implantation de l'installation agrivoltaïque, en tenant compte de l'évolution de la situation économique générale et de l'exploitation. Le cadre législatif de l'agrivoltaïsme a permis d'apporter des définitions et des

critères d'éligibilité, indispensables au développement de la filière. D'autres projets de loi sont actuellement en train d'être légiférés. Ils permettront de préciser la grille de lecture des textes existants.

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.

Côté filières de l'énergie, 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 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 ».

Côté filières agricoles, la Fédération Nationale Ovine (FNO) 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.

² Revenus issus de la vente des productions végétales et animales = EBE – revenus directs et indirects issus de l'agrivoltaïsme (+ rémunération du travail et des cotisations associées).

En 2021, Chambres d'agriculture France, la Fédération Nationale des Syndicats d'Exploitants Agricoles et EDF Renouvelables ont signé une charte pour développer et mieux encadrer les projets photovoltaïques au sol sur terres agricoles. Plus localement, les institutions (Chambres d'agriculture, communauté de communes, Direction Départementales des Territoires [et de la Mer]) se sont progressivement appropriées 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-Cogeca (Comité des organisations professionnelles agricoles - Confédération générale des coopératives agricoles) a publié, le 16 janvier 2025, les « Réflexions préliminaires concernant les équipements solaires photovoltaïques en agriculture et sylviculture » (Agra Europe, 2025), proposant ainsi les bases d'un encadrement européen de l'agrivoltaïsme.

Ces chartes ont pour point commun de faire de la préservation des activités et du foncier agricoles une priorité. L'activité de production agricole doit prévaloir partout où elle peut être maintenue. Les signataires exposent clairement l'idée que l'agrivoltaïsme est avant tout un outil agricole consolidant le revenu des exploitations et offrant des possibilités d'adaptation aux changements climatiques, et non pas un outil de production d'électricité en première destination. Pour ces acteurs agricoles, l'agrivoltaïsme ne peut être vertueux que si l'agriculteur et la production agricole sont au cœur du dispositif.

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 (La France Agricole, 2024) dans cinq régions (Bourgogne-Franche-Comté, Nouvelle-

Aquitaine, Occitanie, Provence-Alpes-Côte d'Azur 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 terme, 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.

Plus spécifique aux suivis expérimentaux des installations agrivoltaïques, 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 sur la thématique de l'agrivoltaïsme : le PNR AgriPV (INRAE, 2023). 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 des productions 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 (Afnor, 2024). Son objectif est de qualifier un projet agrivoltaïque, de la phase de conception jusqu'à la phase de fonctionnement. D'après Afnor, ce référentiel, composé de 48 critères d'exigence, a pour objectif de mettre en avant les projets agrivoltaïques vertueux, de favoriser leur développement et de structurer la filière.

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

Les étapes pour obtenir la mise en service d'une installation agrivoltaïque sont nombreuses. Plus de 5 ans peuvent être nécessaires à la concrétisation d'un projet agrivoltaïque (durée variable selon les développeurs). Ces délais et les définitions

récentes de l'agrivoltaïsme expliquent le peu de retour concernant les impacts des installations agrivoltaïques sur les systèmes agricoles (production, bien-être des animaux, conditions de travail de l'éleveur...).

Schématiquement, 4 étapes principales sont à distinguer (figure 3) :

► Etape 1 : Développement du projet

Après une phase de discussion entre les acteurs du projet, le développeur signe la promesse de bail emphytéotique avec le propriétaire de la parcelle et la promesse d'engagement avec l'éleveur, qui peut prendre plusieurs formes : prêt d'usage, contrat de prestation de service, bail rural avec clauses spécifiques.

Le développeur enclenche ensuite la réalisation des études obligatoires (étude préalable agricole, étude faune-flore, note descriptive du projet et de vérification des critères) et constitue le permis de construire. En parallèle, l'éleveur, accompagné du développeur et éventuellement d'un organisme spécialisé, définit son projet agricole et les modalités d'exploitation de la centrale. Pendant cette phase, le projet est porté à la connaissance des acteurs territoriaux (mairie, communauté de communes, ...) afin de favoriser son acceptabilité.

► Etape 2 : Instruction du permis de construire

Le permis de construire est instruit par les services de l'état. Il est soumis à l'avis de la CDPENAF, qui est conforme, c'est-à-dire que le permis ne peut pas être accordé si la CDPENAF est défavorable au projet. Selon la note d'instruction, les chartes ne sont pas recevables légalement pour émettre un avis conforme défavorable en CDPENAF. In fine, le permis de construire est accordé par décision préfectorale. Cependant, des recours peuvent être déposés pendant une durée de deux mois après obtention du permis. En cas de recours, une nouvelle procédure est engagée.

► Etape 3 : Obtention des tarifs et demande de raccordement

Une fois le permis de construire purgé de tout recours, les développeurs déposent un dossier à la Commission de Régulation de l'Energie (CRE) afin d'obtenir un tarif de revente de l'électricité et finalisent le montage financier du projet. Une alternative est d'établir un contrat direct d'achat d'électricité (PPA) entre le producteur d'électricité et une personne morale (entreprise, collectivité). C'est également le moment de faire une demande auprès d'Enedis pour le raccordement de la centrale au réseau, sur un poste source. En fonction de la distance du poste source, le coût et la durée des travaux varient fortement (jusqu'à 24 mois). Cependant la difficulté du raccordement réside dans l'inadéquation du réseau de distribution électrique français avec la production décentralisée du photovoltaïque. Le déploiement des projets agrivoltaïques est parfois limité par le manque de poste sources.

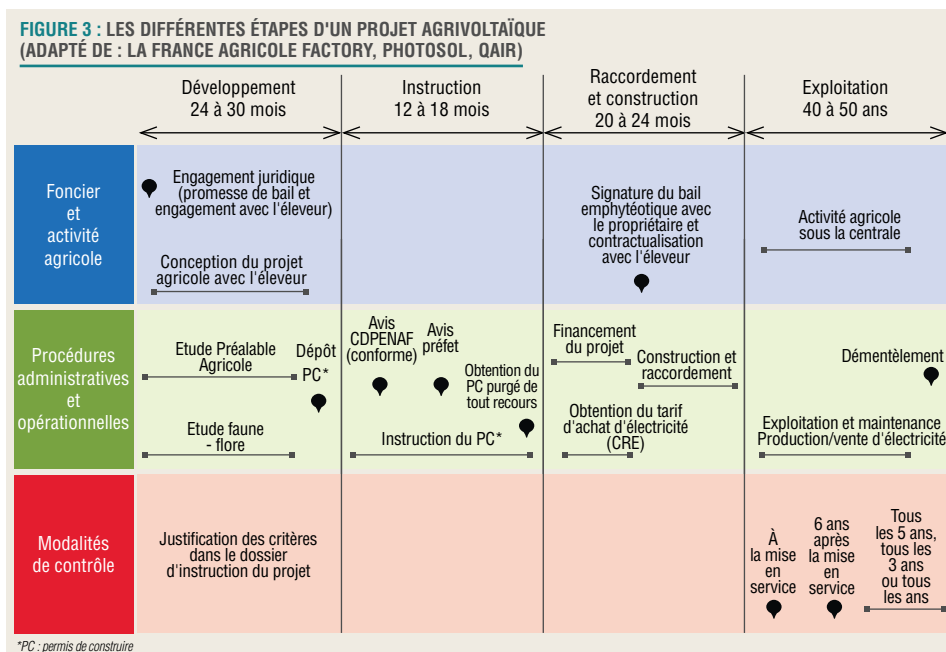
En parallèle de ces étapes, le développeur procède à la signature du bail emphytéotique avec le propriétaire de la parcelle et à la contractualisation avec l'éleveur.

► Etape 4 : Construction, mise en service, exploitation et contrôle de l'installation agrivoltaïque

Après obtention du tarif d'achat, du financement et de l'accord de raccordement au réseau, la construction de l'installation agrivoltaïque peut démarrer. À la mise en service, un contrôle préalable est réalisé puis un autre 6 ans plus tard. Ils permettent de vérifier les critères d'éligibilité d'un projet agrivoltaïque. Pendant la période d'exploitation de la centrale, un contrôle doit être réalisé tous les 5 ans pour les technologies éprouvées, tous les 3 ans pour les technologies non éprouvées respectant les 40% de taux de couverture et tous les ans pour les autres cas. Le démantèlement de la centrale agrivoltaïque est obligatoire et prévoit une remise en l'état initial de la parcelle. Il doit

être réalisé après 40 ans d'exploitation, sauf si une reconduction de 10 ans maximum est autorisée, à condition que

la production agricole de la parcelle soit toujours significative.



ZOOM SUR LE COUPLAGE ÉLEVAGE ET PHOTOVOLTAÏSME

Co-activité élevage de ruminants-photovoltaïsme : de quoi parle-t-on ?

La pratique de l'entretien de parcs photovoltaïques par des ruminants au pâturage commence à être bien répandue en France, sous l'impulsion de nombreuses sociétés d'écopâturage proposant leurs services en mettant à disposition des troupes de ruminants (principalement des ovins, souvent des races rustiques à petits effectifs). Dans la plupart des cas, il s'agit de centrales photovoltaïques déjà construites, généralement sur des zones non agricoles, sur lesquelles s'est organisé *a posteriori* un entretien du couvert végétal par le pâturage. Ces projets de couplage élevage-photovoltaïsme, que l'on peut qualifier d'écopâturage sans visée réellement productive, se distinguent des projets d'agrivoltaïsme à proprement

parlé, pour lesquels il y a une réelle volonté de synergie entre les activités d'élevage (production de viande ou de lait) et de production d'électricité. Les centrales agrivoltaïques prennent en considération la dimension agricole dès leur phase de développement et visent à favoriser les performances de production agricole, en synergie avec la production d'électricité.

Compte tenu de délais d'instruction importants, il y a aujourd'hui en France encore peu de projets d'agrivoltaïsme tel que défini précédemment, engageant des éleveurs professionnels en partenariat avec des gestionnaires de centrales photovoltaïques. De plus, la plupart des dispositifs d'agrivoltaïsme, couplant élevage et photovoltaïsme, présents aujourd'hui en France, concerne des éleveurs ovins allaitants, même si la pratique se développe également en bovins.

Agrivoltaïsme, un couplage gagnant-gagnant

Sur le principe, les projets couplant photovoltaïsme et élevage de ruminants peuvent présenter des synergies et des bénéfices intéressants pour les différents acteurs impliqués.

- **Pour les développeurs**, la co-activité avec l'élevage permet tout d'abord d'accéder à des surfaces agricoles tout en préservant leur nature première de production agricole. De plus, la gestion de la végétation, habituellement réalisée mécaniquement, est, dans ces projets, assurée par des animaux, ce qui réduit le coût et les impacts écologiques de l'entretien ainsi que le risque de dommages sur les équipements (jet de pierres...). La présence régulière de l'éleveur permet également une veille sur le parc, ce dernier pouvant signaler tout dysfonctionnement à l'exploitant de la centrale.

- **Pour les éleveurs**, les installations agrivoltaïques 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 la résilience des élevages vis-à-vis du changement climatique. 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 la pratique de pâturage en parc agrivoltaïque permet la diversification et la sécurisation des revenus dans le contexte de filières d'élevage qui doivent relever le défi de la rentabilité, du renouvellement des générations et de la reprise des

cheptels. 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 agrivoltaïques peuvent représenter un abri en cas de fortes chaleurs, de vent froid ou d'intempéries (photo 5). Les clôtures des centrales, hautes et parfois semi-enterrées, offrent également une protection intéressante du troupeau contre les prédateurs.



Photo 5 : Les installations agrivoltaïques génèrent de l'ombre pour les animaux (© NEOEN)

Facteurs conditionnant la réussite des projets agrivoltaïques

Trois facteurs incontournables conditionnent le succès et la durabilité des projets couplant élevage et photovoltaïsme :

- le respect du bien-être animal ;
- le maintien de la performance de la production agricole (en lien avec la productivité de l'élevage, le temps et l'ergonomie du travail de l'éleveur) ;
- le maintien de la performance de la production d'électricité (gestion contrôlée de la végétation).

Il est important que ces trois conditions soient réunies pour qu'un projet agrivoltaïque impliquant l'élevage de ruminants soit viable et pérenne et que tous les acteurs impliqués s'y retrouvent. De plus, il est essentiel que ces conditions soient intégrées dès la conception du projet.



Ovins pâturant sous la centrale agrivoltaïque de Bioule (82) (© NEOEN)

Recensement des essais et travaux menés sur l'agrivoltaïsme et la co-activité élevage/production d'énergie

Le déploiement d'une nouvelle pratique nécessite de mener des travaux sur le terrain afin de mieux comprendre l'évolution de la production d'herbe et le comportement du troupeau lorsqu'ils sont exposés à un environnement sous panneaux photovoltaïques. Ainsi, plusieurs éléments sont actuellement au cœur des expérimentations : étude de l'impact du pâturage sous panneaux photovoltaïques sur le bien-être des animaux d'élevage, sur le couvert végétal et sur la productivité de l'activité d'élevage. À ce jour, les études réalisées concernent principalement des centrales photovoltaïques au sol, dans des contextes très hétérogènes : climat, type de prairie, durée des études...

RÉFÉRENCES SCIENTIFIQUES DISPONIBLES CONCERNANT L'IMPACT DE L'ACTIVITÉ PHOTOVOLTAÏQUE SUR L'ACTIVITÉ D'ÉLEVAGE DE RUMINANTS

La pratique de l'agrivoltaïsme prenant de l'ampleur et devenant un sujet d'importance, de plus en plus de travaux expérimentaux se mettent en place afin d'évaluer les impacts de l'activité photovoltaïque sur les activités agricoles. Toutefois, ces travaux touchent majoritairement les secteurs des productions végétales (maraîchage, arboriculture, viticulture). Les effets de la pratique du pâturage sous panneaux photovoltaïques restent, à ce jour, assez peu étudiés. Les principales références bibliographiques analysant les impacts sur le bien-être animal et la performance de l'activité d'élevage sont présentées ci-après.

Impacts du pâturage sous panneaux photovoltaïques sur le bien-être des animaux d'élevage

Peu d'études documentent les impacts de la présence de panneaux photovoltaïques sur des ruminants au pâturage, alors que le bien-être animal, tel que défini par l'ANSES en 2018 et par le Farm Animal Welfare Council (voir encadré "Définitions" ci-contre), est pourtant un prérequis fondamental à l'existence de ces activités. D'une part, certaines études montrent que les installations photovoltaïques permettent une amélioration du confort des animaux, notamment dans des conditions météorologiques extrêmes (vent fort, fortes chaleurs). L'ombrage que procurent les panneaux photovoltaïques est particulièrement apprécié des animaux pendant les journées avec une intensité élevée de radiations solaires. *Maia et al. (2020)* et *Deiss (2023)* ont ainsi montré que, grâce à l'ombrage fourni par les tables du parc photovoltaïque, les brebis disposent d'un abri qu'elles recherchent activement à mesure que les températures et rayonnements solaires augmentent. Les moutons préfèrent notamment l'ombre

des panneaux lorsque les températures dépassent 19°C, ce qui améliore leur confort physiologique (*Marcone et al. 2021*). L'expérimentation de *Sharpe et al. (2021)* a également montré, par des suivis de température interne et de fréquence respiratoire, que l'ombrage des panneaux photovoltaïques semble réduire l'intensité de stress thermique des vaches laitières au pâturage en été. De même, l'étude californienne de *Kampherbeek et al. (2023)* met en évidence la différence de comportement observée sur des ovins sous panneaux : les brebis étaient plus actives et brouaient plus sur la parcelle du parc, comparé à un troupeau resté sur une prairie naturelle exposée.

Concernant la productivité du troupeau, la conduite sous panneaux ne semble pas avoir d'impacts (*Andrew et al., 2021* ; *Rainon et Dagouneau., 2022*).

DÉFINITIONS

« Le bien-être d'un animal est l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que de ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal. » (*Anses, 2018*)

Les méthodes d'évaluation du bien-être des animaux d'élevage s'appuient sur les « cinq libertés », proposées par le Farm Animal Welfare Council, qui permettent de délimiter les principes de base afin d'assurer le bien-être des animaux d'élevage :

- Offrir aux animaux un accès libre à l'eau et à de la nourriture saine pour le maintien d'un bon niveau de santé et de vigueur.
- Concernant les aspects sanitaires, appliquer des mesures de prévention ou un diagnostic rapide suivi du traitement approprié.
- Proposer un environnement approprié, incluant un abri et une aire de repos confortable.
- Laisser la liberté d'expression d'un comportement normal à l'espèce grâce à un espace suffisant, des installations adaptées et la compagnie d'autres congénères.
- Garantir des conditions de vie et un traitement des animaux évitant toute souffrance mentale.

À l'inverse, plusieurs travaux expérimentaux montrent que la configuration des infrastructures et leurs conditions d'implantation peuvent nuire au bien-être des animaux (coins contendants, équipements trop bas, risque électrique, etc.). *Dietmaier (2019)* relève notamment des changements de comportement des animaux liés aux difficultés de circulation dans un parc photovoltaïque avec des tables trop basses. En effet, dans ce cas, seuls les agneaux peuvent passer sous les panneaux, les séparant ainsi de leurs mères et causant une certaine agitation chez les brebis. Par ailleurs, plusieurs cas de blessures de brebis, au dos et au thorax, ont été rapportés dans des parcs où la hauteur minimale des tables photovoltaïques était inférieure ou égale à 80 cm (*Dietmaier, 2019*). Ces freins liés à la conception et à l'ingénierie peuvent cependant facilement être levés en adaptant les équipements à la présence d'animaux d'élevage dans le parc agrivoltaïque (voir Partie 3).

D'autre part, la pratique de pâturage sous panneaux photovoltaïques semble avoir des impacts sur l'état d'hygiène des ruminants. L'étude de *Sharpe et al. (2021)* témoigne ainsi d'une dégradation de l'état de propreté de vaches laitières pâturant sous panneaux photovoltaïques en été : pattes et ventre plus sales.

Enfin, la question de l'effet des champs électromagnétiques sur les animaux d'élevage reste à explorer. Les retours d'expériences d'éleveurs pratiquant le

pâturage en centrale photovoltaïque n'ont pas, à ce jour, fait écho de problèmes concernant un quelconque effet des panneaux sur le comportement ou la santé des animaux. Les rayonnements électromagnétiques émis par les équipements photovoltaïques (panneaux, câbles, onduleurs) sont *a priori* relativement faibles. Les mesures effectuées sur des installations photovoltaïques de plusieurs centaines de KW ou plusieurs MW concluent à de faibles champs électriques et magnétiques (*Tell et al., 2012*). Au-delà de l'intensité de ces champs, il importe de prendre en compte la fréquence et la durée d'exposition à ces rayonnements. À ce jour, il n'existe pas de consensus scientifique concernant des effets à long terme sur la santé humaine d'une exposition faible mais régulière. L'impact sur les animaux reste, quant à lui, mal connu. Quoi qu'il en soit, les effets des champs électromagnétiques dépendent en grande partie de la distance à laquelle l'homme ou l'animal se trouve de la source, leur intensité étant inversement proportionnelle au carré de la distance. Dans le cas de panneaux photovoltaïques domestiques, deux ou trois mètres suffisent pour retrouver le niveau du champ électromagnétique émis naturellement par la terre. Pour des installations de très grande taille du type agrivoltaïque, il faudra un écartement de plus de dix mètres pour retrouver le niveau naturel des radiations terrestres (*Décrypter l'énergie, 2021*).



Photo 6 : Brebis à l'ombre des panneaux photovoltaïques (© Photosol)

Impacts des panneaux photovoltaïques sur le couvert végétal

Il existe peu d'études en contexte pédoclimatique français qui analysent l'impact de ce type d'installation sur un temps long et qui intègrent toutes les saisons de production d'une prairie. Les retours d'expériences de terrain témoignent que les panneaux semblent offrir un ombrage favorable à la production d'herbe, notamment en conditions de fortes chaleurs ou en cas de gelées. Selon l'ombrage que reçoit le couvert végétal, sa croissance peut être fortement affectée et son potentiel fourrager modifié. La présence de tables photovoltaïques offrirait en revanche un étalement intéressant dans le temps de la pousse de l'herbe.

Au-delà des retours d'expériences, l'impact de la présence de panneaux photovoltaïques sur le couvert végétal peut s'envisager sous plusieurs angles, au travers des impacts sur le microclimat et sur la quantité et qualité de la végétation.

Impacts des panneaux photovoltaïques sur le microclimat

Une question importante pour l'activité agricole sous une installation photovoltaïque est la modification des conditions microclimatiques et les conséquences qui en résultent pour les cultures ou la couverture herbacée. Différentes études confirment que la présence de panneaux photovoltaïques crée un microclimat, en limitant le rayonnement, en réduisant la température maximale du sol et de l'air en journée, en limitant les écarts de température entre le jour et la nuit pendant l'été, et en modifiant la vitesse du vent (Pang et al., 2017 ; Ehret et al., 2015 ; Marrou et al., 2013 ; Armstrong et al., 2016 ; Adeh Hassanpour et al., 2018). Outre cet effet parasol, il existe également un effet parapluie (Sturchio et al., 2022), ce qui amène certains développeurs de projet à revoir l'orientation des panneaux au sein des tables photovoltaïques. Armstrong et al. (2016) ont ainsi mesuré

une précipitation localisée trois fois plus importante sous les panneaux à cause d'un ruissellement de l'eau sur les cadres des supports, tandis qu'Adeh Hassanpour et al. (2018) et Madej (2020) ont trouvé un sol prairial plus humide plus longtemps sous les panneaux, comparé à la zone en plein soleil où l'évaporation est accentuée. D'autres effets sur les échanges de gaz et de vapeur d'eau et sur la distribution des précipitations dans le parc solaire peuvent être observés (Armstrong et al., 2014 ; Hernandez et al., 2014).

D'autre part, plusieurs études menées en France (Cossu et al., 2017 ; Dupraz et al., 2011), en Allemagne (Fraunhofer Institut, 2018) et aux Etats-Unis (Barron et al., 2019) montrent que les impacts des panneaux photovoltaïques sur le microclimat varient en fonction du lieu d'implantation et de la conception des infrastructures photovoltaïques. Tout d'abord, la quantité de rayonnement solaire disponible pour les plantes varie en fonction de la conception technique des panneaux (distance des panneaux au sol, distance d'inter-rang, orientation des modules). L'hétérogénéité du rayonnement au sol est, par exemple, accentuée lorsque les panneaux sont proches du sol. Enfin, les études ont montré que plus l'altitude est faible, plus les changements microclimatiques sont importants. Et, selon l'orientation et la conception du système, la vitesse du vent peut également diminuer ou augmenter, influençant la croissance des plantes.



