

COLLECTION
GUIDE PRATIQUE



L'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants

Guide à destination des éleveurs
et des gestionnaires de centrales photovoltaïques au sol



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



NEOEN



voltalia

Rédaction : Milène CRESTEY, Vigan DERVISHI, Julien FRADIN et Jérôme PAVIE (Institut de l'Élevage)

Relecture : Fabienne LAUNAY (Institut de l'Élevage), Emmanuelle CLAVERIE et Léna GIVORD (Neoen), Sarah GALLIEN, Xavier GUILLOT, Marie BELINGARD et Etienne DEBONNET (TSE), Luce REBOUL et Apolline TURNEL (Voltalia), Andrey DESORMEAUX et André DELPECH (FNO)

Crédit photo de couverture : Karoline Thalhofer/AdobeStock • **Réalisation :** Beta Pictoris

Mise en page : Magali ALLIÉ (Institut de l'Élevage) • N° réf. Idele : 0021303018 - N° ISBN : 978-2-7148-0179-1
• **Septembre 2021**



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.

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 centrales photovoltaïques au sol constitue un moyen de conforter l'activité agricole en recherche de diversification dans la mesure où ces centrales 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 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 dans les zones séchantes. 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 signant un partenariat d'expérimentation avec le développeur Neoen. Aujourd'hui, ce travail a abouti à la rédaction d'une charte défendant notre vision pour le développement de projets agri-solaires vertueux. Cette charte est mise à la disposition des organisations professionnelles agricoles pour abonder leur réflexion et permettre le développement de projets basés sur des conditions de mises en œuvre et de suivi qui assurent un cadre gagnant-gagnant.

Ce guide proposé par l'Institut de l'Élevage constitue le socle technique de cette réflexion et permet d'apporter bon nombre de réponses ou tout du 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, à bon nombre d'éleveurs, de structures techniques d'accompagnement, de gestionnaires de centrales photovoltaïques au sol et de décideurs.

PARTIE 1

09

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 réglementaire de l'utilisation de terres agricoles pour des projets d'aménagement
 - 13** Des groupes de travail, guides et chartes pour encadrer la pratique de l'agrivoltaïsme
- 14** ZOOM SUR LE COUPLAGE ÉLEVAGE ET PHOTOVOLTAÏSME
 - 14** Co-activité élevage de ruminants-photovoltaïsme : de quoi parle-t-on ?
 - 14** Elevage et photovoltaïsme, un couplage gagnant-gagnant ?
 - 15** Facteurs conditionnant la réussite des projets couplant élevage et photovoltaïsme
 - 15** Références scientifiques disponibles concernant l'impact de l'activité photovoltaïque sur l'activité d'élevage de ruminants
 - 21** Recul sur la bibliographie : des expérimentations à multiplier et des questions encore à explorer

PARTIE 2

23

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

- 24** CHOISIR UNE STRUCTURE PHOTOVOLTAÏQUE ADAPTÉE À LA CO-ACTIVITÉ AVEC L'ÉLEVAGE
 - 24** Les différentes technologies disponibles
 - 26** Critères de choix des équipements par les gestionnaires
- 27** DÉFINIR DES CONDITIONS D'IMPLANTATION DES ÉQUIPEMENTS FAVORABLES A LA CO-ACTIVITÉ
 - 27** Prévoir une hauteur minimale des équipements permettant la circulation fluide et sécuriser les animaux
 - 28** Prévoir une hauteur minimale des équipements permettant le passage d'engins agricoles
 - 29** Adapter la répartition des équipements photovoltaïques dans l'espace
 - 30** Choisir un système de fixation au sol des structures le moins impactant pour la couvert végétal
- 30** PROTÉGER LES ANIMAUX DES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES
- 32** POSER DES CLÔTURES EXTÉRIEURES FIAIBLES ET ROBUSTES

PARTIE 3**Outiller le parc photovoltaïque d'équipements additionnels spécifiques à l'activité d'élevage****35**

- 36** LES PANNEAUX FOURNISSENT DES ABRIS AUX ANIMAUX
- 36** PRÉVOIR DES POSSIBILITES D'AFFOUMAGEMENT DANS LE PARC
- 37** PRÉVOIR DES POINTS D'ALIMENTATION EN EAU POUR L'ABREUVEMENT
- 38** PRÉVOIR UN SYSTÈME DE CONTENTION

PARTIE 4**Faciliter l'ergonomie du travail d'élevage****41**

- 42** FACILITER L'ACCÈS DES ÉLEVEURS À LA CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE
- 42** FACILITER LE DÉCHARGEMENT DES ANIMAUX
- 43** SURVEILLER LE TROUPEAU À DISTANCE
- 43** ALERTER EN CAS D'INTRUSION DANS LE PARC OU DE SORTIE D'ANIMAUX

PARTIE 5**Veiller à la qualité du couvert végétal des parcs photovoltaïques****45**

- 46** RÉALISER UN DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE INITIAL
 - 46** Évaluer la ressource végétale initialement disponible sur la surface
 - 47** Évaluer le potentiel agronomique du sol
- 49** METTRE EN PLACE UNE STRATÉGIE DE GESTION DU COUVERT EN FONCTION DU DIAGNOSTIC AGRONOMIQUE INITIAL
 - 49** Scénario 1 : maintien du couvert initial et sursemis
 - 50** Scénario 2 : réensemencement total de la surface
- 53** SUIVI DE L'ÉTAT DE LA VÉGÉTATION

PARTIE 6**Choisir un système de pâturage adapté aux objectifs et aux contraintes de l'éleveur et du gestionnaire****55**