Photo 7 : Protection du couvert végétal dans des conditions de sécheresse (Verneuil - 58) (© Photosol)

Impacts des panneaux photovoltaïques sur le rendement et la qualité de la production végétale

Les modifications des conditions microclimatiques générées par les panneaux photovoltaïques induisent des modifications sur le couvert végétal. Plusieurs études documentent l'impact de l'ombrage des panneaux photovoltaïques sur la production du couvert végétal, à la fois en termes de qualité et de quantité.

● Impacts sur la production de biomasse

Les études sur ce sujet présentent des conclusions contrastées. Plusieurs expérimentations font état de baisse de production de biomasse sous des panneaux photovoltaïques. *Armstrong et al. (2016)* ont ainsi mesuré une biomasse prairiale quatre fois plus faible sous les panneaux que dans les inter-rangs (zones situées entre deux rangées de panneaux, partiellement ombragées) ou en zone témoin, avec une photosynthèse plus basse surtout au printemps et en hiver. *Kirilov et al. (2013)* rapportent aussi une baisse de production du couvert végétal (association luzerne-dactyle) sous les panneaux. Par ailleurs, l'étude réalisée sur deux ans sur une prairie semi-aride de l'Oregon fait état d'une baisse significative de la biomasse produite en condition agrivoltaïque (sous panneau et inter-rang) par rapport à la zone témoin, variant entre -9% et -33% selon l'année (*Andrew et al., 2021*). L'étude réalisée par *Kampherbeek et al. (2016)* conclue aussi à une perte moyenne de rendement de -47% sous panneaux par rapport à la zone témoin exposé sur prairie naturelle pâturée en système ovin. De même, *Armstrong et al. (2016)* mettent en évidence une production de biomasse aérienne quatre fois inférieure en début d'été sous panneaux, comparé au témoin. Enfin, *Weselek et al. (2021)* font état d'une perte de rendement, de -5% à -8% sous une ombrière à 5m de hauteur et sur une prairie temporaire de type mélange trèfles-graminées.

À l'inverse, l'étude menée en prairie par *Adeh Hassanpour et al. (2018)* a mis en évidence une biomasse supérieure

de +90% sous les panneaux solaires en comparaison à la zone témoin, et de +126% comparé à l'inter-rang, sur la récolte de fin d'été. *Arsenault (2010)* a aussi mesuré une végétation plus haute et luxuriante à l'ombre des panneaux. Enfin, une étude menée en France entre 2020 et 2023 sur trois sites (dans l'Allier, le Cantal et la Gironde), très différents en terme de conditions pédoclimatiques, de technologies de panneaux et de type de couverts, montre peu de différence de production de biomasse sous les panneaux par rapport à l'inter-rang ou au témoin (*Madej, 2023*). Il est à préciser que les rendements observés sur ces 3 sites sont plutôt faibles pour des prairies (entre 1,5 et 3,5 tonnes de MS par ha et par an, selon les sites et les modalités). Cela s'explique par leur historique non agricole (anciennes friches, terrain réhabilité) et des conduites sans fertilisation.

L'étude menée par *Sturchio et al. (2024)* sur une parcelle semi-aride du Colorado gérée à 1500m d'altitude ne montre, quant à elle, aucune différence significative sur la production de biomasse sous panneaux par rapport à un témoin.

Ces différences de constats seraient liées à la diversité des contextes géographiques et climatiques des sites expérimentaux. Il semble en effet que les effets négatifs sur la biomasse végétale ont été notés dans des situations expérimentales où le déficit hydrique estival reste modéré (expérimentation d'*Armstrong et al. (2016)* menée en Angleterre et celle de *Kirilov et al. (2013)* menée en Bulgarie), alors que les effets positifs ont quant à eux été relevés dans des contextes climatiques de



Photo 8 : L'hétérogénéité du rayonnement au sol est accentuée lorsque les panneaux sont bas (© Idelle)

faible pluviométrie et de déficit hydrique marqué en été (expérimentation d'Adeh Hassanpour et al. (2018) menée aux Etats-Unis, en Oregon). Les panneaux photovoltaïques pourraient donc avoir un effet positif ou négatif sur la production de biomasse selon le degré d'aridité du climat et la période de l'année. Les études de Cruz (1997) et de Ludwig et al. (2001) révèlent également une corrélation entre la production de biomasse à l'ombre et les disponibilités en eau et en azote. Ces facteurs doivent donc également être pris en considération dans les réflexions.

Shemshenko et al. (2012) ont mesuré la production de biomasse de 46 espèces prairiales dans différentes conditions d'ombrage. Il apparaît tout d'abord qu'un ombrage « léger » (voile d'ombrage laissant passer 75% du rayonnement solaire) n'a pas d'incidence sur la production de biomasse, comparativement au témoin en pleine exposition. Une ombre « modérée » (voile d'ombrage laissant passer 50% du rayonnement solaire) a un effet facilitateur sur la production de biomasse. Ce n'est qu'avec un ombrage « fort » (voile d'ombrage laissant passer seulement 10% du rayonnement solaire) que la biomasse produite par les plantes ombragées est significativement plus faible. Ces résultats expérimentaux permettent d'imaginer ce que pourraient être les impacts de panneaux photovoltaïques sur le couvert végétal.

● Impacts sur la dynamique de pousse

Madej (2020), Arsenault (2010) et Adeh Hassanpour et al. (2018) indiquent une dynamique de croissance de la végétation plus importante sous les panneaux par rapport aux zones ensoleillées en période estivale, grâce à la réduction des stress hydrique, lumineux et thermique induits par la protection du couvert par les panneaux photovoltaïques. Cette différence peut aussi être expliquée par la réserve en eau plus élevée dans le temps sous les panneaux solaires. Madej (2020) précise toutefois que cette amélioration de la croissance du couvert sous les panneaux a été observée dans des conditions climatiques estivales particulièrement contraignantes. En absence de stress thermique et hydrique, le potentiel de croissance restait en effet plus important dans les zones de pleine exposition, qui ne présentaient pas de limitation de rayonnement, contrairement aux zones sous les panneaux. Ce résultat rejoint l'hypothèse selon laquelle l'effet bénéfique des panneaux sur le couvert végétal se ferait d'autant plus sentir dans des conditions de stress hydrique et thermique.

Il est important de noter que la plupart des études sur l'impact des panneaux photovoltaïques sur la productivité du couvert végétal s'attachent à isoler spécifiquement l'effet des panneaux sur le couvert, en dehors de toute autre interaction. Madej (2020) propose une analyse complémentaire en évaluant l'impact des panneaux sur le couvert végétal dans un contexte de pâturage ovin.



Photo 9 : Ovins pâturant dans un parc agrivoltaïque (© NEOEN)

L'étude nuance les effets positifs des panneaux sur la biomasse. Les effets positifs liés aux panneaux sur la pousse de l'herbe (comme l'efficacité d'utilisation de l'eau et l'efficacité d'interception des rayonnements) sont contrebalancés par les perturbations ovines (piétinement et tassement notamment), le pourcentage de sol nu diminuant la densité végétale.

● Impacts sur la qualité du couvert végétal

Madej (2020) relève que, en été, l'état de la végétation et sa qualité se sont retrouvés avantageés grâce aux panneaux solaires, la protégeant des stress hydrique, lumineux et thermique. La végétation sous les panneaux est restée plus verte que dans les zones ensoleillées et a présenté une qualité fourragère supérieure, avec un taux d'azote supérieur et une teneur en fibre diminuée grâce à la maturation retardée et à la réduction des stress.

Cette observation a été confirmée par des études complémentaires qui mettent en avant une meilleure valeur fourragère des prairies sous parc, avec notamment une augmentation du taux azote/protéine (Madej et al., 2024 ; Sturchio et al., 2024). Les études de Andrew et al. (2021) et de Kampherbeek et al. (2023) révèlent que le couvert situé sous les panneaux présente respectivement de meilleures valeurs énergétiques et une meilleure digestibilité que lorsque le couvert est exposé en plein soleil. Néanmoins, ces études ne font pas état de la période à laquelle ces observations ont été faites. En effet, plusieurs études s'accordent à dire que la valeur des fourrages sous parc est variable en fonction de la zone, de la période et de l'année (Andrew et al., 2021 ; Madej et al., 2024 ; Sturchio et al., 2024).

● Impacts sur l'évolution de la composition du couvert végétal

Sur ce point, plusieurs phénomènes sont à l'œuvre. D'une part, certaines plantes adaptent leur morphologie pour s'acclimater aux conditions ombragées et compenser la limitation en lumière sous



Photo 10 : Centrale photovoltaïque du Castellet (83) (© Voltaïa)

les panneaux. Ces plantes forment alors des feuilles plus fines et allongées pour optimiser l'interception du rayonnement (Marrou et al., 2013 ; Valle et al., 2017). Les graminées notamment vont avoir une croissance en hauteur plus importante sous des panneaux solaires, au détriment du tallage. Le couvert sera alors moins dense, avec une diminution du ratio feuilles/tiges (Rainon et Dagouneau, 2022 ; Madej et al., 2023). D'autre part, toutes les études constatent une diminution de la richesse spécifique et un changement spontané dans la composition floristique du couvert végétal sous des panneaux photovoltaïques. Ainsi, Kirilov et al. (2013), Armstrong et al. (2016), Montag et al. (2016), Adeg Hassanpour et al. (2018) et Madej (2023) rapportent tous une baisse de la diversité végétale prairiale sous les panneaux solaires par rapport à l'inter-rang, avec une majorité de graminées sous les panneaux, comparativement à une majorité de plantes diverses et de légumineuses en inter-rang et zone témoin. Sous panneaux, la composition des prairies aurait tendance à se simplifier avec une disparition des dicotylédones au profit des graminées (Andrew et al., 2021 ; Andrew et al., 2024). Certains essais montrent aussi une augmentation de mousse sous panneau (Madej et al., 2023).

Impacts du pâturage sous panneaux photovoltaïques sur la productivité de l'activité d'élevage

Il existe très peu de références concernant les impacts du pâturage en centrale photovoltaïque sur la productivité de l'activité d'élevage de ruminants.

L'étude menée par *Andrew (2020)* compare la croissance d'agneaux dans un contexte de pâturage sous panneaux solaires en comparaison avec des pâturages ouverts de l'Oregon. Les résultats préliminaires rapportent que la production de poids vif (en kg/ha/jour) et les gains de poids vif des agneaux sont comparables dans les deux types de pâturage. L'étude ne montre pas de différence significative de consommation d'eau quotidienne moyenne des agneaux. Plus largement, l'étude conclue que le pâturage d'agneaux sous panneaux photovoltaïques permet le maintien d'un chargement plus élevé vers l'été.

Une autre étude, menée par *Sharpe et al. (2021)* sur des vaches laitières pâturant sous des panneaux photovoltaïques, a par ailleurs montré que les panneaux n'influent ni sur la production de lait, ni sur la qualité du lait (taux de matière grasse, taux protéique), ni sur les périodes d'abreuvement.

RECU SUR LA BIBLIOGRAPHIE : DES EXPÉRIMENTATIONS À MULTIPLIER ET DES QUESTIONS ENCORE À EXPLORER

Les études sur les impacts de l'agrivoltaïsme sur les activités d'élevage n'en sont qu'à leur début. Les références scientifiques concernant l'impact du pâturage en centrale photovoltaïque sur le bien-être des ruminants, sur le couvert végétal ou sur la productivité de l'activité d'élevage sont en effet peu nombreuses et principalement réalisées en dehors de la France. Certains protocoles d'études présentent des fragilités (notamment *Maia et al. (2020)*, *Armstrong et al. (2016)*), ce qui rend les conclusions peu fiables. Il est donc impératif de poursuivre ce travail d'investigation et de multiplier les expérimentations en France, dans différents contextes pédoclimatiques, avec différentes espèces de ruminants et dans différentes configurations d'équipements

agrivoltaïques. Avec l'évolution récente des directives et des décrets, il est important de constituer une base de données riche avec des évaluations objectives de l'impact des panneaux solaires sur l'activité d'élevage, que ce soit en termes de productivité agronomique et zootechnique ou de bien-être animal. De nouvelles études doivent produire des références manquantes à ce jour, avec les nouvelles directives en termes de technologies autorisées, sur les impacts socio-économiques de la pratique (rentabilité, temps de travail notamment).

En parallèle, il est tout de même possible de formuler des préconisations simples afin que les projets qui se montent soient les plus adaptés à la co-activité entre production photovoltaïque et élevage de ruminants. C'est tout l'objet de ce guide qui vise à diffuser des recommandations mobilisables lors du montage de projets couplant élevage de ruminants et photovoltaïsme, afin de multiplier les chances de réussite du projet. Les préconisations mises en avant dans ce guide sont basées sur les retours d'expériences de plusieurs éleveurs pratiquant actuellement le pâturage en parc photovoltaïque, sur la visite de plusieurs centrales actuellement entretenues par des ruminants dans différents contextes pédoclimatiques et sur l'expertise de l'Institut de l'Élevage en matière de gestion du pâturage.



Photo 11 : Centrale photovoltaïque pâturée par des ovins (30)
(© Idele)

À SAVOIR



La cellule Agrivoltaïsme de l'Institut de l'Élevage

Pour faire face aux attentes du décret d'application de l'agrivoltaïsme et répondre à la demande d'acquisition de références dans le contexte français de l'élevage de ruminants, l'Institut de l'Élevage, en partenariat avec d'autres organismes, engage des suivis expérimentaux sur l'ensemble du territoire, couvrant une diversité de filières, de technologies et de pratiques agricoles.

Les essais menés portent sur une grande variété de thématiques :

- Suivis fourragers : productivité fourragère, évolution de la composition botanique et étude de la valeur alimentaire de la prairie sous panneaux, comparé à une parcelle équivalente exposée au rayonnement solaire.
- Suivis zootechniques : comportement du troupeau sous panneau et indicateurs sanitaires, productivité du troupeau et de bien-être animal.
- Suivis technico-économiques : productivité du troupeau *via* des indicateurs de performances adaptés à la filière concernée (troupeau laitier ou allaitant), EBE, marge.
- Suivis climatiques : *via* des sondes météorologiques suivant des indicateurs climatiques (température, humidité, rayonnement, pluviométrie) et pédologiques (humidité du sol).
- Suivis agronomiques : variation de la composition du sol, choix du couvert végétal.
- Suivis sociologiques : impact de la pratique sur le temps de travail de l'éleveur.

CONTACT : agrivoltaisme@idele.fr

ZOOM SUR



Ovilab, la première plateforme d'expérimentation et de démonstration agrivoltaïque innovante en production ovine

L'Institut de l'Élevage et le Centre Interrégional d'Information et de Recherche en Production Ovine (CIRPO) se sont associés à l'entreprise QAIR France pour construire une installation agrivoltaïque de recherche et d'innovation en production ovine sur le site expérimental ovin du Mourier (87). L'objectif est de fournir les

références attendues pour le développement de projets agrivoltaïques vertueux, avec des résultats diffusés en toute transparence.

Cette étude, unique et inédite, sera menée sur des technologies communément utilisées et déployées en conditions réelles d'exploitation. Deux sites sont concernés :

- Un site expérimental, construit sur une prairie d'environ 16 ha de taille suffisante et adaptée à la production de références fiables et robustes. Plusieurs profils d'infrastructures (fixe/trackers - hauteur de bas de table, distance d'inter-rang) seront testés sur 8 parcelles de 1 à 2 ha. L'installation doit permettre de maintenir le pâturage des animaux, la récolte des fourrages ainsi que l'entretien et le renouvellement des prairies. L'objectif de ce site est d'acquérir des références techniques dans le contexte pédoclimatique du Limousin. 50 mesures seront réalisées tous les ans et répétées dans le temps. Elles permettront ainsi d'évaluer les impacts des différentes modalités agrivoltaïques en fonction des conditions de l'année. Les domaines de recherche seront principalement axés sur : la zootechnie (performances animales et de reproduction) ; le comportement, la santé et le bien-être animal ; les conditions de travail (de l'éleveur et du chien de conduite) ; la production fourragère (en quantité, qualité et répartition) ; les microclimats ; les champs électriques ; le paysage, la biodiversité et le sol.
- Un site de démonstration, d'une surface de 9 000 m² avec plus d'une dizaine de technologies pour illustrer la diversité des solutions pouvant être déployées en agrivoltaïsme/élevage ovine et sensibiliser les acteurs du monde agricole.

La mise en service est prévue en 2026 pour le démonstrateur et en 2028 pour le site expérimental.



Vaches pâturent dans une centrale agrivoltaïque à Souleuvre-en-Bocage (© TSE)

Adapter les équipements agrivoltaïques et réfléchir à leur implantation pour une co-activité avec l'élevage

Les centrales solaires classiques, conçues pour un usage exclusivement énergétique, ne sont pas toujours adaptées à la présence d'animaux. À l'inverse, les installations agrivoltaïques intègrent dès la conception les exigences de la coactivité avec l'élevage : hauteur des structures, sécurisation des équipements, accessibilité du troupeau. L'objectif est de permettre une exploitation agricole viable tout en produisant de l'électricité. Cette approche impose un choix technologique et un dimensionnement spécifique, garantissant à la fois le bien-être animal, la continuité de l'activité agricole et performance énergétique.

Les premiers retours d'expériences montrent que les projets d'agrivoltaïsme associant l'activité d'élevage après la conception et l'implantation du parc révèlent souvent des problèmes pouvant compromettre le maintien de la co-activité : impacts négatifs sur le bien-être animal, ressources fourragères trop pauvres, temps trop conséquent passé par l'éleveur... La co-activité photovoltaïsme-élevage demande donc une réflexion sur l'agencement et l'implantation des infrastructures photovoltaïques. Ces spécificités sont à intégrer en amont de l'installation du parc agrivoltaïque, dès la phase de développement, et au moment des premières propositions d'implantation des panneaux sur les parcelles (calepinage).

CHOISIR UNE STRUCTURE PHOTOVOLTAÏQUE ADAPTÉE À LA CO-ACTIVITÉ AVEC L'ÉLEVAGE

Derrière le concept d'« installation agrivoltaïque » se cache une diversité d'infrastructures dont le point commun est de produire de l'électricité grâce à des modules composés de cellules photovoltaïques.

Les différentes technologies disponibles

Différents types de support et différentes technologies sont aujourd'hui disponibles, certaines déjà mises sur le marché et d'autres, en lien avec le développement de l'agrivoltaïsme en filière bovine, encore à l'état de prototype. Ainsi, les installations agrivoltaïques peuvent être classées par type de support :



Photo 12 : Ombrières photovoltaïques à Souleuvre-en-Bocage (14) (@TSE)

- **Centrales solaires au sol « classiques »** : les panneaux photovoltaïques sont disposés en pans inclinés et c'est essentiellement leur faible élévation qui distingue les installations au sol des ombrières.

- **Ombrières** : structures sans parois verticales, constituées d'une surface horizontale ou oblique en hauteur et de ses supports, pouvant être fixes ou orientables (photo 12).

Ces deux types de support sont eux-mêmes définis par différentes technologies existantes :

- Structures fixes orientées au sud (photo 13).

- Panneaux mobiles équipés d'une motorisation leur permettant de suivre la course du soleil pour optimiser leur exposition et donc leur rendement :

- trackers 1 axe pour suivre le soleil d'est en ouest (photo 15) ;

- trackers 2 axes pour une modification de l'orientation et de l'inclinaison (photo 16).

- **Panneaux verticaux**, également nommés haies solaires (photo 14).



Photo 13 : Brebis pâture dans un parc photovoltaïque à tables fixes à Antugnac (11) (© Neoen)

Le recul de ces dernières années sur les centrales au sol, initialement valorisées par des exploitations ovines, a permis de prendre conscience de l'impact de ces centrales sur le bien-être des animaux et sur la valorisation difficile de l'herbe sous les panneaux. Les équipements les plus couramment rencontrés dans les parcs français actuellement pâturés par des ruminants sont donc les tables fixes et plus secondairement les trackers 1 axe.

Dans un communiqué de presse du 25 octobre 2024, la FNO met l'accent sur l'importance de la disposition des panneaux pour assurer une meilleure répartition de l'écoulement de l'eau de pluie. De ce fait, elle préconise des panneaux en format paysage ou horizontaux (4H), plutôt que des panneaux en format vertical (2V) (figure 4) sur lesquels l'écoulement de l'eau est moins bien réparti, provoquant une accumulation d'eau sous les panneaux, ce qui risque de détériorer le couvert notamment lorsque les pluies sont abondantes.

Critères de choix des équipements par les gestionnaires

Du point de vue des gestionnaires, le choix des équipements agrivoltaïques se fait habituellement sur des critères tels que la performance, le rapport coût/rentabilité, la fiabilité et la durabilité, les propriétés mécaniques, les conditions d'approvisionnement, le cycle de vie ou encore le bilan carbone. Chaque type d'équipement agrivoltaïque présente des avantages et des inconvénients.



Photo 14 : Haies solaires ou panneaux verticaux (© Engie Green)

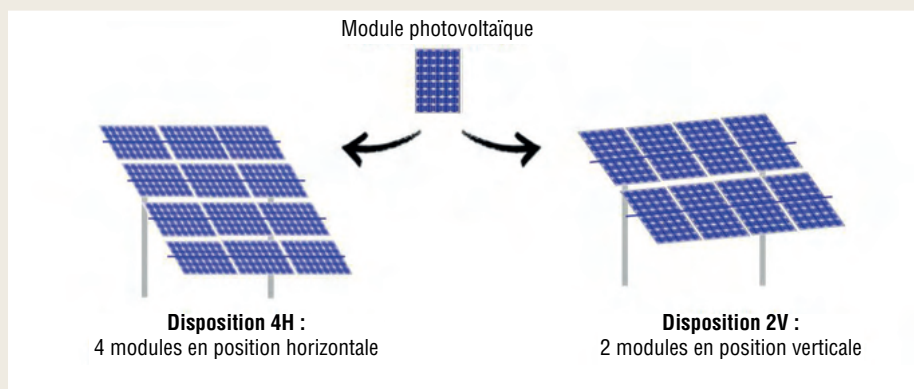


Photo 15 : Parc photovoltaïque à panneaux trackers 1 axe au Castellet (83) (© Voltaïa)



Photo 16 : Panneaux photovoltaïques trackers 2 axes à Grabels (34) (© Idele, parc géré par Neoen)

FIGURE 4 : DIFFÉRENCE ENTRE LA DISPOSITION 4H ET 2V DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES (SOURCE : IDELE)



Dans un projet de co-activité avec l'élevage, d'autres paramètres sont importants à considérer pour raisonner le choix des équipements agrivoltaïques, parmi lesquels les possibilités de circulation des animaux et de l'éleveur en toute sécurité,

les possibilités de pose de clôtures mobiles dans le parc pour refendre l'espace, les possibilités de passage d'éventuels engins agricoles sous les panneaux et entre les rangées et les effets d'ombrages des panneaux sur le couvert végétal.

ZOOM SUR

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE INSTALLATION AGRIVOLTAÏQUE (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, 2011)

Une centrale agrivoltaïque est constituée de plusieurs éléments (figure 5) :

- Des tables d'assemblage (ou panneaux), en métal (acier, aluminium ou autre) fixées au sol et organisées en rangées (1).
- Des modules photovoltaïques composés de cellules photovoltaïques et orientés avec une inclinaison optimale par rapport aux rayonnements du soleil, posés sur les tables d'assemblage (1).
- Les câbles aériens issus d'un groupe de panneaux permettant d'acheminer le courant continu vers le local technique (5).
- Le local technique qui abrite les postes onduleurs, les transformateurs, les compteurs, les installations de protection électrique et le poste de livraison. En fonction de la taille du projet, il y a souvent plusieurs postes de transformation, voire plusieurs postes de livraison. Les onduleurs peuvent également être en bout de ligne des rangées de panneaux (2).
- Un point de raccordement au réseau électrique (poste source) le plus proche (3), où l'électricité produite est ensuite acheminée.
- La clôture des installations agrivoltaïques qui protège les installations et permet de limiter les actes de vandalisme. La sécurisation du site peut être renforcée par des caméras de surveillance, un système d'alarme, un gardiennage permanent ou encore un éclairage nocturne à détection de mouvement (6).
- Des voies d'accès, nécessaires pendant la construction, l'exploitation et le démantèlement (4). Une aire de stationnement et de manœuvre est généralement aménagée à proximité. Durant l'exploitation, il doit être rendu possible de circuler entre les panneaux pour l'entretien (nettoyage des modules, maintenance) ou des interventions techniques (pannes).
- Une citerne incendie obligatoire (7).

FIGURE 5 : SCHÉMA DE PRINCIPE D'UNE INSTALLATION TYPE AGRIVOLTAÏQUE (SOURCE : QAIR)



DÉFINIR DES CONDITIONS D'IMPLANTATION DES ÉQUIPEMENTS FAVORABLES À LA CO-ACTIVITÉ

Prévoir une hauteur minimale des équipements permettant la circulation fluide et sécurisée des animaux

La hauteur des équipements est le premier facteur d'implantation conditionnant les possibilités de co-activité avec l'élevage (photos 17, 18 et 19). C'est le premier critère évoqué par les éleveurs ayant une expérience de pâturage en parc photovoltaïque. En effet, une hauteur trop faible des infrastructures peut, d'une part, entraver la circulation des animaux, leur empêchant ainsi d'exprimer leur comportement naturel, surtout pour les espèces grégaires.

D'autre part, les équipements sont constitués de coins et de supports métalliques très anguleux pouvant présenter un risque important de blessures pour les animaux au pâturage (photos 20 et 21). Les écorchures sur les bords contendants peuvent se produire en particulier lors de mouvements inopinés du troupeau (regroupement du troupeau par un chien de conduite).

Enfin, dans le cas de parcs disposant de panneaux installés trop bas, il existe un risque d'endommagement des modules photovoltaïques par les animaux, en particulier dans le cas des modules à couche fine. Le risque d'endommagement est majoré lorsque les animaux pâturant sont des chèvres ou des brebis capables de se dresser et de s'appuyer sur les infrastructures photovoltaïques.

La hauteur des panneaux est donc à choisir en fonction de la filière concernée. La FNO a récemment modifié ses préconisations en système ovin avec une hauteur minimale de 1,50 m, afin d'assurer la sécurité des animaux et les conditions de travail (surveillance, travail du chien de troupeau).



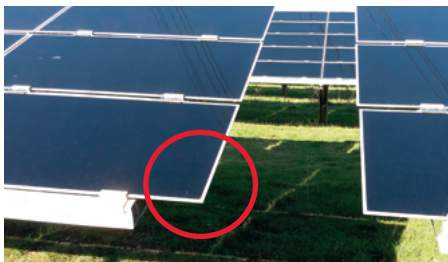
Photo 17 : Brebis pouvant passer librement sous les tables
(© Photosol)



Photo 18 : Des hauteurs de tables parfois très basses (<1 m)
(© Idele)



Photo 19 : Des ânes pâturent dans une centrale photovoltaïque avec des tables à plus de 1 mètre (© Jeson_AdobeStock)



Photos 20 et 21 : Des supports et des coins de tables contendants pouvant blesser les animaux (© Idele)

Concernant les bovins, aucune hauteur minimale n'est actuellement préconisée en raison du manque de retours d'expérience. La hauteur minimale choisie doit prendre en compte la race des bovins ainsi que la conduite du troupeau (risques d'endommagement des modules en cas de monte naturelle en période de chaleurs). Une hauteur minimale comprise entre 2,40 m et 3 m est conseillée dans des essais menés aux USA. (*Sharpe et al., 2020*). En France, des préconisations pourront être réalisées dès l'acquisition de références sur des démonstrateurs en place (dont les hauteurs en bas de table sont comprises entre 1,80 m et 3 m selon les sites).

La question de la transmissibilité des exploitations peut se poser au moment de la réflexion du projet. En effet, certains organismes préconisent d'installer des panneaux à des hauteurs suffisantes pour permettre à l'exploitant ou à un repreneur de faire évoluer l'activité d'élevage (notamment d'un système ovin vers un système bovin). La prise en compte de ce paramètre serait un atout en cas de reprise d'exploitation.

EN PRATIQUE

La centrale à l'échelle de l'exploitation agricole

À l'échelle de l'exploitation, la FNO exige que la taille de la centrale ne dépasse pas 30% de la SAU. Ce choix permet d'assurer une certaine autonomie dans la gestion des surfaces mobilisées pour l'alimentation du troupeau et une souplesse décisionnelle pour l'éleveur. En effet, les éleveurs doivent disposer de surfaces complémentaires aux surfaces mobilisées sur la centrale pour assurer les stocks, gérer le manque d'herbe, notamment pendant les sécheresses estivales, et assurer la rotation des surfaces.

EN PRATIQUE

La hauteur minimale entre le sol et le point le plus bas des infrastructures doit être adaptée au type d'animaux.

Compte tenu des références bibliographiques et des retours d'expériences, une hauteur minimale de 1,50 m est recommandée pour les troupeaux ovins. Concernant les autres espèces de ruminants, les références et retours de terrain sont beaucoup moins nombreux. Une expérimentation de pâturage de vaches laitières sous panneaux photovoltaïques est actuellement menée dans le Minnesota, avec des hauteurs minimales comprises entre 2,40 m et 3 m. Quelques expérimentations en systèmes bovins voient également le jour en France, avec des hauteurs de bas de table comprises entre 1,80 et 3 m. Toutefois, il n'y a pas assez de recul à ce jour pour apporter des préconisations robustes pour la filière.

Dans tous les cas, quel que soit le type de ruminants, il importe de veiller à ce que cette hauteur minimale soit bien respectée en tout point du parc et quel que soit le relief de la parcelle. Ces recommandations permettent un entretien mécanique sécurisé sous les tables grâce à des outils déportés attelés à un tracteur.

Prévoir une hauteur minimale des équipements permettant le passage d'engins agricoles

Au-delà des enjeux de bien-être animal, la hauteur des équipements agrivoltaïques est un facteur à prendre en compte pour faciliter le passage d'engins agricoles : pour assurer l'entretien mécanique de la végétation délaissée par les animaux ou pour effectuer des opérations sur le couvert végétal (ressemis notamment) sans dégrader les infrastructures (photos 22, 23 et 24). En effet, le projet doit être réfléchi en fonction du matériel disponible sur l'exploitation et des intentions de gestion (mécanique) de l'éleveur. La mécanisation du désherbage avec un tracteur réduit considérablement le temps de travail comparé à un entretien réalisé avec une débroussailluse.



Photo 22 : Panneau photovoltaïque endommagé
(© Andrei Merkulov/AdobeStock)



Photo 23 : Buissons invasifs non consommés par les brebis, à terme nuisibles pour les performances du parc (©Idéale)



Photo 24 : Prairie semée dans un parc photovoltaïque (© Photosol)

Description du matériel utilisé pour les différentes pratiques sur prairies

En élevage de ruminants, trois types de matériels sont fréquemment utilisés sur prairies :

- le matériel de fenaison,
- le matériel d'épandage,
- le matériel pour l'entretien des parcelles.

Le matériel de fenaison

La fenaison est l'ensemble du processus de coupe et de récolte des fourrages. Différents matériels sont utilisés :

- **La faucheuse**, outil agricole permettant de faucher l'herbe ou des cultures fourragères diverses. Il existe plusieurs systèmes de coupe :
 - la barre de coupe horizontale, qui peut

être traînée ou portée, à l'avant, à l'arrière ou latéralement ;

- la faucheuse rotative à tambours ;
- la faucheuse à disques ;
- la faucheuse automotrice, qui permet de réaliser des travaux de plus grande envergure.

- **La faneuse**, machine agricole utilisée pour étaler et retourner, à l'aide de dents ou de râteaux, l'herbe coupée en la dispersant uniformément sur le champ afin de la faire sécher de manière homogène pour être stockée, sans problèmes de conservation. Ce retournement régulier permet une meilleure exposition du foin au soleil et au vent, facilitant ainsi le séchage rapide et homogène de l'herbe et améliore ainsi la qualité du fourrage.

- **L'andaineuse**, machine agricole permettant de regrouper le fourrage sous forme d'andains pour faciliter sa récolte. L'andaineuse est composée de multiples râteaux disposés autour d'un axe immobile. Ces râteaux en mouvement rassemblent le fourrage pour former les andains. Ces andains réguliers sont ensuite ramassés à l'aide d'une presse à fourrage.

- **La presse** permet de ramasser les andains formés, de les presser pour former des bottes rondes ou carrées.

Le matériel d'épandage

Chaque année, depuis la directive « Nitrates » de 1999, l'agriculteur est tenu de calculer un plan prévisionnel de fertilisation et d'enregistrer ses pratiques sur un cahier de fertilisation. Ce calcul débouche sur une juste dose à apporter pour les cultures. Concernant l'épandage du lisier, deux types de matériels sont possibles :

- Les épandages en nappes *via* des **rampes à buse**. La buse, par projection du lisier, accentue les nuisances olfactives et la volatilisation de l'ammoniac, d'où la perte de matières fertilisantes. Trois types de matériels sont disponibles : buse à palette, buse à palette inversée ou tri-buses.

- Les épandages en ligne, *via* des **rampes à pendillards** (l'apport au ras du sol

réduit les odeurs de lisier et diminue la volatilisation de l'ammoniac) ou des **enfouisseurs** (généralement à socs, équipés d'un répartiteur, l'enfouissement réduit considérablement les nuisances olfactives et la volatilisation de l'ammoniac).

- Les **épandeurs à fumier** permettent d'épandre des matières dont le taux de matière sèche dépasse 20%. Constitué d'un système de projection, ce type de matériel n'est pas adapté en l'état pour une utilisation en centrale agrivoltaïque, les projections risquant de salir, voire d'endommager les cellules photovoltaïques.

Le matériel pour l'entretien des parcelles

Différentes actions permettent d'entretenir les prairies :

- le hersage : traditionnellement effectué en sortie d'hiver, le hersage permet de niveler le sol, d'étaler les taupinières, d'aérer le couvert et d'améliorer la minéralisation de l'azote.
- le broyage : pour gérer les refus et « niveler » l'herbe, il est possible de broyer les parcelles pâturées. L'herbe repoussera alors plus tendre et retrouvera de l'appétence pour les animaux. Cela permet également d'éviter la montée en graine des espèces précoces comme les vulpins, les bromes mous ou des adventices refusées par les animaux (rumex, chardons...). Le broyage permet de réduire la proportion de touffes de dactyles dans une prairie permanente et améliore la digestibilité de l'herbe.
- l'ébousage : les restitutions directes par les déjections à la pâture sont très importantes mais elles sont mal réparties sur la parcelle. L'ébousage a pour objectif de mieux répartir les éléments fertilisants restitués. Cette action doit être effectuée sur une herbe rase en sortie de pâturage et avant une période pluvieuse. Cela nécessite donc un pâturage tournant avec un temps de repos suffisant. L'ébousage

est à proscrire sur de l'herbe haute, en pâturage continu et en conditions sèches.

- la pulvérisation d'un traitement chimique permet de limiter le développement des adventices. Si, après le désherbage, il y a plus de 20% de zones vides (sans herbe), un sursemis est à réaliser.

Actuellement, les outils proposés à la vente sont adaptés à des parcelles exploitées sans éléments contraignants, avec des largeurs homogènes (3m, 6m ou 9m). Le matériel déjà présent sur les exploitations n'est donc pas toujours adapté pour circuler entre les tables photovoltaïques facilement et en toute sécurité. La fauche ou le broyage sont des interventions qui peuvent être envisagées avec du matériel adéquat. En revanche, la collecte du fourrage pour un usage en ensilage, enrubannage ou foin (avec mobilisation de matériel type tendineuse, presse) est une question plus compliquée de par la difficulté de manœuvrer sous la centrale, avec ces types de matériel.

Néanmoins, il est possible d'envisager d'utiliser du matériel plus inhabituel, comme par exemple :

- du matériel de gestion de prairie utilisé en zones de montagnes, généralement plus étroit et plus manipulable car devant être utilisé dans des parcelles de pente ou difficiles d'accès ;
- du matériel utilisé pour les filières viticoles ou arboricoles, également plus étroits et plus adaptés pour intervenir entre les panneaux.

Il sera donc nécessaire de mener une réflexion avec l'agriculteur pour réfléchir aux différentes possibilités de mécanisation de la parcelle en co-activité. À noter que le plus intéressant reste la gestion du parc avec un pâturage tournant dynamique pour réduire les besoins d'utilisation de matériel.

Adapter la répartition des équipements photovoltaïques dans l'espace

Espacement des rangées de tables

Une centrale agrivoltaïque optimale pour la production photovoltaïque (densité de panneaux, pilotage des trackers) est incompatible avec une production agricole normale (sauf rarissimes exceptions). Il faut donc que les gestionnaires acceptent un compromis à la conception de la composante photovoltaïque. Cela passe notamment par des concessions sur la densité de panneaux via l'augmentation de l'espacement des rangées de tables notamment.

En l'état actuel des connaissances, la configuration idéale est un espacement des rangées de tables photovoltaïques suffisant pour permettre le passage d'un tracteur, afin de ressemer une prairie si les aléas climatiques répétés ont endommagé la végétation (photo 25) ou pour désherber mécaniquement avec un gyrobroyeur si l'entretien par la dent de l'animal n'a pas été suffisant. De plus, pour rappel, le décret d'application impose un taux de couverture maximal du parc à hauteur de 40%.

EN PRATIQUE

Dans l'idéal, l'espacement doit permettre le passage d'un tracteur de taille «moyenne» de sorte que l'éleveur n'ait pas à acheter de matériel spécifique (mini-tracteur, motofaucheuse...) pour l'entretien mécanique du parc. La largeur moyenne d'un tracteur avec un semoir attelé étant d'environ 3,50 m, en considérant une marge de sécurité, les allées entre les tables devraient ainsi avoir une largeur minimale de 6 m (contre 4 m pour une gestion exclusivement en pâturage).

Néanmoins, des essais seraient nécessaires afin d'acquérir des références et d'apporter des préconisations concernant le matériel de fauche à utiliser et les pratiques à appliquer.

Positionnement des rangées de tables par rapport à la clôture extérieure

Toujours dans l'idée de permettre le passage d'engins agricoles, une distance de 10 m minimum est à prévoir entre la fin de la rangée de tables photovoltaïques et la clôture extérieure du parc. Il est en effet important de laisser un espace suffisant pour permettre le braquage des engins agricoles entre deux allées.

Réfléchir l'implantation des équipements en prenant en compte la technique de pâturage

L'implantation des panneaux doit aussi prendre en compte la technique de pâturage envisagée pour l'entretien du parc, à savoir le pâturage tournant dynamique (autrement appelé technopâturage ou pâturage cellulaire), le pâturage tournant classique ou le pâturage continu (autrement appelé pâturage libre) (voir le descriptif des techniques en Partie 7). Les techniques de pâturage tournant dynamique ou classique vont en effet demander de redécouper le parc avec une clôture électrique mobile. L'éleveur doit pouvoir poser des clôtures sans difficultés, parallèlement et perpendiculairement aux rangées de panneaux photovoltaïques.



Photo 25 : Tracteur circulant entre les rangées d'une centrale photovoltaïque aux Etats-Unis (© Land Services - Now Monarch)

EN PRATIQUE

Dans cet objectif de simplification du travail de l'éleveur et pour faciliter le découpage des parcelles, l'idéal est d'ajouter une allée perpendiculaire aux rangées de tables tous les 120 à 150 m, afin d'offrir aux animaux des parcelles se rapprochant de la forme carrée pour favoriser une bonne utilisation de l'espace.

Les parcelles de forme étirée pourraient en effet créer des zones différenciées : d'un côté une surutilisation et de l'autre une sous-utilisation de l'espace et gêner l'entretien de la végétation. Ces nouvelles allées ne nécessitent pas d'avoir une largeur de 4 m car leur but est uniquement le passage de l'éleveur équipé éventuellement d'un quad. La largeur maximale de celui-ci étant de 1,50 m, une largeur d'allée de 2 m suffit.

Choisir un système de fixation au sol des structures le moins impactant pour le couvert végétal

Différents types de montages au sol sont rencontrés dans les parcs photovoltaïques : des tables mono-pieu vs bi-pieux, des pieux battus plantés directement en terre vs des pieux sur fondation en semelle de béton (photos 26 à 28).

D'après les consignes de la FNO, les monopieux battus sont à privilégier afin de limiter l'utilisation du béton et ainsi réduire l'impact sur le sol, le couvert en place et la surface productive de la parcelle. De plus, les structures monopieux sont favorables à une meilleure exploitation de la parcelle car la circulation et le travail mécanique sont facilités.

EN PRATIQUE

Le choix des solutions techniques de montage au sol dépend de la nature des sols, révélée par une étude géotechnique du site.

Idéalement, si les conditions de sol le permettent, un montage au sol avec des tables mono-pieu est à privilégier. Il apporte de la souplesse dans l'entretien sous les tables, limitant le contournement des pieux par le matériel.

Lorsque la situation est propice, les pieux battus sont également recommandés plutôt que des fondations en semelle béton afin de limiter l'impact sur la végétation présente.



Photo 26 : Table fixe bi-pieux sur dalle de béton (© Idele)



Photo 27 : Double-tracker mono-pieu sur dalle de béton (© Idele)



Photo 28 : Table fixe sur mono-pieu battu (© Idele)



Photo 29 : Câblages électriques laissés apparents à faible hauteur pouvant être rongés par les animaux (© Idele)

PROTÉGER LES ANIMAUX DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES

La protection des équipements électriques dans le parc photovoltaïque est fondamentale pour la sécurité des animaux.

Au-delà du risque d'électrocution par grignotage des câbles (photo 29), ce sont surtout les problèmes de mortalité des animaux par pendaison qui sont évoqués par les éleveurs. En effet, les systèmes de liens qui permettent aux câbles de se maintenir solidaires se dégradent avec le temps, sous l'effet des conditions météorologiques et par le frottement des animaux. Les câbles électriques ont ainsi tendance à pendre en de nombreux points des parcs, augmentant ainsi le risque d'étranglement des jeunes agneaux (photos 30 et 32).

Par ailleurs, la présence de regards non sécurisés dans les parcs agrivoltaïques peut engendrer des problèmes de blessures (par exemple de membre coincé) (photo 33).



Photo 30 : Les câbles électriques ont tendance à pendre à faible hauteur, à l'arrière des panneaux, engendrant un risque d'étranglement, en particulier chez les jeunes animaux. (©Idele)



Photo 31 : Exemple de fixation de câbles électriques avec des serres-câbles à l'arrière d'un panneau photovoltaïque (©Idele)



Photo 32 : Câblages laissés apparents (© Idele)



Photo 33 : Exemple de regard pouvant être présent dans un parc photovoltaïque (© Idele)

Enfin, du fait du manque de connaissances solides sur l'effet des champs électromagnétiques sur les animaux d'élevage, il peut être envisagé, par principe de précaution, de conserver une distance de 2-3 mètres entre les principaux équipements émetteurs d'ondes (onduleurs, transformateurs) et les zones de pâturage. Cette distance peut éventuellement être instaurée au moyen de clôtures mobiles internes au parc.

EN PRATIQUE

La plus grande vigilance doit être accordée à la protection des équipements électriques. Tous les câbles du système doivent être hors de portée des animaux ou être protégés avec notamment comme points de vigilance :

- le gainage des câbles électriques à l'installation du parc, avec une fixation des câbles à l'aide de serre-câbles et de clips (photo 31).
- l'ajout de grilles pour empêcher les brebis de ronger des éventuels câbles apparents.
- avant l'introduction des animaux, vérifier l'absence d'installations câblées prenant la forme d'un « V » Il ne doit pas y avoir de boucles de câbles qui pendent.

Une vigilance particulière doit également être accordée à la protection des regards et autres trous présents dans le parc.

ZOOM SUR

LE BIEN-ÊTRE ANIMAL

Il est maintenant largement reconnu que le bien-être animal est très complexe, qu'il peut être affecté par de nombreux facteurs, et qu'il comprend à la fois la santé physique et mentale des animaux. Pour le définir, on peut se référer à la définition proposée par l'Anses en 2018 : « Le bien-être d'un animal est l'état mental et physique positif lié à la satisfaction de ses besoins physiologiques et comportementaux, ainsi que de ses attentes. Cet état varie en fonction de la perception de la situation par l'animal. »

• **Cinq libertés fondamentales et quatre principes pour évaluer le bien-être**

Les démarches d'évaluation du bien-être chez les animaux d'élevage reposent essentiellement sur la satisfaction des besoins des animaux. Il s'agit de veiller au respect de cinq libertés fondamentales proposées par le Farm Animal Welfare Council en 1992 :

- L'absence de faim, de soif ou de malnutrition : offrir aux animaux un accès libre à l'eau et à de la nourriture saine pour le maintien d'un bon niveau de santé et de vigueur.
- L'absence de maladies, de lésions ou de douleur : appliquer des mesures de prévention ou un diagnostic rapide suivi du traitement approprié.
- L'absence d'inconfort : proposer un environnement approprié, incluant un abri et une aire de repos confortable.
- L'absence de peur et de détresse : laisser la liberté d'expression d'un comportement normal à l'espèce, grâce à un espace suffisant, des installations adaptées et la compagnie d'autres congénères.
- La possibilité d'exprimer les comportements normaux de l'espèce : garantir des conditions de vie et un traitement des animaux évitant toute souffrance mentale.

Le projet européen Welfare Quality® a permis d'établir quatre grands principes de bien-être animal : une bonne alimentation, un bon logement, une bonne santé et un comportement approprié. Ces principes complètent les cinq libertés et offrent une base concrète pour construire le système d'évaluation de Welfare Quality®. Au sein de ces quatre principes, douze critères ont été identifiés, auxquels sont associés des indicateurs mesurables en priorité sur les animaux eux-mêmes, mais également sur leur environnement et les pratiques de l'éleveur.

• **Et l'impact de l'agrivoltaïsme sur le bien-être animal ?**

Concernant cet impact, il est important 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, voire 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.

Pour ce faire, il faut réaliser des évaluations du bien-être des animaux à l'aide d'indicateurs validés et intéressants dans le contexte de l'agrivoltaïsme, mais également suivre le comportement des animaux pour décrire leurs activités et leurs localisations par rapport aux panneaux (méthode du scan sampling = notation du comportement des animaux à des intervalles de temps réguliers) mais également les événements exprimés par les animaux (méthode d'observation en continu pour relever les comportements sociaux).

POSER DES CLÔTURES EXTÉRIEURES FIABLES ET ROBUSTES

Les centrales agrivoltaïques sont usuellement délimitées sur leur pourtour par des hautes clôtures métalliques, afin de limiter les intrusions (humaines ou animales) dans le parc et protéger les installations. En venant pâturer dans des parcs agrivoltaïques, les éleveurs bénéficient de ces clôtures. La délimitation et la protection de la zone de pâturage sont en effet des enjeux importants pour les troupeaux non gardés.

Néanmoins, les éleveurs ayant déjà l'expérience de pâturage en parc photovoltaïque relèvent souvent des problèmes concernant les clôtures de ces parcs. Ce n'est pas tant la qualité des matériaux ni la hauteur des clôtures qui semblent problématiques (hauteur moyenne : 2 à 2,50 m). C'est surtout la solidité des clôtures qui fait défaut, ainsi que leur manque d'étanchéité, en particulier dans les parcs photovoltaïques présentant des reliefs. Plusieurs éleveurs ont ainsi rencontré des problèmes de clôtures "tracées droites", sans aller jusqu'au sol dans les zones de relief, laissant possible l'entrée de prédateurs et/ou la sortie d'animaux d'élevage (brebis ou agneau). De nombreux éleveurs, notamment dans le Sud de la France, témoignent également de l'inefficacité des clôtures contre les prédateurs et notamment le loup. Ainsi, les éleveurs en zone de prédation sont obligés de mettre des filets de protection et des chiens de protection, à l'intérieur des centrales. Un point de vigilance est donc à apporter selon les besoins de l'éleveur et le niveau de risque de la zone, pour assurer étanchéité et efficacité.

EN PRATIQUE

Des clôtures d'une hauteur minimale de 2 m sont à privilégier afin de protéger les animaux des risques d'intrusion, notamment des grands prédateurs.

Les grillages doivent épouser le relief, afin que ni un prédateur ni les brebis ne puissent se glisser sous la clôture, soit un écart sol-clôture maximal de 10 cm.

Des aménagements pour le passage de la petite faune doivent être prévus. Ces équipements doivent permettre les mouvements de la petite faune, mais doivent empêcher le passage de potentiels prédateurs (loups, renards), ce qui n'est pas le cas à l'heure actuelle. En effet, ces aménagements constituent un passage pour les louveteaux mais aussi un piège pour les petits agneaux (d'après des éleveurs pratiquant l'agnelage sous panneaux).

Enfin, les poteaux de la clôture doivent être fermement ancrés dans un substrat solide, afin que la clôture reste efficace en tout point du parc.



Exemple de passage pour la petite faune (© NEOEN)



Photo 34 : Bricolage d'un éleveur pour combler l'espace sous une clôture afin d'empêcher les animaux de sortir du parc (© Idele)



À SAVOIR !

Les parcs photovoltaïques sont soumis à des exigences d'intégration paysagère, amenant parfois à la plantation de haies végétales sur le périmètre de la centrale. Les clôtures mobiles mises en place pour recouper le parc doivent prendre appui sur la clôture en pourtour du parc. Dans ce cas, il est vivement recommandé d'implanter les haies à l'extérieur du parc photovoltaïque pour faciliter leur entretien et ne pas gêner la pose des clôtures mobiles dans le parc.

Outiller le parc photovoltaïque d'équipements additionnels spécifiques à l'activité d'élevage

La présence d'animaux dans le parc photovoltaïque implique d'équiper le parc d'infrastructures spécifiques nécessaires à l'activité d'élevage (affouragement, abreuvement, contention).

Ces équipements servent essentiellement à assurer les besoins primaires des animaux et à garantir leur sécurité et leur bien-être.

LES PANNEAUX FOURNISSENT DES ABRIS AUX ANIMAUX

Un parc agrivoltaïque donne accès à la fois à des espaces très abrités mais aussi à des espaces plus ouverts, en bordure des tables. Cette diversité de solutions est propice au confort des animaux.

Les panneaux peuvent faire office d'abri contre les vents froids hivernaux et contre les fortes chaleurs estivales (photo 35). Il n'y a donc *a priori* pas besoin d'équipements spécifiques en termes d'abri pour les animaux.

À SAVOIR !

Plusieurs gestionnaires construisent des abris ou des bergeries au sein ou en bordure de parc pour faciliter l'activité d'élevage : distribution de compléments alimentaires, soins, etc.

Aménager de véritables abris sous certains tronçons de panneaux est également possible via une imperméabilisation de la surface photovoltaïque et la fermeture de la face exposée aux vents dominants avec un filet brise-vent.

PRÉVOIR DES POSSIBILITÉS D'AFFOURAGEMENT DANS LE PARC

Le but du pâturage en centrale agrivoltaïque 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 peut s'avérer nécessaire quand l'herbe vient à manquer et quand le parc agrivoltaïque est loin des autres parcelles pâturables. Il faut toutefois noter que l'affouragement au pâturage reste une pratique relativement ponctuelle lorsqu'elle est associée à une gestion en pâturage tournant dynamique, les éleveurs préférant adapter le chargement (nombre d'animaux dans le parc) pour éviter les contraintes liées à l'affouragement.

Enfin, il est également courant d'installer des auges ou un nourrisseur pour alimenter les animaux en concentrés, en particulier lors de la phase de croissance des agneaux. Ces pratiques de complémentarisation sont tout à fait réalisables en centrale agrivoltaïque et ne nécessitent pas d'adaptation ni d'équipements particuliers.

EN PRATIQUE

Lors d'événements climatiques contraignants, les animaux vont chercher refuge sous les panneaux.

Ils pourront donc être amenés à rester statiques sous les panneaux et à limiter leurs déplacements. Cette singularité peut engendrer des « zones parking », où le sur-piétinement des animaux risque de dégrader la prairie.

Ce phénomène sera amplifié pendant les chaleurs estivales durant lesquelles le couvert prairial, déjà affaibli par le manque d'eau et les températures élevées, pourra être fortement dégradé du fait du piétinement des animaux.

De ce fait, il est essentiel de favoriser au sein du parc une bonne circulation des animaux, notamment en raisonnant le nombre et la localisation des points d'abreuvement éloignés des entrées de parcelles.



Brebis pâturant à l'ombre des panneaux photovoltaïques de la centrale de Verneuil (03) (© Photosol)

PRÉVOIR DES POINTS D'ALIMENTATION EN EAU POUR L'ABREUVEMENT

Que ce soit en bâtiment ou au pâturage, les animaux d'élevage ont besoin d'être abreuvés quotidiennement.

Selon le nombre d'animaux, la température extérieure, le stade physiologique et le type d'alimentation (consommation d'aliments secs), le besoin en eau d'un troupeau peut être conséquent. Ainsi, une brebis non suitée boit en moyenne quotidiennement 3 litres d'eau et le double lorsqu'elle allaite un agneau (tableau 3). Pour un troupeau de 100 brebis, le besoin quotidien d'eau peut donc varier de 300 à 600 litres. En ce qui concerne les besoins journaliers en eau d'une vache laitière, ils passent de 35 litres en période de tarissement à 80 litres en période de lactation.

En conditions estivales, il faut multiplier ces besoins en eau par 1,5 à 2. Ainsi, une vache allaitante de 800 kg en fin de lactation peut consommer plus de 100 litres d'eau par jour en été lorsqu'il n'y a presque plus d'herbe à pâturer et que les animaux sont alimentés avec du fourrage sec. De même, en pleine chaleur, les besoins moyens en eau d'une brebis peuvent passer de 3 à 6 litres/jour.

Dans les parcs photovoltaïques en activité sans réflexion pour la production agricole ou faute d'accès facilité, il est régulièrement observé l'absence de point d'eau. Ce sont les éleveurs qui gèrent les apports en eau aux animaux au moyen de citernes, ce qui génère une charge de travail d'astreinte très importante, renforcée lorsque le parc photovoltaïque est loin du siège d'exploitation.

Dans le parc, la distance entre le point d'alimentation en eau et la zone de pâturage des animaux doit être inférieure à 200 m afin que les animaux viennent

régulièrement s'abreuver. La taille et le débit des abreuvoirs doivent être adaptés afin qu'un nombre important d'animaux puissent y accéder en même temps. Sinon, les dominés ne boiront pas suffisamment. Leurs performances individuelles risquent alors de chuter. Pour rappel, une vache peut boire jusqu'à 20 L/min.

À NOTER !

L'eau : une ressource précieuse à contrôler

Des systèmes de récupération des eaux pluviales ruisselant sur les panneaux photovoltaïques peuvent être envisagés avec des gouttières installées sur quelques tables. Cependant, la qualité des eaux pluviales ruisselant sur les panneaux photovoltaïques est souvent médiocre et potentiellement dangereuse pour les animaux. Un stockage dégradera d'autant plus cette qualité d'eau (surtout s'il n'est pas enterré).

De plus, la disponibilité de l'eau pourra faire défaut en cas d'absence de pluies prolongées et la récupération des eaux de pluie risque de priver le couvert végétal des apports d'eau nécessaires à son développement.

Il est donc primordial de prévoir un approvisionnement en eau continu des animaux, à part d'une éventuelle récupération des eaux de pluies. En fonction des territoires et des situations, cela peut-être via la réalisation de forages, de puits, l'aménagement de sources, de cours d'eau ou, à défaut, par le raccordement à l'eau potable du réseau.

Une analyse d'eau est aussi recommandée afin d'évaluer la qualité de l'eau distribuée. Elle doit être réalisée une fois par an ou en cas de problèmes sanitaires.

Le cas échéant, un système de filtration et de traitement peut être mis en place.



Photo 35 : Les eaux de ruissellement s'écoulant des panneaux photovoltaïques peuvent constituer une ressource pour l'élevage.
(© Mariana Proenca, Pan Xianzhe/Unsplash)

TABLEAU 3 :
ESTIMATION DES BESOINS MOYENS EN EAU DES ANIMAUX AU PATURAGE* (SOURCE : MARTIN, 2019)

Type d'animal	Consommation moyenne	Consommation au pic estival
Vache laitière (35 kg lait / jour)	80 L / J	125 L / J
Vache allaitante + veau	50 L / J	100 L / J
Broutard (200 kg)	15 L / J	20 L / J
Vache tarie, vache gestante, bœuf	35 L / J	70 L / J
Génisse (350-450 kg)	30 L / J	50 L / J
Brebis laitière	7 L / J	15 L / J
Brebis allaitante + agneaux	6 L / J	12 L / J
Brebis non suitée	3 L / J	6 L / J
Chèvre laitière	5 L / J	12 L / J
Chèvre tarie	3 L / J	6 L / J

*Consommation d'eau quotidienne en considérant une alimentation composée exclusivement d'herbe.

EN PRATIQUE

La question de l'abreuvement et des points d'accès à l'eau doit être idéalement prise en compte dès la conception des parcs agrivoltaïques, afin d'assurer la durabilité de la co-activité.

Il est recommandé d'installer une ligne d'eau qui traverse le parc agrivoltaïque avec des raccords en différents points pour disposer des abreuvoirs répartis dans les différentes parcelles. Il est préconisé d'installer une sortie d'eau pour maximum 2 hectares, soit un point d'eau à 150-200 m au plus loin pour les animaux. Les vannes pour gérer l'arrivée de l'eau doivent être accessibles à l'éleveur, ainsi qu'un compteur d'eau pour évaluer la consommation d'eau du troupeau et informer des fuites éventuelles. Les abreuvoirs peuvent être disposés à l'interface entre deux parcelles pour optimiser leur utilisation.

L'abreuvement étant un élément essentiel de l'élevage, en quantité comme en qualité, il est recommandé d'avoir une alimentation en eau avec un débit minimum de 4 à 5 litres/ minute. Par ailleurs, un contrôle de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau est conseillé si elle est issue d'un captage privé.

Enfin, il est impératif de vérifier qu'aucun courant électrique ne parasite l'eau (tension électrique de l'eau inférieure à 150 mV).



Photo 36 : Différents facteurs influent sur la consommation d'eau par les animaux : elle augmente si les aliments sont secs, si le temps est chaud, selon le stade physiologique et la production laitière de l'animal. (© Fabian Schneider/ Unsplash)

PRÉVOIR UN SYSTÈME DE CONTENTION

En élevage, le suivi du troupeau nécessite des interventions fréquentes auprès des animaux, que ce soit de la part de l'éleveur ou d'intervenants extérieurs.

Pour réaliser ces manipulations, qui peuvent être délicates, les éleveurs ont besoin d'un système de contention efficace pour travailler en toute sécurité et éviter les accidents. Ce parc de contention peut également servir de parc de chargement/déchargement des animaux.

EN PRATIQUE

Les installations de contention permettent de guider et d'immobiliser un ou plusieurs animaux. Elles sécurisent et optimisent les interventions, en réduisant la peur de l'animal et en offrant toutes les garanties de sécurité à l'intervenant. Elles facilitent ainsi la gestion du troupeau et le travail de l'homme et améliorent le bien-être de l'animal.



(© Isidoro Martinez/Unsplash)

Une **contention fixe** permet d'aménager un parc solide avec des matériaux de récupération peu coûteux (barrières d'autoroute, traverses de chemin de fer...). Toutefois, une fois en place, elle ne sera plus modulable.

Une **contention mobile** sera plus adaptable. Les parcs agrivoltaïques n'étant pas toujours d'un seul tenant et pouvant être éloignés des autres surfaces de l'exploitation, il est conseillé de prévoir la mise à disposition d'un parc de contention mobile.

Pour une bonne contention, le parc doit comprendre : un espace d'attente, un couloir de contention (avec une cage ou une porte de blocage) et un parc de rassemblement. Le parc de contention doit être adapté dans sa conception et dans le choix des matériaux au type de ruminants pâturant dans le parc agrivoltaïque.

Pour choisir une installation de contention et ses équipements, il est nécessaire de déterminer les interventions à réaliser et d'analyser la circulation des animaux, des hommes et du matériel dans l'exploitation. L'embarquement doit être considéré comme une intervention importante de l'élevage et être pris en compte dès la conception de l'installation agrivoltaïque.

À SAVOIR !

L'installation de contention doit être conçue et utilisée en tenant compte du comportement de l'animal. Les animaux peuvent se sentir effrayés à l'approche du parc. Il faut donc le positionner de préférence sur les circuits habituels des animaux : proche des points d'abreuvement, de la zone d'affouragement, de l'entrée du parc. Les bovins étant des animaux grégaires, lors des manipulations dans les outils de contention, il faut éviter de les isoler et au contraire faire en sorte qu'ils maintiennent le contact visuel avec leurs congénères. Les parois pleines favorisent l'instinct de fuite des bovins et dirigent leur déplacement. Plus les animaux sont habitués et entraînés à utiliser l'installation de contention, moins ils seront stressés lors des interventions.

Pour en savoir plus :
https://www.gie-elevages-bretagne.fr/admin/upload/guide_contention_embarquement_09_2014_bat.pdf



PRÉVOIR DES CLÔTURES SUPPLÉMENTAIRES POUR REDÉCOUPER LE PARC

Du fait de la présence des panneaux sur le parc, la parcelle devient plus fastidieuse à entretenir, d'autant plus lorsqu'elle présente une superficie élevée.

Pour faciliter l'entretien du parc, la gestion du pâturage est une solution permettant à l'éleveur de diminuer son temps de travail et les coûts potentiels liés à l'utilisation de matériel. Ainsi, il est conseillé de réaliser un pâturage tournant dynamique sur les parcelles du parc agrivoltaïque.

Le pâturage tournant dynamique permet d'optimiser la gestion de la ressource en herbe de l'exploitation en maximisant la pousse végétative, tout en allongeant les temps de pâture des animaux et en améliorant les capacités productives des sols sous prairies. Le principe est de faire pâturer son troupeau sur plusieurs paddocks pour maîtriser au mieux la

pousse de l'herbe et par conséquent sa qualité. Cette technique permet également de limiter les risques de refus de la part des animaux, en obligeant le troupeau à pâturer toute l'herbe disponible.

Ainsi, pour réaliser un pâturage tournant dynamique, il est nécessaire de redécouper le parc en plusieurs paddocks de plus petite taille. La taille des paddocks est à réfléchir en fonction du chargement et donc du nombre d'animaux présents. Les paddocks sont délimités grâce à des clôtures mobiles ou fixes en fonction de l'intérêt de l'éleveur. Un temps d'installation ainsi qu'un temps d'entretien sont à prévoir.

Lorsque la pousse de l'herbe est ralentie, il est possible d'ouvrir les clôtures pour agrandir les paddocks et ainsi permettre au troupeau d'avoir plus d'herbe disponible.

Attention, les accès aux parcelles, les points d'affouragement et les abreuvements sont donc à réfléchir à l'échelle du paddock.

FACILITER LA SURVEILLANCE ET LA MANIPULATION DU TROUPEAU

En fonction de la hauteur et de la densité des panneaux présents sur le parc, la surveillance du troupeau peut devenir plus difficile, d'autant plus lorsque la parcelle présente une superficie élevée.

La surveillance du troupeau au pâturage par l'éleveur est nécessaire et présente plusieurs intérêts : compter ses animaux (prédation), vérifier l'absence d'animaux isolés susceptibles d'être malades ou blessés, vérifier que les clôtures et les points d'abreuvement sont fonctionnels, contrôler les agnelages ou vélages, effectuer une veille sanitaire sur le troupeau.

La disposition du parc agrivoltaïque ne doit pas venir perturber et allonger le temps de travail et de surveillance de l'éleveur.

À SAVOIR !

Beaucoup d'éleveurs ont recours à un chien de conduite pour les aider à manipuler leur troupeau. La tâche la plus courante est de demander au chien de rassembler les animaux et de les ramener vers l'éleveur : ce dernier pourra alors vérifier que tous sont en bonne santé ou les déplacer.

Trois facteurs-clés garantissent le bon déroulé du travail :

- Avoir une configuration spatiale qui permette aux animaux de circuler facilement en groupe, sans se blesser sur le matériel. Il faut donc que la hauteur et l'espacement des infrastructures soient adaptés pour le confort et la visibilité.
- Avoir un chien maîtrisé, qui respecte les animaux et agit dans le calme. On ne prendra pas un jeune chien en cours de dressage pour travailler dans ce contexte mais au contraire un chien expérimenté. Des formations animées par le réseau national de référence de l'Institut de l'Élevage sont disponibles pour apprendre à éduquer, dresser et utiliser son chien de conduite de troupeau.
- Avoir construit une relation de confiance avec ses animaux pour qu'ils soient dociles et acceptent les manipulations. En effet, bien en amont de cette situation de travail, l'éleveur doit avoir un tryptique éleveur-troupeau-chien qui fonctionne, dans le respect de chacun. Ainsi, le fait de prévenir les animaux, avant d'envoyer le chien, amorcera chez eux un comportement de rassemblement, avant même que le chien arrive. Ils se déplaceront alors dans le calme jusqu'à l'éleveur car ils auront été habitués à ce genre de situation.

Le travail avec le chien de troupeau n'est *a priori* pas impacté par la présence des panneaux si ces derniers sont suffisamment hauts et après un temps d'adaptation de la part du chien.

En cas d'utilisation prévue d'un chien de conduite dans le parc, il est nécessaire que l'éleveur avertisse l'exploitant de la centrale afin que toutes les mesures soient prises en cas de venues d'intervenants extérieurs.

Pour en savoir plus : <http://chiens-de-troupeau.idele.fr>



EN PRATIQUE

Dans certains projets (création d'atelier ou pâturage de surface complémentaire éloignée du siège de l'exploitation), il sera peut être nécessaire de prévoir un bâtiment (bergerie) pour les périodes de mises bas et de finition par exemple mais aussi pour du stockage d'aliments (fourrages, céréales,...) ou de matériels.

Recommandations de dimensionnement en ovins viande conventionnel (source Equip'Innovin 2019) :

- Surface en aire paillée de 1 à 2 m² par brebis selon le stade physiologique et la présence des agneaux
- Largeur de l'aire paillée 5 à 6 m par brebis en lactation ou fin de gestation
- Longueur d'auge de 0.33 à 0.4 m par brebis

**À SAVOIR !**

Les intérêts d'un parc de contention sont multiples, pour l'éleveur comme pour le troupeau.

- Les animaux sont maîtrisés dans le calme et maintenus, ce qui permet des interventions en sécurité pour les hommes et les animaux.
- Ce dispositif est apprécié des intervenants externes (inséminateurs, vétérinaires...) pour la sécurité qu'il apporte (l'éleveur étant responsable de la bonne sécurité de ces personnes lors des manipulations).
- Les interventions sur les animaux étant simples à réaliser et moins pénibles, l'éleveur hésite moins à intervenir sur les bêtes, ce qui a un impact sur ses résultats techniques.
- Le regroupement des animaux est facilité pour les chargements ou les déplacements entre les différents îlots.
- L'éleveur n'a pas besoin de faire appel à quelqu'un d'extérieur pour l'aider à maintenir les animaux.
- Les manipulations au pâturage font gagner du temps et de l'argent, plus besoin d'utiliser la bétailière pour ramener les animaux.

La contention peut par ailleurs servir pour écarter temporairement le troupeau en cas d'intervention du service de maintenance du parc agrivoltaïque.



À SAVOIR !

Se former au travail en environnement électrique

Bien qu'ils effectuent des opérations d'ordre non électrique, l'éleveur partenaire et ses éventuels associés utilisateurs sont amenés à travailler à proximité d'installations électriques. Il est donc important qu'ils puissent identifier les dangers liés au courant électrique. Il est recommandé que les éleveurs et autres utilisateurs suivent la formation « Habilitation électrique H0B0 » qui a pour but d'apporter des compétences en sécurité nécessaires au personnel devant réaliser des travaux non électriques dans un environnement électrique potentiellement dangereux.

Déchargement de brebis dans le parc photovoltaïque de Kertanguy (22) (© Neoen)

Faciliter l'ergonomie du travail d'élevage

L'ergonomie du travail de l'éleveur est un facteur important pour la durabilité des projets d'agrivoltaïsme. En effet, des mauvaises conditions de travail peuvent démotiver les éleveurs, voire les dissuader de participer à ce type de projet. Les gestionnaires sont donc invités à prendre en compte les paramètres d'ergonomie au travail pour maximiser les chances de réussite des projets.

FACILITER L'ACCÈS DES ÉLEVEURS À LA CENTRALE AGRIVOLTAÏQUE

Les éleveurs doivent pouvoir accéder à la centrale agrivoltaïque 24h sur 24 et 7 jours sur 7, afin de pouvoir intervenir auprès des animaux en cas de besoin.

Différents systèmes de fermeture du parc agrivoltaïque peuvent être rencontrés : système de fermeture à clé traditionnel ou clé électronique. Ces derniers se sont parfois avérés défaillants sur le long terme pour plusieurs éleveurs. De manière générale, les éleveurs préfèrent un système de fermeture à clé simple, qu'ils jugent plus fiable. Un cadenas peut être rajouté sur la porte d'entrée du parc afin de renforcer sa sécurité. Il importe toutefois de se rapporter aux procédures de sécurité qui interdisent parfois la pose de cadenas.

Par ailleurs, certains éleveurs rencontrent des difficultés pour appliquer le protocole de sécurité du parc photovoltaïque (procédures concernant les entrées et sorties de personnes dans le parc). En effet, certains protocoles obligent l'éleveur à signaler sa présence à la société gestionnaire à chaque fois qu'il vient sur le site, ce qui peut être assez lourd (vu la fréquence de visite) et peut poser des problèmes selon les réseaux de communication accessibles sur le parc.

EN PRATIQUE

Laisser l'accès à l'éleveur 24h/24 et 7 jours /7.

Les systèmes de fermeture traditionnels à clé sont préférés par les éleveurs car jugés plus fiables.

Par ailleurs, il importe que l'éleveur et le gestionnaire de la centrale s'accordent bien sur le protocole de communication et de sécurité du parc agrivoltaïque, et l'adaptent si besoin en fonction des réseaux disponibles (radio, GSM, internet...). Les protocoles doivent être prévus pour les plages en dehors des horaires de bureau et week-end.

FACILITER LE DÉCHARGEMENT DES ANIMAUX

Selon la distance entre la centrale agrivoltaïque et le siège d'exploitation de l'élevage, le transport des animaux doit se faire en remorque.

Plusieurs éleveurs ont évoqué l'importance de pouvoir entrer dans le parc agrivoltaïque avec le camion transportant les animaux afin de faciliter leur déchargement dans des conditions sécurisées.

EN PRATIQUE

Il est recommandé de prévoir un espace ouvert dans le parc, proche de l'entrée afin de faciliter le déchargement des bêtes et la manœuvre du véhicule de transport.
Cet espace sans panneau photovoltaïque doit être situé le long de la clôture périphérique du parc pour faciliter le déplacement des animaux.

SURVEILLER LE TROUPEAU À DISTANCE

L'activité d'élevage implique une surveillance régulière et variée : santé du troupeau, potentielles sorties d'animaux hors du parc, gestion de l'eau d'abreuvement, éventuelles fuites d'eau dans le réseau et tension électrique en cas d'utilisation de clôtures mobiles.

Les parcs agrivoltaïques disposent de systèmes de vidéosurveillance permettant au gestionnaire d'avoir un regard à distance sur l'état du parc, sur les mouvements qui s'y opèrent et sur d'éventuels signalements de sécurité.

On pourrait imaginer que les éleveurs aient accès à ces images pour faciliter la surveillance du troupeau à distance. En réalité, très peu d'éleveurs utilisent les caméras de vidéosurveillance et préfèrent suivre les animaux en effectuant des visites régulières. En effet, la surveillance du troupeau par l'intermédiaire des caméras du site est peu efficace dans cet environnement où la visibilité est très limitée du fait des tables photovoltaïques et de la taille de certains parcs.

ALERTER EN CAS D'INTRUSION DANS LE PARC OU DE SORTIE D'ANIMAUX

Dans la plupart des cas, les parcs agrivoltaiques disposent d'un système de sécurité contre les intrusions, généralement matérialisé par un fil de contact sur les clôtures (photo 37).

Le fonctionnement de ce système est simple. Tout mouvement détecté par le fil de contact sur les clôtures déclenche un signal d'alerte pour le gestionnaire. Un agent de télésurveillance utilise alors la caméra orientée sur le périmètre du parc pour vérifier la raison de l'alarme, avant de décider d'un déplacement sur site si nécessaire.

La présence d'animaux au ras de la clôture périphérique du parc agrivoltaïque

peut déclencher l'alarme du système anti-intrusion. De même, les clôtures mobiles électriques installées à l'intérieur du parc étant raccordées directement sur la clôture extérieure par des fils isolés, les animaux au pâturage peuvent entrer en contact avec la partie basse de la clôture extérieure.



Photo 37 : Exemples de système de sécurité montés sur clôture pour signaler la présence d'une intrusion (© Idele)

EN PRATIQUE

L'utilisation de certains capteurs peut faciliter le suivi à distance des activités d'élevage !

Ainsi, des solutions technologiques existent pour faciliter le suivi de l'abreuvement. Le système de jauge connectée permet de suivre à distance le volume et la température de l'eau dans une tonne ou une cuve, grâce à un capteur à ultrason. A chaque instant, l'éleveur peut visualiser à distance, sur ordinateur, tablette ou smartphone, des paramètres comme le niveau d'eau de la cuve, l'autonomie restante en jours, la consommation moyenne. Il peut également être alerté par mail ou sms en cas de dépassement de seuils préalablement définis.

Plusieurs autres types de technologies pourraient être envisagés pour équiper les parcs agrivoltaiques et faciliter leur utilisation par un éleveur : colliers GPS pour localiser les animaux, clôtures virtuelles pour refendre l'espace intérieur de la centrale, capteurs de vérification de l'électrification des clôtures, etc.



Veiller à la qualité du couvert végétal des parcs agrivoltaïques

Les projets couplant activité photovoltaïque et pâturage de ruminants doivent faire de la gestion du couvert végétal un sujet prioritaire puisque la prairie sera le plus souvent l'unique ressource alimentaire pour les animaux.

En effet, la qualité de la ressource fourragère est déterminante dans la réussite de ces projets. Un couvert végétal dégradé ou non adapté au pâturage ne satisfera tout simplement pas les besoins des animaux et/ou nécessitera une intervention supplémentaire de l'éleveur, ce qui n'est pas le but premier des projets d'agrivoltaïsme. Il est donc fondamental de connaître la qualité initiale du couvert végétal et de mettre en place une stratégie de gestion adaptée à chaque situation.

RÉALISER UN DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE INITIAL

La première étape du diagnostic de la qualité du couvert végétal consiste à évaluer le potentiel fourrager de la surface du parc agrivoltaïque afin d'organiser la stratégie de gestion du couvert végétal.

Évaluer la ressource végétale initialement disponible sur la surface

Un diagnostic initial de la végétation est fortement recommandé afin d'établir le potentiel de production des surfaces (tableau 4). C'est en effet sur la base des résultats de ce premier diagnostic que va se dessiner la stratégie de gestion du couvert végétal (chargement possible et choix entre réensemencement total ou sursemis local).

Ce diagnostic de la végétation permet de connaître les spécificités de la ressource fourragère et la période optimale d'utilisation par les animaux.

À SAVOIR !

HappyGRASS
Votre assistant prairie

L'application HappyGrass, une aide possible pour le diagnostic initial de l'état du couvert

L'outil « Identifier » du module « Prairie » de l'application permet de mener un diagnostic simplifié des parcelles en déterminant les principales espèces présentes.

+ D'INFOS : www.happygrass.fr



TABLEAU 4 :

LISTE NON EXHAUSTIVE DES ESPÈCES PRINCIPALES RENCONTRÉES DANS LES PRAIRIES. SELON LEUR FAMILLE ET LEUR INDICE DE QUALITÉ FOURRAGÈRE, COMPROMIS ENTRE RENDEMENT FOURRAGER ET QUALITÉ NUTRITIVE

GRAMINÉES	LÉGUMINEUSES	DIVERSES
Espèces de bonne qualité fourragère		
Dactyle	Luzerne	
Fétuque élevée	Trèfle blanc	
Fléole des prés	Trèfle violet	
Fromental		
Pâturin commun		
Pâturin des prés		
Ray-grass anglais		
Espèces de qualité fourragère moyenne		
Agrostis des chiens	Minette	Achillée millefeuille
Agrostis stolonifère	Vesce cracca	Pissenlit
Agrostis vulgaire	Lotier corniculé	Plantain lancéolé
Avoine jaunâtre (trisetite)		Plantain majeur
Avoine pubescente		
Brome fourrager		
Chiendent rampant		
Fétuque rouge		
Houlque laineuse		
Vulpin des prés		
Espèces de qualité fourragère médiocre		
Brachypode penné	Bugrana	Grandes diversités peu ou non consommées
Brome dressé		
Brise intermédiaire		
Brome mou		
Canche cespiteuse		
Crételle		
Fétuque ovine		
Floue odorante		
Glycérie flottante		
Houlque molle		
Nard raide		
Orge faux seigle		
Pâturin annuel		

Il est également important d'étudier la présence de certaines plantes indésirables : végétation à faible valeur fourragère ou très envahissante ou à fort pouvoir de colonisation (tableau 5). Ces indésirables, et en particulier les espèces ligneuses, pourraient compromettre l'idée même d'un contrôle de la végétation par le pâturage. En effet, les animaux peuvent, dans une certaine mesure, limiter l'expansion d'une végétation lignifiée, mais parviennent beaucoup plus difficilement à la faire régresser (exemples de zones très embroussaillées en ronces, fougères, buis, ajoncs, prunelliers...).

EN PRATIQUE

L'étude des espèces végétales présentes ne doit pas nécessairement être exhaustive.

L'objectif est d'établir :

- le pourcentage de bonnes espèces fourragères, d'espèces au potentiel fourrager moyen et d'espèces au potentiel fourrager médiocre.
- le pourcentage de sol nu ou de mousse.
- la présence de plantes indésirables (tableau 5), grimpantes, arbustives, toxiques.

TABEAU 5 :

**LISTE NON EXHAUSTIVE DES ESPÈCES INDÉSIRABLES
POUVANT CONCURRENCER LES ESPÈCES FOURRAGÈRES**

Strate arbustive

Buis
Cistes
Fougères
Genévriers
Ajoncs*
Certains genêts
(scorpion, purgatif...)*
Prunelliers*
Ronces*

Strate herbacée

Chardons
Gailllet
Géranium
Marguerite
Mauves
Pâquerette
Orties
Piloselle
Porcelle
Potentille
Renoncules
Rumex
Séneçons

*Ces espèces peuvent être contenues par des caprins habitués à « débroussailler » ou si la gestion du pâturage est serrée et adaptée avec une circulation possible des animaux. Dans ces cas, il faut impérativement réaliser un diagnostic préalable.

Évaluer le potentiel agronomique du sol

L'estimation du potentiel agronomique du sol est une information complémentaire intéressante. Les indicateurs pour le qualifier sont la profondeur du sol et sa composition granulométrique (texture du sol). Ces deux informations permettent un calcul de la réserve utile en eau du sol, soit la quantité d'eau que le sol peut absorber et restituer à la plante. A ces informations principales, on peut ajouter le taux de matière organique du sol et la capacité d'échange cationique. Ces indicateurs expriment respectivement la quantité de carbone du sol et sa capacité à retenir les nutriments.

EN PRATIQUE

La réalisation d'une analyse de sol permet l'évaluation du potentiel agronomique du terrain.

En parallèle, des cartes pédologiques locales peuvent apporter une analyse préliminaire sur le potentiel agronomique des sols. De même le retour d'expérience de l'agriculteur sur la qualité de ses sols est une aide précieuse à ne pas négliger. La connaissance de l'historique de fertilisation et d'amendement est enfin un élément important qui peut expliquer l'état de la végétation et une partie de la fertilité du sol.



Photo 38 : Couvert prairial sur une centrale agrivoltaïque du Tarn (© Idele)



Photo 39 : Buisson de buis non consommé par les brebis dans une centrale photovoltaïque du Gard (© Idele)

À SAVOIR !

Au-delà de la qualité intrinsèque de la végétation présente avant construction, le chantier d'implantation d'une centrale agrivoltaïque au sol dégrade-t-il le couvert végétal initial ?

La construction d'une installation agrivoltaïque se réalise généralement selon les phases suivantes :

- 1) Aménagement éventuel des accès ;
- 2) Préparation éventuelle du terrain (nivellement et terrassement) ;
- 3) Pose des clôtures, des portails et des moyens de surveillance pour sécuriser le chantier ;
- 4) Pose des fondations des modules (pieux battus ou vissés dans le sol ou fondations plus lourdes en semelle de béton en fonction du type d'infrastructure et de la qualité géotechnique du terrain) ;
- 5) Réalisation de tranchées pour l'enfouissement des câbles ;
- 6) Montage des supports des modules photovoltaïques ;
- 7) Pose des modules sur les supports ;
- 8) Installation et raccordement des équipements électriques (onduleurs, transformateurs, poste de livraison) ;
- 9) Essais de fonctionnement.

Les différentes phases de construction de la centrale nécessitent le passage d'engins qui peuvent entraîner ponctuellement la création d'ornières temporaires et générer un tassement du sol dans les zones de passages répétés. De plus, les travaux d'installation sur le sol peuvent s'accompagner de terrassements pour aplanir les surfaces et de bouleversements liés aux tranchées et ancrages des structures. Les sociétés gestionnaires essayent de limiter ces bouleversements en canalisant la circulation des engins sur des voies dédiées et en positionnant les tranchées sur le trajet des pistes internes.

Les retours d'expériences sur l'impact de la construction de centrales photovoltaïques au sol sur le couvert végétal restent tout de même contrastés, entre faible impact sur la végétation initiale et détérioration importante du couvert, les impacts dépendant des situations particulières et des conditions de chantier de chaque parc.



Photos 40 à 44 : Différentes phases de chantiers de construction d'une centrale photovoltaïque (© Neoen, © Idele, © science-in-hd/Unsplash)

METTRE EN PLACE UNE STRATÉGIE DE GESTION DU COUVERT EN FONCTION DU DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE INITIAL

La stratégie de gestion du couvert végétal doit prendre en compte les enjeux liés aux activités d'élevage et de production d'électricité photovoltaïque, c'est-à-dire garantir une ressource herbagère qualitative et abondante dans le temps et l'espace, pour le troupeau, et limiter raisonnablement les contraintes sur le fonctionnement de la centrale en vue notamment d'éviter les ombrages portés sur les panneaux qui pourraient engendrer des pertes de production électrique.

Selon les conditions pédoclimatiques et les résultats du diagnostic agronomique évaluant le potentiel fourrager du couvert végétal initial, plusieurs stratégies de gestion sont possibles.

- **Dans les zones avec des conditions pédoclimatiques difficiles**, où les espèces classées « de qualité médiocre » sont dominantes (recouvrement de 80 à 100%), il est préférable de garder l'équilibre de la prairie naturelle en place, même si sa valeur est faible, et d'ajuster les besoins des animaux à la ressource disponible (pas de soucis par exemple pour des ovins allaitants à l'entretien).

- **Dans les zones avec des conditions pédoclimatiques plus favorables**, deux scénarios de gestion sont possibles : maintenir la végétation initiale et l'enrichir grâce à un sursemis ou réensemencer totalement la surface du parc agrivoltaïque (figure 6). Néanmoins, la question du choix des espèces et des variétés à implanter se pose actuellement. Des essais seront mis en place afin d'identifier les espèces les plus aptes à produire du fourrage de qualité et en quantité dans un contexte d'ombrage lié aux panneaux. La stratégie de gestion doit dans tous les cas s'accorder aux enjeux présents sur le site, en

particulier aux enjeux environnementaux et de biodiversité mis en lumière en phase d'instruction des projets.

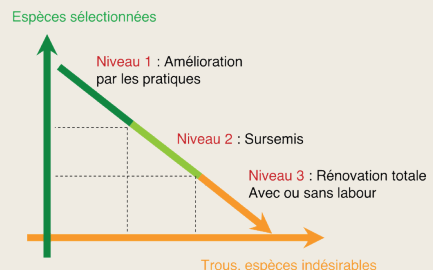
Dans tous les cas, quel que soit le scénario choisi, il est conseillé, dans la mesure du possible en fonction des enjeux environnementaux, de procéder à l'élimination des plantes vivaces indésirables (tableau 5) avant toute intervention sur le couvert végétal.

Scénario 1 : maintien du couvert initial et sursemis

Si le diagnostic agronomique révèle une bonne qualité de couvert végétal initial (prairie en bon état, avec plus de 50% d'espèces classées « bonnes fourragères »), alors sa conservation est conseillée. Un sursemis local est toutefois fortement préconisé après l'installation des tables. Le sursemis est une opération où la prairie initialement en place est conservée et seul un passage de semoir est pratiqué pour regarnir les zones de sol nu et où la prairie est peu dense ou dégradée. La stratégie du sursemis ne peut être mobilisée que dans des conditions spécifiques, avec des mélanges de semences au pouvoir de colonisation rapide. Au-delà de la restauration du couvert végétal, le sursemis permet aussi de limiter la concurrence d'espèces indésirables (qui réduiraient la production électrique du fait de leur ombrage), et l'appétence du fourrage.

FIGURE 6 :

LA COMPOSITION DE LA PRAIRIE RENSEIGNE SUR SON ÉTAT ET LE TYPE D'ACTION À ENTREPRENDRE POUR L'AMÉLIORER (SOURCE : GUIDE POUR UN DIAGNOSTIC PRAIRIAL, 2009)



EN PRATIQUE

Si le couvert végétal initial est en bon état, avec plus de 50% d'espèces classées « bonnes fourragères », alors sa conservation est conseillée, avec un sursemis éventuel sur les zones dégradées.

Quelques conseils pour réussir l'opération de sursemis :

- Choisir des espèces agressives (tableau 6). Les espèces semées pour regarnir les zones dégradées du couvert initial doivent être sélectionnées en fonction de leur vitesse d'implantation et de leur degré d'agressivité vis-à-vis des autres espèces. Parmi les espèces disponibles en semences fourragères pour le pâturage, les ray-grass anglais et trèfles blancs seront les plus indiqués pour le sursemis.
- Intervenir sur une végétation la plus rase possible pour qu'un maximum de lumière arrive au sol.
- Intervenir sur un sol ouvert, préparé et avec des conditions favorables à la germination (sol réchauffé, friable et légèrement humide).
- Veiller à ne pas trop enfouir les graines. La profondeur idéale est de 1 cm.
- Bien rappuyer le sol par roulage après le sursemis pour favoriser le contact terre / semence.

TABEAU 6 :
LISTE DES ESPÈCES FOURRAGÈRES PLUS OU MOINS ADAPTÉES POUR DES SURSEMIS EN CONDITION DE FAUCHE OU DE PÂTURAGE

Les espèces les plus agressives doivent être utilisées en priorité.

Utilisation	Agressivité	Graminées	Légumineuses
Fauche/ Pâturage	+++	Ray-grass italien Ray-grass hybride	
Fauche/ Pâturage	++	Brome <i>Festulolium</i>	Trèfle violet
Pâturage	+	Ray-grass anglais	Trèfle blanc
Pâturage	-	Fétuque élevée Dactyle	
Pâturage	--	Fétuque des prés	
Pâturage	---	Fléole	

Scénario 2 : réensemencement total de la surface

Intégrer l'étape d'implantation de la prairie bien en amont dans la chronologie du projet

Si le diagnostic agronomique révèle un état médiocre du couvert initial (faible recouvrement du tapis herbacé, présence importante de trous et d'espèces indésirables (> 20-30 % du recouvrement)), alors, un réensemencement total de la surface est conseillé avant la construction de la centrale agrivoltaïque. Une réflexion sur les espèces à planter sera à mener, afin d'allier productivité et qualité à l'ombre des panneaux.

EN PRATIQUE

Quand prévoir la réalisation du semis de prairie par rapport au chantier d'implantation de la centrale ?

Les premières expériences (*Armstrong et al., 2016*) ont montré qu'un semis de prairie moins d'un an avant l'implantation d'un parc agrivoltaïque n'est pas concluant en terme de densité du couvert.

Une prairie a besoin d'environ un an pour s'implanter et s'enraciner correctement. Il est donc nécessaire que cette phase de réensemencement de prairie soit prévue par le gestionnaire dans la chronologie du projet, au moins un an avant la construction du parc.

Dans le cas où l'implantation de la prairie se fait moins d'un an avant la construction de la centrale, un sursemis post-installation sera nécessaire pour atteindre la qualité attendue et concurrencer les espèces envahissantes.

À NOTER !

Les premières expériences montrent qu'une période d'environ 3 ans est nécessaire pour le développement d'un couvert herbacé homogène propice à un entretien quasi exclusif par les ovins.

Il est donc opportun d'adapter le chargement en conséquence au cours des premières années. Par ailleurs, que ce soit après un sursemis ou après le réensemencement d'une prairie, il peut être parfois nécessaire de faire ultérieurement des sursemis après des épisodes de sécheresse ou de canicule exceptionnels.

Concernant l'itinéraire technique de l'implantation de la prairie, les opérations réalisées vont différer selon que le sol est superficiel ou sans contrainte particulière, faisant intervenir ou non un labour (figure 7). Dans tous les cas, un travail superficiel du sol doit être opéré en amont du semis afin de créer suffisamment de terre fine pour faciliter la germination de la prairie ensemencée.

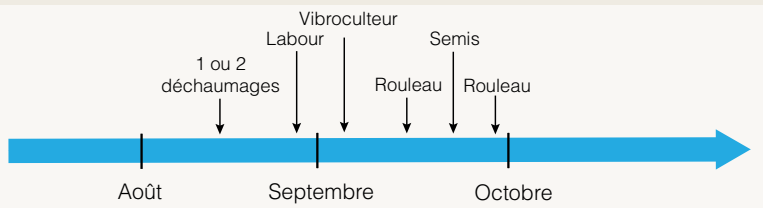


Photo 45 : Prairie semée dans un parc photovoltaïque
(© Photosol)

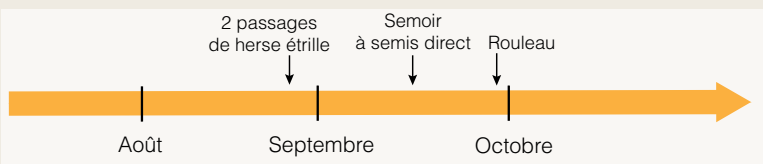
FIGURE 7 :

ITINÉRAIRE TECHNIQUE DÉCRIVANT LES ÉTAPES D'UN SEMIS DE PRAIRIE À L'AUTOMNE

• **Rénovation totale (sol sans contrainte particulière)**



• **Rénovation sans labour (dans certains cas de sols superficiels)**



Sélectionner des semences fourragères adaptées à la co-activité élevage – production d'électricité photovoltaïque

Dans le cas d'un parc agrivoltaïque, les prairies sont presque exclusivement destinées au pâturage et peu destinées à la fauche. Le mélange de semences doit donc être réfléchi pour répondre à cette utilisation. La diversité spécifique des prairies est un levier pour valoriser davantage les surfaces et augmenter les performances zootechniques (Delagarde, 2014). C'est pourquoi l'utilisation de mélanges prairiaux multi-espèces (au moins trois espèces) est recommandée. Bien qu'il n'existe pas d'espèces fourragères sélectionnées pour se développer dans des conditions ombragées, les plantes fourragères sont assez versatiles et certaines espèces s'y adaptent très bien.

• **Les graminées sont les espèces fourragères les mieux adaptées à l'ombre.** Toutefois, au vu des connaissances acquises sur ces espèces, l'ombrage généré par les panneaux photovoltaïques va probablement privilégier le développement de graminées à port gazonnant ou stolonifère. Les stolons donnent en effet la capacité aux plantes de recoloniser plus facilement des espaces sans végétation et de survivre aux sécheresses grâce à leur organe de réserve.

• **Les légumineuses**, qui sont bénéfiques à la prairie car autonomes en azote, riches en protéines et souvent très mellifères, se propageront surtout en situation ensoleillée et se plairont ainsi sans doute mieux dans les allées.

• **Concernant les plantes diverses**, le plantain est ajouté dans les mélanges car il est facilement consommé par les ruminants et a une capacité naturelle de réensemencement. Les plantes diverses ont par ailleurs un intérêt environnemental certain (mellifère entre autres).

EN PRATIQUE

Il est recommandé de privilégier des mélanges prairiaux multi-espèces pour valoriser au mieux les surfaces et augmenter les performances zootechniques (tableau 7).



Couvert végétal sur la centrale de Bioule (© Idele, centrale gérée par Neoen)



Photo 46 : Centrale photovoltaïque de Sainte-Agathe La Bouteresse (© Idele)

À SAVOIR !

Aux Etats-Unis, des semenciers commercialisent des mélanges de type gazon dédiés à la végétalisation des parcs photovoltaïques

Les mélanges commercialisés ont pour objectifs de minimiser la concurrence avec les panneaux photovoltaïques, fournir un pâturage adapté à des ovins en production, améliorer la santé du sol et la biodiversité au profit des pollinisateurs et de la vie sauvage. Ce type de produit n'est pas encore disponible en France. Il serait opportun de mener une recherche pour proposer des mélanges adaptés aux conditions des parcs agrivoltaïques en France.

TABLEAU 7 : COMPOSITION DES MÉLANGES PRAIRIAUX MULTI-ESPÈCES PRECONISÉS EN FONCTION DES CARACTÉRISTIQUES DU SOL (DOSES DE SEMIS INDiquÉES EN KG/HA)

Attention, ces références sont vérifiées sur ces des parcelles ayant un accès normal à la lumière. Le choix des espèces et des proportions risque d'évoluer sous panneaux. Néanmoins, à l'heure actuelle, aucunes références n'existent concernant les mélanges multi-espèces les plus adaptés aux conditions imposées par un parc agrivoltaïque.

Espèces fourragères composant les mélanges prairiaux		Caractéristiques du sol			
		Alternance hydrique	Hydromorphe	Séchant	Sain et profond
Graminées	Dactyle	-	-	5	-
	Fétuque des prés	-	5	-	4
	Fétuque élevée	9	-	8	-
	Fléole des prés	-	3	-	-
	Ray-grass intermédiaire	6	-	4	-
	Ray-grass anglais tardif	-	8	-	13
	Pâturin des prés	3	3	3	3
Légumineuses	Lotier	3	3	3	-
	Trèfle blanc	3	3	3	4
	Trèfle hybride	3	3	-	3
Diverses	Plantain	1	1	1	1
Total (kg/ha)		28	28	27	28

SUIVI RÉGULIER DE L'ÉTAT DE LA VÉGÉTATION DU PARC

Quelle que soit la stratégie de gestion mise en œuvre, il est important de prévoir un suivi régulier de la végétation du parc agrivoltaïque.

Pour s'assurer des services apportés par le parc, il peut ainsi être intéressant de prévoir une visite de l'éleveur avec le gestionnaire de la centrale au printemps, tous les ans (sur les trois premières années du projet), puis tous les 3-4 ans ensuite, afin de faire le point sur l'état de la végétation du parc. Cette rencontre de l'éleveur et du gestionnaire sur le parc est l'occasion de faire le bilan de la campagne précédente, de partager les constats sur

l'évolution de la végétation (baisse ou augmentation de la ressource, apparition de trous, d'espèces indésirables, etc.), de voir si le pâturage effectué correspond aux attentes de l'éleveur et du gestionnaire, et d'étudier les éventuels besoins de travaux de sursemis ou d'autres travaux à effectuer. Les contrôles imposés par la réglementation peuvent être des moments opportuns pour faire ce suivi.

EN PRATIQUE

Il est recommandé d'organiser un suivi régulier de la végétation, notamment au travers de visites communes de la centrale par l'éleveur et le gestionnaire, au printemps.



Photo 47 : Centrale agrivoltaïque de Bioule (82) (© Idele, centrale gérée par Neoen)



Ovins pâturent dans une centrale agrivoltaïque (© TSE)

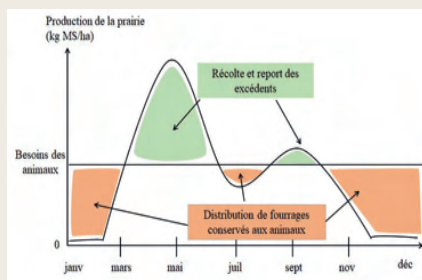
Choisir un système de pâturage adapté aux objectifs de chacun des acteurs

Le pâturage de ruminants en parc agrivoltaïque peut s'organiser de différentes façons en fonction de la surface du parc, de la taille du lot d'animaux et de la période à laquelle le pâturage a lieu. Chaque technique de pâturage présente des avantages et des inconvénients pour l'éleveur et la société gestionnaire. L'enjeu est de choisir la technique de pâturage la plus adaptée aux objectifs et contraintes de chacun des acteurs. Cette partie propose des repères pour l'organisation spatiale et temporelle du pâturage.

CONNAÎTRE LA COURBE DE LA POUSSE DE L'HERBE AU COURS DE LA CAMPAGNE

Pour appréhender les enjeux liés à la gestion de l'herbe et aux pratiques de pâturage, il est essentiel de comprendre la dynamique de croissance des prairies au fil d'une campagne fourragère. Celle-ci suit une courbe caractéristique (figure 8), influencée par les conditions climatiques et les ressources disponibles, notamment en eau. On distingue généralement six phases, détaillées dans le sous paragraphe « Repères de pilotage d'un pâturage tournant sur la base des cumuls de température » page 73. Pour optimiser la conduite de l'herbe, les éleveurs mobilisent des leviers et ajustent leurs pratiques tout au long de la campagne : report et récolte des excédents, ajustement du chargement, distribution de fourrages... Les prairies situées sous des installations agrivoltaïques suivent cette même dynamique. Pour assurer une exploitation efficace, il est indispensable d'identifier les leviers que l'éleveur est susceptible d'activer et de lui fournir les conditions optimales à leur mise en œuvre, notamment en cas de fauche des excédents au printemps.

FIGURE 8 :
COURBE DE CROISSANCE ANNUELLE SCHÉMATIQUE
D'UNE PRAIRIE ET VALORISATION PAR LE
TROUPEAU (D'APRÈS : COUVREUR ET AL. 2018)



CHOIX DES ANIMAUX PÂTURANT EN PARC AGRIVOLTAÏQUE

À l'heure actuelle, en France, les expériences de pâturage en centrale agrivoltaïque concernent essentiellement des ovins allaitants.

Des projets d'expérimentation sont en cours de montage concernant les bovins. *A priori*, la pratique est compatible avec l'élevage de différents types d'herbivores, sous couvert d'aménagements et adaptations liés à la circulation et au confort des animaux (cf. Partie 1). Le faible nombre d'expériences de pâturage en parc agrivoltaïque en France ne permet pas aujourd'hui de cibler une race particulièrement adaptée à la pratique.

Tous les lots d'animaux peuvent, *a priori*, être conduits en pâturage en centrale agrivoltaïque : femelles vides, femelles gestantes, femelles allaitantes, jeunes... Attention cependant, en période de lutte, sous panneaux photovoltaïques, les animaux, surtout les mâles et les jeunes femelles, peuvent éventuellement endommager les équipements.

La question de la présence d'animaux à cornes peut également se poser en raison de possibles dommages sur les équipements.

LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE PÂTURAGE

L'organisation du pâturage peut revêtir de multiples formes correspondant à des techniques assez différentes (figure 9), mais qui peuvent conceptuellement être regroupées en deux familles : le pâturage tournant (le troupeau tourne sur plusieurs parcelles de pâturage) et le pâturage continu (le troupeau n'exploite qu'une ou deux parcelles pendant plusieurs mois).

Concernant la situation d'entretien d'une centrale agrivoltaïque par le pâturage, chaque famille de techniques implique des avantages et contraintes différentes pour l'éleveur comme pour le gestionnaire. L'enjeu du choix d'un mode de pâturage

réside dans le fait de choisir la technique la plus adaptée aux objectifs, attentes et contraintes de chaque partie prenante. Trois variantes de ces modes de pâturage sont ici détaillées au travers de leurs critères techniques, atouts et contraintes : le pâturage tournant dynamique (autrement appelé techno- pâturage ou pâturage cellulaire), le pâturage tournant classique et le pâturage continu (ou pâturage libre).

FIGURE 9 :
LES DIFFÉRENTES VARIANTES DES SYSTÈMES DE PÂTURAGE TOURNANT ET CONTINU (SOURCE : GUIDE POUR UN DIAGNOSTIC PRAIRIAL, 2009)

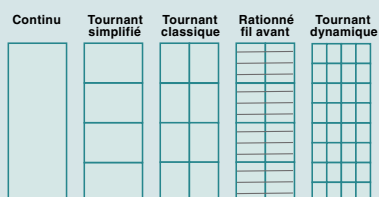


Photo 48 : Brebis au pâturage dans la centrale agrivoltaïque du Canadel (83) (© Voltalia)

Le pâturage tournant dynamique

Principes de base

Le pâturage tournant dynamique (autrement appelé techno-pâturage ou pâturage cellulaire) est basé sur le principe d'une rotation du troupeau avec un chargement instantané très élevé, sur des surfaces avec un temps de présence par parcelle très court (de 1 à 3 jours). Cette technique repose sur l'idée qu'en augmentant la pression de pâturage via le chargement instantané (c'est-à-dire le nombre d'animaux présents pendant une journée sur une parcelle donnée), la ressource est mieux valorisée par le troupeau.

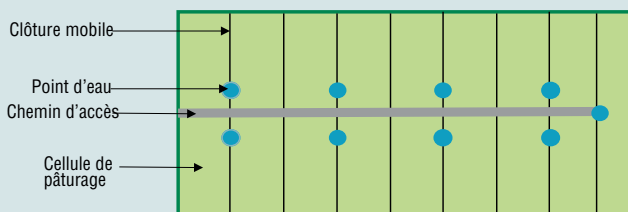
À SAVOIR !

Au printemps, le pâturage tournant dynamique associant chargement élevé et rotations rapides limite le gaspillage de l'herbe et permet de bien valoriser la ressource disponible. On a donc toujours intérêt à faire pâturer de l'herbe courte (qui sera de meilleure qualité).

Équipements nécessaires

Les parcelles sont divisées à l'aide d'une clôture électrique temporaire pour créer des parcelles plus petites appelées cellules de pâturage (figure 10). À l'aide de la technique dite de « fil avant – fil arrière », le troupeau est ainsi encadré par une clôture électrique sur une surface qui lui fournit sa ration en herbe pour quelques jours. Il existe des équipements spécifiques pour façonner rapidement les cellules de pâturage à la forme et taille souhaitées. Le quad permet de placer et

FIGURE 10 :
REPRÉSENTATION SIMPLIFIÉE DU PARCELLAIRE EN PÂTURAGE TOURNANT DYNAMIQUE (SOURCE : LERAY ET AL., 2017)



enlever les clôtures mobiles rapidement et de surveiller les troupeaux. Il facilite le travail de l'éleveur tout en diminuant la pénibilité.

L'objectif de cette organisation spatiale est de fournir l'alimentation et l'eau d'abreuvement du troupeau pour 1 à 3 jours dans chaque cellule. L'éleveur doit faire varier la taille des cellules et le temps de présence des animaux pour faire coïncider les besoins des animaux à la quantité d'herbe disponible.

Résultats attendus

Dans cette configuration de pâturage, les animaux trient moins la végétation (ce qui préserve la qualité de la flore) et deviennent de vraies tondeuses, limitant le recours à l'entretien mécanique. L'augmentation du nombre d'animaux sur les prairies permet une meilleure répartition des déjections animales, ce qui améliore la fertilité du sol et la production du couvert végétal.

Enfin, le troupeau étant plus régulièrement en contact avec l'éleveur du fait des changements fréquents de cellules, les animaux deviennent plus dociles.

Il est important de noter que cette technique de pâturage implique la pose de nombreuses clôtures et impose à l'éleveur une grande disponibilité et une astreinte pour les changements très fréquents de cellules de pâturage.

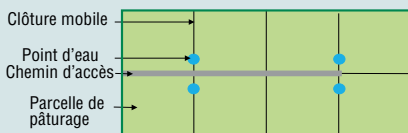
Le pâturage tournant classique

Principes de base

Le pâturage tournant classique consiste à mettre en place un circuit de pâturage de 5 à 10 parcelles où le troupeau reste entre 3 et 5 jours par parcelle (figure 11). Le temps de repousse permet de faire du stock d'herbe sur pied qui sera bénéfique à la pérennité de la prairie et apportera de la souplesse à l'éleveur dans l'utilisation des pâturages lorsque la croissance des prairies diminue. La taille des parcelles dépend du nombre d'animaux présents et de la quantité de fourrage distribué

en complément. Avec cette technique, l'organisation du pâturage peut être calculée en fonction de la vitesse de rotation souhaitée par l'éleveur, selon ses contraintes et sa disponibilité.

FIGURE 11 :
REPRÉSENTATION SIMPLIFIÉE DU PARCELLAIRE
EN PÂTURAGE TOURNANT CLASSIQUE
(SOURCE : LERAY ET AL., 2017)



Équipements nécessaires

Le pâturage tournant classique nécessite moins de clôtures que la variante de pâturage tournant dynamique. En ovin, les éleveurs utilisent des filets électriques pour cloisonner leurs parcelles. Le rythme de rotation des cellules de pâturage étant plus lent, le travail d'astreinte pour l'éleveur est également plus léger. Pour garantir une efficacité de ce mode de pâturage sur l'entretien de la végétation, il faut assurer une pression de pâturage sévère en respectant des repères de hauteur de sortie de parcelle (3 à 6 cm selon la saison et le type d'élevage).

Le pâturage continu

Principes de base

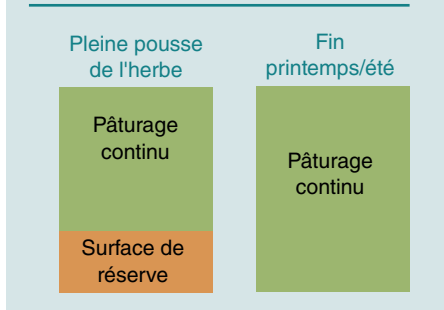
Le pâturage continu, ou pâturage libre, consiste à donner accès à l'ensemble du parc au troupeau sur un long temps de séjour (figure 12). Le principe est que les animaux prélèvent ce dont ils ont besoin, de la mise à l'herbe jusqu'au moment où la ressource vient à manquer. C'est la hauteur d'herbe plutôt que la notion de stock qui permet de gérer ce système de pâturage. Il est idéal si le climat est arrosé et la croissance de l'herbe stable sur une longue période... ce qui est plutôt rare. Il est habituel de voir des petits troupeaux pratiquer ce genre de pâturage car ils

restent sur la parcelle pendant la majorité de la saison de pâturage, simplifiant le travail pour l'éleveur.

Limite de cette technique de pâturage

Le pâturage continu est adapté aux animaux avec de faibles besoins alimentaires. En effet, l'absence de gestion et le faible nombre d'animaux entraînent souvent un vieillissement prématuré de l'herbe et la chute de sa qualité alimentaire. Le pâturage continu est ainsi déconseillé dans les situations de recherche de performances élevées pour un lot d'animaux. De plus, ce type de pâturage entraîne une forte sélection par les animaux, soit l'apparition de zones sur-pâturées et non pâturées, ce qui a des effets sur l'offre d'herbe en quantité et en qualité. Les zones sous-pâturées sont notamment propices au développement d'arbres et arbustes nécessitant le recours au désherbage mécanique ce qui peut être problématique dans un parc agrivoltaïque.

FIGURE 12 :
REPRÉSENTATION SIMPLIFIÉE DU PARCELLAIRE EN
PÂTURAGE LIBRE (SOURCE : LERAY ET AL., 2017)



Équipements nécessaires

Dans cette configuration, l'organisation spatiale ne nécessite pas de clôtures supplémentaires et repose uniquement sur les clôtures extérieures du parc agrivoltaïque. Le travail d'astreinte de la gestion du pâturage en est ainsi simplifié. Une clôture électrique peut éventuellement être utilisée pour diviser le parc en deux zones, permettant d'avoir une réserve d'herbe à pâturer lorsque la croissance des prairies diminue en fin de printemps. Seule

l'organisation de l'eau d'abreuvement reste importante pour assurer les besoins en eau des animaux et favoriser une bonne prospection de l'ensemble du parc.

L'ORGANISATION SPATIALE ET TEMPORELLE D'UN PÂTURAGE TOURNANT EN CENTRALE AGRIVOLTAÏQUE

Aménagement de la centrale agrivoltaïque en cellules de pâturage

Le découpage du parc agrivoltaïque en un parcellaire bien organisé optimise l'utilisation de la ressource fourragère, tant du point de vue des performances animales que de la production de l'herbe. Une bonne organisation permet en outre de fluidifier les transferts d'animaux et rend les déplacements plus faciles.

Conseils relatifs à l'organisation du parcellaire

- Tenir compte du temps de travail pour la finesse de découpe : à quelle fréquence est-il acceptable de changer de parcelle en fonction de la distance entre la centrale agrivoltaïque et le siège d'exploitation ?
- Ajuster et rendre les installations les plus pratiques possibles : portes, poignées, enrouleurs, passages d'homme, etc.
- Prévoir davantage de clôtures et de portes que dans une prairie classique pour laisser un passage au gestionnaire de la centrale.
- Utiliser des auxiliaires de travail : VTT, quad, chien de troupeau.
- En amont de tout découpage, bien définir et calibrer le chargement animal.
- Tenir compte des caractéristiques de la centrale agrivoltaïque (pentes, zones humides, etc.) dans le découpage et la conduite du troupeau.
- Limiter la taille des parcelles pour éviter que les animaux y restent plus d'une semaine.
- Avoir des cellules de pâturage homogènes pour éviter les tris de végétation : séparer les zones hautes et basses, isoler une zone avec une végétation différente.
- Avoir des cellules de pâturage de forme proche du carré.
- S'assurer que le découpage ne laisse aucune zone en défens ou inaccessible aux animaux.

- Enfin, il peut être intéressant de se faire accompagner en faisant appel à un œil extérieur pour planifier l'organisation du pâturage dans le parc agrivoltaïque.

Conseils relatifs au réseau d'eau et aux clôtures

- Prévoir 1 point d'eau minimum par parcelle de pâturage, si possible loin de l'entrée.
- Calibrer le réseau d'eau pour fournir un débit suffisant dans chaque parcelle.
- Valoriser les éléments existants dans le parc agrivoltaïque (clôtures fixes, chemins d'accès, rangs entre les panneaux...) pour organiser les parcelles.

EN PRATIQUE

De très nombreux travaux de recherche & développement ont montré, chez tous les ruminants, que si le chargement est bien adapté, il n'y a quasiment pas d'effet du système de pâturage sur les performances du système, que l'on raisonne à l'animal ou à l'hectare. Quel que soit le système, la clé de réussite du pâturage réside dans la mise en place d'un chargement adapté et dans l'anticipation des décisions.

La maîtrise du pâturage, y compris en parc agrivoltaïque, ne se limite pas au choix du système de pâturage. Il importe en permanence d'adapter ses pratiques afin d'assurer l'équilibre entre l'offre alimentaire associée à la croissance de la prairie et la demande alimentaire associée aux besoins des animaux et aux pratiques de complémentation.

Le pâturage tournant dynamique semble de prime abord être la technique la plus adaptée pour les projets agrivoltaïques. C'est en effet la technique qui permet idéalement de répondre au souhait d'entretenir les parcs *quasi* exclusivement par le pâturage de ruminants. Cependant, la technique impose des contraintes importantes en termes d'organisation spatiale des infrastructures photovoltaïques et elle génère un travail d'astreinte important pour l'éleveur et pour les opérateurs de maintenance du parc. De plus, cette technique est encore peu adoptée dans les élevages.

Une alternative satisfaisante peut donc être la gestion en pâturage tournant classique, pratique plus courante dans les élevages, permettant de bons résultats sur la gestion de la prairie et présentant plus de souplesse dans l'organisation. C'est d'ailleurs la technique la plus couramment rencontrée dans les centrales agrivoltaïques déjà en activité.

En cas d'adoption de la technique de pâturage tournant dynamique comme mode de gestion d'un parc agrivoltaïque, les éleveurs sont invités à suivre une formation sur cette technique de pâturage.

- S'appuyer sur les clôtures fixes du pourtour du parc agrivoltaïque pour dessiner les parcelles.
- Pour les clôtures mobiles, prévoir des fils électroplastiques ou des filets.
- Veiller à ce que l'électrificateur fournisse 3000 V en tout point.
- Implanter de solides piquets d'angle.
- Penser aux passages d'hommes, notamment afin de faciliter le passage pour les personnes assurant la maintenance du parc.

À SAVOIR !

L'application HappyGrass, une aide possible pour la gestion du parcellaire



Le module « Parcelles » de l'application HappyGrass permet de cartographier les parcelles de pâturage et de positionner sur la carte les chemins et points d'intérêt (points d'eau par exemple), fournissant ainsi une aide à la gestion du parcellaire.

+ D'INFOS : www.happygrass.fr

Repères théoriques pour l'organisation du planning de pâturage tournant en centrale agrivoltaïque

Au-delà du choix de la technique de pâturage, il est important de rappeler quelques notions théoriques permettant de piloter la conduite d'un pâturage tournant en parc agrivoltaïque, en optimisant la ressource en fonction des conditions climatiques de la saison.

Surveiller l'évolution de la pousse de l'herbe grâce aux sommes de températures

Le cycle de production des graminées commence avec une première phase végétative durant laquelle l'accumulation de matière sèche se fait par tallage et production de feuilles. Cette phase est suivie d'une phase reproductive, la montaison, durant laquelle l'accumulation de matière sèche se fait par l'allongement de la tige au fur et à mesure que l'épi monte dans la gaine. Cette pousse reproductive a lieu au cours du printemps. Si l'épi est sectionné (étêtage), les repousses suivantes sont alors feuillues.

L'INRAe de Toulouse a montré qu'il existe une relation directe entre les stades phénologiques et les sommes de températures, ou degrés jours (tableau 8). Cette relation permet la modélisation des différents stades de développement des graminées et permet surtout de les anticiper pour adapter le pâturage. Le pilotage du pâturage se fait ainsi sur l'indicateur des degrés jours mesurés au plus proche de la zone concernée. Les panneaux influençant le microclimat, ils peuvent également jouer sur la somme des degrés jours et donc sur les dates des stades de développement

L'enjeu principal du pâturage de printemps : gérer l'épiaison des graminées

La conduite en pâturage tournant se gère en cycles afin d'offrir de l'herbe au bon stade, d'optimiser la pousse de l'herbe durant la saison de pâturage, de gérer les excédents et préserver et améliorer le couvert végétal. Pour une gestion optimale du pâturage, il est primordial de maîtriser le 1^{er} cycle de l'exploitation de l'herbe car il conditionne la réussite de la campagne. L'enjeu principal est de procéder à l'étêtage des graminées lors du 1^{er} cycle de pâturage, afin que les repousses ultérieures soient feuillues. En effet, les plantes épiées, en plus d'être moins intéressantes nutritivement, sont moins appréciées des ruminants qui auront tendance à sélectionner d'autres ressources pour leur alimentation. Ces refus des plantes épiées forment alors des touffes qui, si elles restent en l'état, peuvent abriter des semis spontanés de plantes lignifiées (ronces, arbustes, arbres), ce

À SAVOIR !

Qu'est-ce que les degrés-jours (ou cumul de températures) ?

Les informations des stations automatiques de Météo France sont utilisées pour calculer les degrés-jours (autrement appelés somme ou cumul des températures). Le principe est que, à partir du 1^{er} février, la moyenne des températures minimales et maximales est calculée chaque jour (sur 24h). Si cette moyenne est < 0°C, le cumul de températures de cette journée est nul. Si la moyenne est dans la fourchette [0-18°C], la moyenne vient s'ajouter au cumul de températures calculé la veille. Au-delà, si la moyenne est supérieure à 18°C, le cumul journalier reste plafonné à 18°C (voir exemple du tableau 9). L'information des degrés-jours est disponible sur une grande partie du territoire car la mesure s'appuie sur le maillage dense des stations de Météo France. L'information du suivi des degrés-jours est en général disponible auprès des Chambres d'agriculture locales.

qui à terme dégrade la qualité du couvert végétal et peut gêner la production photovoltaïque. L'un des objectifs de l'agrivoltaïsme étant que l'entretien du parc se fasse *quasi* exclusivement par la dent de l'animal, il est donc fondamental que l'étêtage des graminées soit assuré sur toute la surface du parc agrivoltaïque.

Repères de pilotage d'un pâturage tournant sur la base des cumuls de températures

Un démarrage précoce du pâturage

Un pâturage précoce (entre 250 et 350 degrés-jours) permet d'une part de bénéficier d'un fourrage de haute qualité, et d'autre part de retarder la phénologie des plantes et décaler ainsi un peu l'épiaison. Démarrer précocement le pâturage permet

TABLEAU 8 : REPÈRES DE DÉVELOPPEMENT DE QUELQUES GRAMINÉES EN FONCTION DES DEGRÉS-JOURS (SOURCE : GUIDE DU PÂTURAGE LIMOUSIN, 2011)					
	Départ de végétation	Épi 5 cm	Épi 20 cm	Épiaison	Floraison
Ray-grass	250°C	500°C	700°C	1 000°C	1 200°C
Dactyle	300°C	600°C	800°C	1 100°C	1 300°C
Fétuque rouge	350°C	700°C	900°C	1 400°C	1 600°C

TABLEAU 9 :

EXEMPLE DE CALCUL DES DEGRÉS-JOURS SUR LA STATION MÉTÉO D'AUBUSSON EN 2011 (DONNÉES MÉTÉO FRANCE, EXPRIMÉES EN DEGRÉS CELSIUS °C) (SOURCE : GUIDE DU PÂTURAGE LIMOUSIN, 2011)

	T°C Mni	T°C Maxi	Moyenne	0 < Moy. < 18	Cumul
1 ^{er} février	-4.6	-2.9	-3.75	0	0
2 février	-5.8	1.9	-1.95	0	0
3 février	0.3	7.9	4.1	4.1	4.1
4 février	1.3	8.4	4.85	4.85	8.95

de finir le 1^{er} cycle de pâturage au bon stade. Le début du pâturage commence dès que l'herbe croît et qu'il y a un peu de stock d'herbe d'avance.

Finir le 1^{er} cycle de pâturage avant le stade épi 20 cm

L'épi peut encore être consommé par les ruminants au stade de début de montaison, lorsque qu'il se situe entre 5 et 20 cm dans la gaine de la plante. Si l'épi monte au-delà de 20 cm dans la gaine, les animaux refusent de le consommer. L'éleveur doit donc terminer le 1^{er} tour de pâturage avant que la hauteur des épis dans la dernière parcelle n'ait atteint 20 cm dans la gaine, ce qui correspond à un cumul entre 500 et 800 degrés-jours selon l'espèce considérée. Les animaux sont alors remis sur les premières parcelles pâturées.

Il est à noter que les dernières parcelles pâturées au 1^{er} cycle pourront être exclues du second cycle de pâturage si leurs épis ont déjà été sectionnés. Elles pourront ainsi être conservées en stock sur pied pour un passage plus tardif des animaux.

Finir le second cycle de pâturage avant l'épiaison des talles secondaires

Lors du second cycle de pâturage, l'objectif consiste à faire consommer un maximum d'épis des talles secondaires avant qu'ils n'atteignent 20 cm (cumul de 1150 degrés-jours). La montaison des talles secondaires s'effectue plus tardivement que celle des talles principales. Le deuxième pâturage doit être rapide pour s'adapter à la pousse de l'herbe importante de cette période.

Un 3^{ème} pâturage de printemps possible

Un 3^{ème} cycle de pâturage peut s'envisager, dans des conditions dépendant du contexte pédoclimatique de la centrale agrivoltaïque. Sur les sites présentant un caractère séchant, seules les premières parcelles pâturées du deuxième cycle pourront bénéficier d'un 3^{ème} tour de pâturage au printemps, les parcelles pâturées en milieu ou fin de second cycle attendant plutôt l'automne pour bénéficier de ce 3^{ème} pâturage.

Un 4^{ème} passage à l'automne

Le 4^{ème} passage sera, selon les années, de courte durée ou repoussé dans le temps. Cependant il est nécessaire pour nettoyer les parcelles des feuilles sénescentes et pour favoriser une repousse de qualité au printemps.

CHIFFRES CLÉS

20-30 jours au printemps
et **40-50** jours en été

C'est le temps de retour qu'il faudrait prévoir entre deux exploitations d'une cellule par le pâturage tournant afin de faire consommer une herbe de bonne qualité, en conditions océaniques ou continentales.

3 à 4 mois

C'est le temps de retour nécessaire entre deux exploitations d'une cellule par le pâturage tournant en conditions méditerranéennes (deux passages par cellule, un au printemps et un autre en automne).

Le pâturage hivernal possible

Selon l'année et la pousse de l'herbe un pâturage hivernal est possible et souhaitable. Il permet de valoriser l'herbe verte produite pendant cette période. En fonction du nombre d'animaux mis sur la surface, l'affouragement sera nécessaire. Une attention particulière sera portée sur les zones de couchage qui, en période humide, peuvent fortement et durablement détériorer la prairie, notamment sous les panneaux.

Une gestion du pâturage à adapter selon l'effet des modules photovoltaïques sur la ressource herbagère

La présence des modules photovoltaïques peut amener à ajuster l'organisation du pâturage selon le contexte pédoclimatique de la centrale. Ainsi les panneaux photovoltaïques ont un effet bénéfique dans un contexte très aride car ils génèrent un microclimat plus favorable à la pousse qu'en pleine exposition (étude d'*Hassan pour Adeh et al.*, 2018, réalisée en Oregon). À l'inverse, les panneaux semblent pénaliser la pousse de l'herbe dans un contexte de hautes latitudes avec des températures douces et une forte hygrométrie, notamment sur la période printanière de pleine pousse de l'herbe (étude d'*Armstrong et al.*, 2016, réalisée au Royaume-Uni).

EN PRATIQUE

La présence des panneaux photovoltaïques semble améliorer la ressource disponible pour les animaux en fin de printemps et sur la période estivale, la croissance de l'herbe pouvant être améliorée grâce à l'ombre protectrice. Au contraire, la pousse de l'herbe sera moins importante en début et milieu de printemps du fait de l'ombre des panneaux.



Centrale de Bioule (82) (© Ideler, centrale gérée par Neoen)

La pousse de l'herbe est aussi fortement dépendante de la météo de l'année. Le temps de présence par parcelle devra donc être adapté en tenant compte de la ressource herbagère dans la parcelle et dans l'ensemble du parc.

Les éleveurs engagés dans des projets d'agrivoltaïsme sont invités à se faire accompagner par des conseillers ou techniciens agricoles (Chambres d'agriculture, instituts et autres organismes techniques) pour mettre en place des techniques d'élevage et de gestion du pâturage adaptées à leur contexte.



20 km et 20 minutes

C'est la distance et le temps de parcours maximal entre le siège d'exploitation et le pâturage, conseillé par les experts du projet Casdar Brebis_Link dans le cadre de partenariats de pâturage de brebis sur des surfaces additionnelles (vergers, vignes, couverts intermédiaires, céréales...).

(© Neoen)

Établir les bases d'un partenariat durable entre éleveur et gestionnaire

Les projets d'agrivoltaïsme mettent en jeu des acteurs du monde agricole et des gestionnaires autour d'un couplage de leurs activités respectives. Les modalités de ces partenariats peuvent conditionner la réussite des projets. Plusieurs points de vigilance sont à prendre en compte : objectifs et contraintes de chaque partie prenante, sensibilisation des différents intervenants aux enjeux des uns et des autres, éloignement au siège d'exploitation de l'éleveur, importance de la contractualisation...

Une fois intégrés tous les points de vigilance techniques concernant l'adaptation des équipements photovoltaïques et leur implantation, les équipements nécessaires à l'activité d'élevage, le couvert végétal et les modes de gestion du pâturage, il importe d'aborder les modalités de partenariat entre l'éleveur et la société gestionnaire.

PARTAGER LES OBJECTIFS ET CONTRAINTES DE CHACUN

La construction d'un partenariat durable nécessite que chaque partie prenante ait une bonne connaissance des spécificités du métier de l'autre, de ses objectifs et de ses contraintes spécifiques, pour éviter de conclure un accord basé sur des malentendus.

Il est ainsi nécessaire de sécuriser l'utilisation de ce foncier pour l'éleveur pour assurer la pérennité de l'exploitation. Le contrat de prestation doit donner une lisibilité à long terme pour l'éleveur. Le gestionnaire de la centrale agrivoltaïque et l'éleveur partagent leurs manières de travailler et expriment les résultats qu'ils attendent du partenariat ainsi que leurs craintes éventuelles, afin de vérifier si les activités peuvent être complémentaires ou si des adaptations sont envisageables. De bons résultats sont d'autant plus facilement atteignables que des objectifs précis sont établis en amont.

Concernant les contraintes des parties prenantes, la distance entre le siège de l'exploitation agricole et la centrale agrivoltaïque peut, à la longue, être un facteur compromettant pour les projets. Les retours d'expériences indiquent que plusieurs partenariats se sont soldés par des abandons du fait des contraintes fortes imposées par la distance entre le siège d'exploitation et le parc agrivoltaïque, l'éleveur perdant trop de temps dans les déplacements. Des cas particuliers peuvent exister lorsqu'un gardien salarié ou de l'entraide sont présents à proximité de la centrale photovoltaïque.

ANALYSER LES GAINS ET LES PERTES POUR CHACUN DES PARTENAIRES

La mise en place d'une activité d'élevage dans un parc agrivoltaïque peut impacter de nombreux postes, financièrement ou en temps, de façon positive ou négative, soit pour le gestionnaire soit pour l'éleveur.

Impacts liés à l'aménagement du parc pour la co-activité

- Adaptation des équipements photovoltaïques et de leurs conditions d'implantation : modification de l'architecture des infrastructures, réduction de la densité des panneaux photovoltaïques...
- Ajout d'équipements spécifiques à l'activité d'élevage : bâtiment, contention, affouragement, réseau d'eau pour l'abreuvement, clôtures...
- Restauration du couvert végétal : achat de semences, semis, temps de travail...

Impacts liés à la pratique même de l'agrivoltaïsme

Aspects techniques et agronomiques

- Réduction de l'entretien mécanique du couvert végétal : carburant, temps de travail...
- Alimentation du troupeau : accès potentiel à de nouvelles surfaces de pâturage, notamment sur des terrains auparavant inexploitable.
- Difficulté voire impossibilité de constituer des stocks fourragers sur les surfaces végétales couvertes par les panneaux photovoltaïques, d'où l'importance de privilégier des installations qui permettent une polyvalence des usages (fauche, pâture, type d'animaux).
- Immobilisation possible de terres arables sur une longue période selon le type de structure.

Organisation du travail et logistique

- Surveillance et gestion du pâturage : surveillance quotidienne des animaux et de l'accès à l'eau, déplacement des parcs et des dispositifs d'abreuvement, déplacement du troupeau...

- Déplacements fréquents des animaux : frais et temps de trajet.
- Temps et frais de trajet supplémentaires selon l'éloignement du site.

Aspects économiques et réglementaires

- Accès à l'eau pour le troupeau : frais de fonctionnement à anticiper.
- Rémunération de la coactivité *via* le financement de mesures d'accompagnement pour le maintien et le développement de l'exploitation / rémunération de la pratique du pâturage en centrale photovoltaïque pour l'éleveur.
- Impact possible sur les aides PAC.

Bien qu'il existe encore peu de références technico-économiques sur la pratique, les parties prenantes sont vivement invitées à faire cet exercice d'évaluation des gains et pertes engendrées par l'agrivoltaïsme, afin de s'assurer qu'il y a bien un équilibre entre les gains et les pertes pour l'éleveur comme pour le gestionnaire, gage de durabilité du partenariat. L'exploration commune des impacts de la pratique est l'occasion pour chacun de mieux mesurer les bénéfices et les risques encourus par son partenaire. Le montant de la rémunération de l'éleveur est une variable importante à prendre en compte pour compenser d'éventuelles pertes de temps et frais de l'éleveur, notamment en lien avec les déplacements sur la centrale agrivoltaïque.

S'ENTENDRE SUR UNE RÉPARTITION ÉQUILIBRÉE DES INVESTISSEMENTS, DES TÂCHES ET DES RESPONSABILITÉS

Une répartition des investissements et des tâches bien définie en amont permet de sécuriser le partenariat, chaque partie prenante ayant connaissance de ce dont il a la responsabilité.

Tâches attribuées à chaque partie prenante

La société gestionnaire peut prendre à sa charge l'aménagement du parc, la mise en place des réseaux d'abreuvement, l'achat

À SAVOIR !

Agrivoltaïsme et aides PAC : admissibilité des surfaces agricoles concernées par des installations agrivoltaïques

L'article 8 de l'arrêté du 23 juin relatif aux définitions transversales relatives à l'activité et aux surfaces agricoles à partir de la campagne 2023 vient préciser les règles d'éligibilité aux aides PAC des installations photovoltaïques sur terres agricoles. Dans le cas où la zone d'implantation des panneaux photovoltaïques est couverte à plus de 30% de sa surface par des panneaux photovoltaïques, l'intégralité de la zone d'implantation est considérée comme non admissible. A la suite de la parution du décret d'application de l'agrivoltaïsme, l'arrêté du 21 mai 2024 vient modifier l'arrêté du 23 juin 2023 en précisant : « *Par exception, la zone d'implantation des installations photovoltaïques reconnues comme agrivoltaïques est admissible, nonobstant les autres règles de calcul de l'admissibilité des surfaces et l'exclusion de la surface artificialisée nécessaire au soutien des panneaux photovoltaïques* ».

De fait, les surfaces agricoles concernées par des installations agrivoltaïques semblent bien considérées comme des surfaces admissibles aux aides de la PAC. A ce jour, les règles pour calculer le taux d'admissibilité de la surface n'ont pas encore été définies..

d'équipements spécifiques à l'activité d'élevage (abreuvoirs, contention, clôtures mobiles) et la restauration initiale du couvert végétal (achat des semences), en plus de ses missions initiales d'exploitation et de maintenance de la centrale.

Les éleveurs partenaires ont la plupart du temps en charge la gestion des animaux (surveillance de l'état de santé, du bien-être animal...), du pâturage (déplacement des animaux et des clôtures mobiles) et de l'abreuvement (gestion du remplissage des abreuvoirs).

Concernant l'entretien mécanique complémentaire éventuel de la végétation non consommée par les animaux, cette tâche est la plupart du temps attribuée à l'éleveur, mais il arrive parfois que ce travail relève de la responsabilité de la société gestionnaire. Il est dans tous les

cas, recommandé que l'accord établi entre l'éleveur et le gestionnaire établisse une liste précise des tâches réalisées par chaque partie prenante.

Responsabilités de chaque partie prenante

Il convient également de définir les responsabilités de chacun et les procédures pouvant découler d'un évènement perturbant la présence des animaux avant le démarrage de la co-activité, en anticipant les potentielles situations conflictuelles. Les situations à éclaircir en particulier sont les suivantes :

- dégradation des équipements photovoltaïques par les animaux,
- incidents électriques,
- incendies,
- blessures d'animaux du fait des équipements,
- décès d'animaux dans la centrale photovoltaïque,
- non-respect des engagements en termes d'entretien de la végétation.

Il est également recommandé de prévoir les cas où des travaux de maintenance imprévus pourraient conduire à l'indisponibilité des surfaces sur une durée pouvant impacter la conduite du troupeau. Le partage des responsabilités doit se faire de la façon la plus équitable pour chaque partie.

Les éleveurs et les gestionnaires doivent s'assurer que leur assurance respective couvre la pratique de pâturage en centrale agrivoltaïque.

PARTAGER UN CALENDRIER PRÉVISIONNEL DE PÂTURAGE ET D'INTERVENTIONS

Il est important que chaque partie prenante ait connaissance des interventions des uns ou des autres sur la centrale agrivoltaïque.

Le calendrier de pâturage

Concernant l'activité d'élevage, la définition d'un calendrier de pâturage prévisionnel permet :

- à l'éleveur de planifier et visualiser de façon claire l'organisation du pâturage au cours de l'année (figure 13),
- au gestionnaire d'organiser les opérations de maintenance du parc agrivoltaïque en respectant le travail de l'éleveur.

Le calendrier de pâturage renseigne sur le nombre d'animaux et sur la période d'utilisation de chacune des parcelles du parc agrivoltaïque. De plus, il objective la performance de l'élevage sur le parc en créant un indicateur mesuré par le nombre de jours de pâturage par hectare, chaque jour de pâturage correspondant à un animal adulte nourri.

FIGURE 13 :
EXEMPLE DE CALENDRIER DE PÂTURAGE (SOURCE : IDELE/CNIEL)

Le planning des interventions

Le gestionnaire est invité à communiquer le planning des interventions prévues sur la centrale agrivoltaïque sur une année, afin que l'éleveur puisse organiser son travail en conséquence.

Si possible, le gestionnaire doit prévenir l'éleveur en cas d'intervention non programmée suite à un problème technique.

À SAVOIR !

L'application HappyGrass propose un calendrier de pâturage numérique pour organiser le pâturage sur toute la campagne.

HappyGRASS
Votre assistant prairie

Le module « Pâturage » d'HappyGrass propose la saisie d'un calendrier de pâturage permettant un suivi quotidien des lots d'animaux sur les parcelles et un suivi des interventions agronomiques réalisées. Le calendrier de pâturage offre une vision complète des séquences de pâturage sur des parcelles données.

La capitalisation de l'enregistrement des pratiques de pâturage sur plusieurs années permet aussi une optimisation de la conduite du pâturage.

+ D'INFOS : www.happygrass.fr



SENSIBILISER LES INTERVENANTS TECHNIQUES AUX ENJEUX DE LA PRÉSENCE D'ANIMAUX DANS LA CENTRALE

Il est important que chaque partie prenante intègre les risques et contraintes liés à chacune des activités afin de mettre en place un cadre sécurisé, pour les intervenants humains comme pour les animaux.

La présence d'un troupeau d'élevage dans une centrale agrivoltaïque entraîne, en effet, quelques précautions de sécurité vis-à-vis des infrastructures et des brebis. Il est conseillé de former les opérateurs en charge de l'entretien et de la maintenance du parc à des règles de bonne conduite en présence des animaux. Un panneau signalétique avec un code couleur à l'entrée du parc pourrait par exemple prévenir de la présence effective du troupeau sur la centrale et ainsi renforcer la vigilance de l'opérateur.

Les opérateurs doivent être particulièrement vigilants en présence de mâles en lutte ou de mères avec leurs petits. Il s'agit alors pour l'opérateur de refermer toutes les portes immédiatement après leur ouverture pour limiter les risques de vagabondage des animaux. Au sein du parc, il faut veiller à ne laisser aucun objet abandonné au sol (photo 49) ou les contraindre à une zone hors de portée des animaux afin de prévenir les sources de blessures voire de mortalité.



Photos 49 : Exemple d'objet retrouvé dans un parc photovoltaïque pouvant provoquer des blessures aux animaux (© Idele)

Une démarche proactive sera demandée sur la gestion des câbles apparents à hauteur des animaux (photo 50) : par exemple refaire les liens ou ajouter des grilles de protection. Il conviendra enfin d'informer les opérateurs de la présence des clôtures mobiles électriques à l'intérieur du parc.



Photo 50 : Présence de câbles à 50 cm de haut, risque d'endommagement de la structure sans protection (© Idele)

COMMUNIQUER, RESTER À L'ÉCOUTE, S'ADAPTER

Les partenaires doivent s'accorder un minimum de souplesse dans la mise en œuvre du cadre général fixé, pour s'adapter aux conditions du moment.

Le maintien d'un dialogue régulier reste nécessaire pour ajuster la pratique en fonction des conditions pédoclimatiques, du comportement du troupeau, de l'évolution du couvert végétal, de la ressource fourragère réellement disponible.

Si la communication entre les parties prenantes est importante, elle l'est aussi vis-à-vis de l'environnement extérieur. Le gestionnaire et l'éleveur peuvent communiquer avec différents supports (panneaux, flyers, presse...) sur la démarche d'agrivoltaïsme comme étant une pratique qui renforce la complémentarité entre élevage et culture sur le territoire et qui est créatrice de liens sociaux. Par ailleurs, il peut être opportun

de prévoir des panneaux signalétiques pour informer de potentiels « visiteurs » du comportement à adopter vis-à-vis des animaux ou d'un potentiel chien (de troupeau ou de protection).

FORMALISER LE PARTENARIAT PAR LA CONTRACTUALISATION

Dans le prolongement du travail initial de construction partenariale, l'établissement d'un contrat entre la société gestionnaire de la centrale agrivoltaïque et l'éleveur fixe les grands principes de la répartition des investissements, des tâches et des responsabilités, définit la durée du partenariat et les conditions de rémunération de l'éleveur. La contractualisation apporte un cadre sécurisant pour tous les acteurs.

La durée du contrat ne suit pas nécessairement la période totale de production de la centrale. Cependant, pour les deux parties prenantes, il est intéressant d'avoir une vision à long terme de son utilisation. En cas de non reconduction du partenariat par l'éleveur, une notification 18 mois avant la fin du contrat est recommandée. Une entente entre les deux parties est possible pour transférer l'usage des parcelles à un autre élevage.

Les conditions de rémunération sont négociées au cas par cas directement entre l'éleveur et la société gestionnaire. Il est simplement recommandé de veiller à ce que cette rémunération permette a minima d'équilibrer le temps passé et les frais dépensés par l'éleveur, notamment en ce qui concerne le déplacement entre le siège d'exploitation et le parc agrivoltaïque.

À SAVOIR !

Vers quel type de contrat s'orienter ?

Les projets agrivoltaïques sont encadrés juridiquement par un bail emphytéotique signé avec le propriétaire de la parcelle et un engagement avec l'éleveur exploitant de la centrale, qui peut prendre plusieurs formes : prêt d'usage, contrat de prestation de service, bail rural avec clauses spécifiques (Grimonprez. 2023).

Compte-tenu de la durée d'exploitation d'une centrale agrivoltaïque, la contractualisation de long terme est primordiale, surtout pour les exploitants en fermage. Toutefois, même pour un éleveur propriétaire, il est important de préciser dans le cadre d'un contrat les conditions de transmission de l'exploitation des pâtures. Le contrat entre l'éleveur et la société gestionnaire de la centrale agrivoltaïque doit apporter des garanties et engagements sur la transmissibilité du contrat en fin de carrière ou pour d'autres situations (évolution de la structure juridique de l'exploitation, etc.). Le partage de la valeur, la flexibilité de la relation entre l'éleveur et la société gestionnaire ainsi que la répartition des risques sont également à intégrer dans le document engageant les deux parties. Le bail rural reste, à ce jour inadapté à l'exploitation de centrales agrivoltaïques par des agriculteurs, ce qui peut mettre en difficulté les éleveurs engagés dans des projets.

Ces sujets juridiques sont actuellement en train d'être légiférés, ce qui devrait permettre à termes de proposer des outils juridiques adaptés aux projets de centrales agrivoltaïques.

EN PRATIQUE

La construction d'un partenariat d'agrivoltaïsme durable entre une société gestionnaire et un éleveur est favorisée par :

- une bonne communication avant et pendant le projet, entre les partenaires et avec l'environnement extérieur,
- une connaissance des objectifs, contraintes et attentes de l'autre,
- une analyse précise des gains et pertes engendrées pour chaque partenaire,
- une répartition claire des investissements, des tâches et des responsabilités,
- une planification des activités de chacun,
- une formation des différents acteurs à des « bonnes conduites » de travail,
- une formalisation au moyen d'un contrat.

BIBLIOGRAPHIE

- **Adeh E. H., Selker J. S., Higgins C. W., 2018.** Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *PloS One* 13, e0203256
- **Ademe, 2019.** Mehl C., présentation au colloque INES 2019.
- **Andrew A. C., 2020.** Lamb growth and pasture production in agrivoltaic production system. For the degree of Honors Baccalaureate of Science in Biology presented on August 21, 2020.
- **Afnor, 2024.** Qu'est-ce que le label projet agrivoltaïque ? <https://certification.afnor.org/energie/label-agrivoltaïque> (consulté le 04.02.2025).
- **Agra Europe, 2025.** Agrivoltaïsme : les bases d'un encadrement européen, selon le Copa-Cogeca. <https://www.agra.fr/agra-europe/agrivoltaïsme-les-bases-dun-encadrement-europeen-selon-le-copa-cogeca> (consulté le 10.02.2025).
- **Andrew A.C., Higgins C.W., Smallman M.A., Graham M., Ates S., 2021.** Herbage yield, lamb growth and foraging behavior in agrivoltaic production system. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 1-12p.
- **Andrew A.C., Higgins C.W., Smallman M.A., Prato-Tarango D.E., Rosati A., Ghajar S., Graham M., Ates S., 2024.** Herbage and sheep production from simple, diverse and legume pastures established in a agrivoltaic production system. *Grass and forage science*, 79, 294-307p.
- **Anses, 2018.** Avis de l'Anses relatif au « Bien-être animal : contexte, définition et évaluation ». <https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA2016SA0288.pdf> (consulté le 03.05.2021).
- **Armstrong A., Waldron S., Whitaker J., Ostle, N. J., 2014.** Wind farm and solar park effects on plant–soil carbon cycling: uncertain impacts of changes in ground-level microclimate. *Global change biology*, 20(6), 1699-1706.
- **Armstrong A., Ostle N. J., Whitaker J., 2016.** Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, 11(7), 074016.
- **Arsenault J.T., 2010.** Proposed Solar Panel Vegetation Impacts Stafford Landfill Solar Installation : Structure and Shading.
- **Barron et al., 2019.** Greg A. Barron-Gafford & all, Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability* V.2 ; 848–855 p.
- **Couvreux S., Delaby L., Doligez E., Mahmoudi P., Marnay L., et al.** Les prairies au service de l'élevage. *Educagri*, 332 p., 2018, 979-10-275-0160-1. Jurisprudence rendue par le Conseil d'État, 8 février 2017, Société Photosol, n°395464 <https://www.legifrance.gouv.fr/ceta/id/CETATEXT000034017910> (consulté le 03.05.2021).
- **M. Cossu, L. Ledda, G. Urracci, A. Sirigu, A. Cossu, L. Murgia, A. Pazzona, A. Yano, 2017.** An algorithm for the calculation of the light distribution in photovoltaic greenhouses, *Solar Energy* 141 : 38-48.
- **Décrypter l'énergie, 2021.** Les installations photovoltaïques émettent-elles des rayonnements nuisibles pour l'homme ou pour les animaux ? <https://decrypterlenergie.org/les-installations-photovoltaïques-emettent-elles-des-rayonnements-nuisibles-pour-lhomme-ou-pour-les-animaux> (consulté le 03.05.2021);

- **Deiss V., 2023.** Rapport d'étude sur le bien-être animal – Centrale solaire de CVE à Bissey-sous-Cruchaud.
- **Delagarde R., Roca-Fernandez A.I., Delaby L., Lassalas J., Peyraud J.L., 2014.** Accroître la diversité spécifique des prairies en élevage bovin laitier permet de valoriser plus d'herbe et de produire plus de lait par hectare.
- **Dietmaier, 2019.** Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft : Beweidung von Photovoltaik-Anlagen mit Schafen - LfL Information 2. Auflage.
- **Dupraz C., Marrou H., Talbot G., Dufour L., Nogier A., Ferard, Y., 2011.** Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: towards new agrivoltaic schemes. *Renewable energy*, 36 (10): 2725-2732.
- **EDF, 2021.** Le nucléaire en chiffres. <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/produire-de-l-electricite/le-nucleaire-en-chiffres> (consulté le 03.05.2021)
- **Ehret M, Graß R, Wachendorf M, 2015.** The effect of shade and shade material on white clover/perennial ryegrass mixtures for temperate agroforestry systems. *Agrofor Syst*, 89: 557–570.
- **FranceAgriMer, 2024.** Proposition d'une méthodologie de calcul de la SAU allouée à la production de biocarburants. *Etudes Biocarburants*.
- **Fraunhofer Institut, 2018.** Fraunhofer Institut für Solar Energy Systems ISE – Presse Release : Agrophotovoltaics: High Harvesting Yield in Hot Summer of 2018.
- **Graham M., Ates S., Melathopoulos A.P., Moldenke A.R., DeBano S.J., Best L.R., Higgins C.W., 2021.** Partial shading by solar panels delays bloom, increases floral abundance during the late season for pollinators in a dryland, agrivoltaic ecosystem. *Scientific report*, 11 (1) : 1-13p.
- **Grimonprez B., 2023.** Agrivoltaïsme : vers un nouvel horizon juridique. *Rencontres de droit rural : Le photovoltaïque agricole à la lumière du droit*, Agridées, Apr 2023, Paris, France.
- **Guide du pâturage Limousin, 2011.** Aujay A., Marot P., Petit M., Martignac S., Feugere H., Lacorre V. La méthode préconisée par le programme structurel Herbe et Fourrages en Limousin.
- **Guide pour un diagnostic prairial, 2009.** Hubert F., Pierre P. *Chambre d'agriculture Pays de la Loire*.
- **Guide pratique La prairie multi-espèces, 2007.** Pierre P, Hubert F., Coutard J.P. *et al.* *Chambre d'agriculture Pays de la Loire*.
- **Hassanpour Adeh E., Selker J.S., Higgins C.W., 2018.** Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency. *Plos One*, 13 (11): 1-15p.
- **Hernandez R.R., Easter S.B., Murphy-Mariscal M.L., Maestre F.T., Tavassoli M., Allen E.B., Barrows C.W., Belnap J., Ochoa-Hueso R., Ravi S., Allen M. F., 2014.** Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29: 766-779.
- **INRAE, 2023.** Agrivoltaïsme : création d'un pôle national de recherche, innovation et enseignement. INRAE (consulté le 28.01.2025)
- **Kannenberg S.A., Sturchio M.A., Venturas M.D., Knapp A.K., 2023.** Grassland carbon-water cycling is minimally impacted by a photovoltaic array. *Communications Earth & Environment*, 4 (1): 1-8p.

- **Kampherbeek S.A., Webb L.E., Reynolds B.J., Sistla S.A., Horney M.R., Ripoll-Bosch R., Dubowsky J.P., McFarlane Z.D., 2023.** A preliminary investigation of the effect of solar panels and rotation frequency on the grazing behavior of sheep (*Ovis aries*) grazing dormant pasture. *Applied animal behavior science*, 258, 105799.
- **Kirilov A., Vasilev E., Pachev I., Stoycheva I., 2013.** Changements dans la composition d'une association luzerne - dactyle dans les conditions d'un parc agro-photovoltaïque.
- **La France Agricole Factory et Photosol, 2023.** Agrivoltaïsme : les 10 étapes à connaître.
- **La France Agricole, 2024.** L'Ademe planche sur l'évaluation des projets agrivoltaïques. <https://www.lafranceagricole.fr/agrivoltaisme/article/865106/l-ademe-planche-sur-l-evaluation-des-projets-agrivoltaïques> (consulté le 12.02.2025).
- **Le journal du photovoltaïque, réseau et autoconsommation**, cahier spécial. Numéro 53.
- **Lemasson C., Pierre P., Osson B., 2008.** Rénovation des prairies et sursemis. Comprendre, raisonner et choisir la méthode.
- **Leray O., Doligez P., Jost J., Pottier E., Delaby L., 2017.** Présentation des différentes techniques de pâturage selon les espèces herbivores utilisatrices.
- **Madej L., 2020.** Dynamique végétale sous l'influence de panneaux photovoltaïques sur deux sites prairiaux pâturés. Etude des effets sur une période annuelle. [Rapport de recherche] INRAE. 2022.
- **Madej L., Brassier P., Michaud L., Colosse D., Roncoroni M., Pottier J., Andanson L., Blaise M., Picon-Cochard C., 2023.** Rapport de deux ans de suivis en exclos sur deux sites agrivoltaïques à panneaux fixes pâturés par des ovins en plaine (Braize) et en moyenne montagne (Marmanhac) et sur un site agrivoltaïque à panneaux trackers en plaine (Eglisottes). INRAE; UREP. 2024
- **Madej L. Picon-Cochard C., L'Ecluse C.B, Cogny C., Michaud L., Roncoroni M., Colosse D., 2024.** One year of grassland vegetation dynamics in two sheep-grazed agrivoltaic systems. *Agrivoltaic conference proceedings*, 1, 1-10p.
- **Maia A. S. C., Andrade Culhari E., Fonsêca V. D. F. C., Milan H. F. M., Gebremedhin K. G., 2020.** Photovoltaic panels as shading resources for livestock. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120551.
- **Marcone G., Kaart T., Piirsalu P., Arney D.R., 2021.** Panting scores as a measure of heat stress evaluation in sheep with access and with no access to shade. *Applied Animal Behaviour Science*. Volume 240.
- **Marrou H., Guillioni L., Dufour L. Dupraz C., Wery J., 2013.** Microclimate under agrivoltaic systems: is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels?
- **Martin J., 2019.** Abreuvement au pâturage : à consommer sans modération. Chambre d'agriculture des Ardennes.
- **Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement, 2011.** Installations photovoltaïques au sol, guide de l'étude d'impact. P13.
- **Montag H., Parker G., Clarkson T., 2016.** The effects of solar farms on local biodiversity: a comparative study. Clarkson & Woods and Wychwood Biodiversity.

- **Pang K., Van Sambeek JW., Navarrete-Tindall NE., Lin C-H., Jose S., Garrett HE., 2017.** Responses of legumes and grasses to non-moderate, and dense shade in Missouri, USA. I. Forage yield and its species-level plasticity. *Agrofor Syst* 88 (287).
- **Payen C., 2017.** Evaluation du potentiel de l'agroforesterie, impacts de la présence d'arbres sur le comportement et le bien-être des ovins pâturent des prés-vergers. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur ISA Lille.
- **QAIR, 2023.** Projet de centrale agrivoltaïque de la chapelle Hugon (18). Résumé non technique de l'étude d'impact sur l'environnement.
- **Rainon C., 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: 49-53p.
- **Santra P., Singh R.K., Meena H.M., Kumawat R.N., Mishra D., Jain D. and Yadav O.P., 2018.** Central Arid Zone Research Institute, Jodhpur. (Rajasthan). Agri-voltaic system: crop production and photovoltaic-based electricity generation from a single land unit. 342 003: *Indian Farming* 68 (01): 20–23.
- **Sénat, 2020.** Contradiction entre le droit de l'environnement, le droit agricole et le droit de l'urbanisme. <https://www.senat.fr/questions/base/2020/qSEQ2011384S.html> (consulté le 03.05.2021)
- **Sharpe K.T., Heins B.J., Buchanan E.S., Reese M.H., 2021.** Evaluation of solar photovoltaic systems to shade cows in a pasture-based dairy herd. *J. Dairy Sci.*, 104.
- **Semchenko M., Lepik M., Gotzenberger L., Zobel K., 2012.** Positive effect of shade on plant growth: amelioration of stress or active regulation of growth rate? *J Ecol* 100: 459–466.
- **Sturchio M.A., Macknick J.E., Barron-Gafford G.A., Chen A., Alderfer C., Condon K., Hajek O.L., Miller B., Pauletto B., Siggers J.A., Slette I.J., Knapp A.K., 2022.** Grassland productivity responds unexpectedly to dynamic light and soil water environments induced by photovoltaic arrays. *Ecosphere*, 13 (12): 1-7p.
- **Sturchio M.A., Kannenberg S.A., Knapp A.K., 2024.** Agrivoltaic arrays can maintain semi-arid grassland productivity and extend the seasonality of forage quality. *Applied energy*, 356: 1-7p.
- **Tell R.A., Hooper H.C., Sias G.G., Mezei G., Hung P, Kavet R., 2015.** Electromagnetic Fields Associated with Commercial Solar Photovoltaic Electric Power Generating Facilities, Study of acoustic and emf levels from solar photovoltaic projects, Massachusetts Clean Energy Center.
- **Valle B., Simonneau T., Boulord R., Sourd F., Frisson T., Ryckewaert M., Hamard P., Brichet N., Dauzat M., Christophe A., 2017.** PYM: a new, affordable, image-based method using a Raspberry Pi to phenotype plant leaf area in a wide diversity of environments. *Plant methods*, 13(1): 98.
- **Weselek A., Bauerle A., Hartung J., Lewandowski I., 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): 1-15p.

Les prestations AGRIVOLTAÏSME

**Accompagner les projets
pour optimiser leur réussite**



Dynamisés par un cadre stratégique et politique national favorable, les projets agrivoltaïques émergent sur tout le territoire français, notamment dans les zones d'élevage de ruminants. L'Institut de l'Élevage propose ses compétences aux développeurs et producteurs d'énergie dans les domaines agronomique, zootechnique, santé et bien-être animal ainsi que dans les dimensions sociales et économiques afin de mettre au point des protocoles expérimentaux et des suivis de leurs projets agrivoltaïques. Objectif : lever les incertitudes techniques et permettre une coactivité optimale entre production d'énergie et activité d'élevage.



PRESTATIONS

Forte de son expérience et d'une expertise issue de la R&D appliquée en élevage, l'équipe Agrivoltaïsme de l'Institut de l'Élevage propose une offre d'appui modulable couvrant toutes les étapes clés de la conception des projets agrivoltaïques :

- Études de faisabilité technico-économique intégrant les contraintes d'élevage,
- Appui à la conception et l'organisation du site : parcellaire, équipements (abreuvement, contention), zones de circulation,
- Expertise en production fourragère : semis, pilotage, production de biomasse, plan de pâturage,
- Étude du microclimat,
- Diagnostic bien-être-animal : stress thermique, suivi du comportement,
- Suivi agronomique des sites en exploitation : suivi des flores, activité du sol,
- Conduite d'essais sur démonstrateurs agrivoltaïques.

Ces prestations s'appuient sur une méthodologie rigoureuse, portée par la volonté de produire des références solides au service des éleveurs et des acteurs de l'écosystème. Notre ambition : garantir des projets robustes, efficaces et compatibles avec une activité d'élevage durable.

FORMATIONS

L'Institut de l'Élevage propose des formations de type « Découverte de l'élevage ovin ou bovin » ou « Comprendre la conduite des troupeaux au pâturage ». Destinées aux équipes techniques des sociétés gestionnaires de centrales photovoltaïques, ces formations donnent les clés pour mieux appréhender les enjeux des exploitations d'élevage et se familiariser avec les techniques de pâturage. Elles laissent une large place aux observations sur le terrain.

Retrouvez
la description détaillée
de nos prestations



La cellule Agrivoltaïsme de l'Institut de l'Élevage propose des prestations personnalisées, adaptées à vos besoins et calibrées en fonction de vos moyens. N'hésitez pas à nous consulter !
Contact : agrivoltaisme@idele.fr

POUR ALLER PLUS LOIN



Programme 2021-2027

Un dispositif collectif

pour la production et la diffusion de références
sur les systèmes d'élevage herbivores



Construit dans les années 1980 sur le principe d'une approche globale des systèmes d'exploitation, le dispositif national INOSYS Réseaux d'élevage mobilise aujourd'hui 1500 éleveurs et 270 conseillers et ingénieurs autour d'un objectif commun : analyser l'évolution des exploitations pour outiller et accompagner les acteurs du secteur de l'élevage face aux enjeux de demain.



This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

L'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants

Dynamisées par un cadre stratégique national favorable, les énergies renouvelables sont en plein essor en France, notamment la production photovoltaïque au sol. L'accès aux surfaces traditionnellement utilisées pour la construction de centrales solaires au sol étant de plus en plus difficile, les gestionnaires se tournent aujourd'hui vers les terres agricoles pour monter leurs projets. La tendance est ainsi à l'émergence de projets d'agrivoltaïsme couplant activités de production d'électricité et activités agricoles. Cette co-activité nécessite une prise en compte des enjeux des différents acteurs et une réflexion sur les aménagements à prévoir dès la conception du projet. Ce guide, centré sur la co-activité de la production photovoltaïque avec l'élevage de ruminants, constitue le socle technique de cette réflexion et permet d'apporter des éclairages, pour une construction avisée des projets : de la conception de la centrale, à la gestion du système d'élevage, en passant par le volet partenarial. Il relève aussi les questionnements qui restent en suspens et qui montrent tout l'intérêt de faire des expérimentations pour disposer de références documentées et partageables dans les différents contextes pédoclimatiques français.