- 56** CHOIX DES ANIMAUX PÂTURANT EN CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE
- 56** LES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE PÂTURAGE
 - 57** Le pâturage tournant dynamique
 - 58** Le pâturage tournant classique
 - 58** Le pâturage continu
- 59** L'ORGANISATION SPATIALE ET TEMPORELLE D'UN PÂTURAGE TOURNANT EN CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE
 - 59** Aménagement de la centrale photovoltaïque en cellules de pâturage
 - 60** Repères théoriques pour l'organisation du planning de pâturage tournant en centrale photovoltaïque

PARTIE 7

65

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

66

**PARTAGER LES OBJECTIFS ET
CONTRAINTES DE CHACUN**

66

**ANALYSER LES GAINS ET LES PERTES
DE TEMPS POUR CHACUN DES PAR-
TENAIRES**

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

66 Impacts liés à la pratique même de
l'agrivoltaïsme

67

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

67 Les tâches attribuées à chaque partie
prenante

68 Les responsabilités de chaque partie
prenante

68

**PARTAGER UN CALENDRIER
PRÉVISIONNEL DE PÂTURAGE ET
D'INTERVENTIONS**

68 Le calendrier de pâturage

69 Le planning des interventions

69

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

70

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

70

**FORMALISER LE PARTENARIAT PAR LA
CONTRACTUALISATION**

72

Glossaire

73

Bibliographie



500 ha

C'est la surface de terres d'origine agricole qui serait aujourd'hui couverte par des parcs photovoltaïques au sol en France, sans qu'il soit possible d'aller plus loin dans la qualification des terres concernées, faute d'observatoire dédié.

Données obtenues par extrapolation des surfaces qualifiées de terres agricoles et occupées par les parcs photovoltaïques au sol dans le cadre de l'appel à projet CRE3 à l'ensemble des appels d'offres.

(Source : Decrypter l'énergie, 2021)

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

Contexte d'émergence et enjeux des projets couplant photovoltaïsme et élevage de 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 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 a été présentée par le Président de la République en novembre 2018. Le gouvernement s'est alors fixé l'objectif ambitieux d'atteindre la neutralité carbone en 2050, s'appuyant pour ce faire 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 programmation pluriannuelle de l'énergie 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 est de doubler les capacités photovoltaïques d'ici 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).

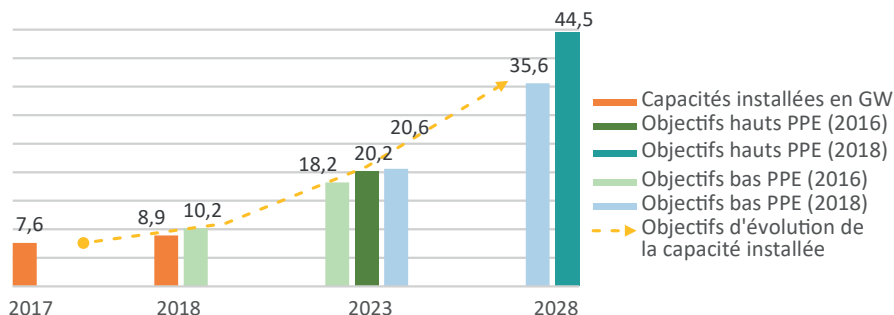
La PPE oriente donc vers une accélération du développement de la filière photovoltaïque comparé au rythme de développement des années précédentes et met l'accent sur les solutions compétitives comme les installations photovoltaïques au sol, tout en localisant les projets en priorité sur des espaces artificialisés ou dégradés de manière à préserver les espaces naturels et agricoles.

À SAVOIR !

Pour atteindre les objectifs de la PPE, la puissance solaire projetée d'ici 2023 doit être comprise entre 18,2 GW et 20,2 GW.

En partant de l'hypothèse qu'il faut 1 à 2 ha de panneaux photovoltaïques pour produire 1 MWc (le potentiel de production variant fortement selon les technologies et les équipements), il s'agirait alors de mobiliser entre 20 000 et 40 000 ha de terres agricoles pour la production d'énergie solaire, ce qui reviendrait donc à consacrer environ 0,1 % des terres agricoles françaises à la production photovoltaïque si les parcs photovoltaïques venaient à remplir à eux seuls les objectifs de la PPE. La surface que pourrait prendre les parcs photovoltaïques au sol reste donc relativement limitée comparativement à d'autres usages du sol. L'impact de ces installations serait de plus assez limité du fait de la réversibilité de l'installation après démantèlement.

FIGURE 1 : CAPACITÉS PHOTOVOLTAÏQUES INSTALLÉES ET OBJECTIFS (EN GW) FIXÉS PAR LA PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ÉNERGIE (PPE) - (SOURCE : ADEME, 2019)



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 à 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.

A 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).



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



Photo 2 : Brebis au pâturage dans une centrale photovoltaïque à tables fixes (© TSE)



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



Photo 4 : Ombrières photovoltaïques mobiles installées au-dessus de cultures maraîchères (© Jeson/AdobeStock)



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 réglementaire de l'utilisation de terres agricoles pour des projets d'aménagement

L'utilisation des terres agricoles pour les projets d'agrivoltaïsme est notamment encadrée en France par la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 13 octobre 2014. Selon cette loi, les projets d'aménagements publics et privés susceptibles d'avoir des conséquences importantes sur le secteur agricole doivent faire l'objet d'une étude préalable comprenant les mesures envisagées pour éviter et réduire leurs effets négatifs notables, ainsi que des mesures de compensation visant à consolider l'économie agricole du territoire.

Par ailleurs, le code de l'urbanisme indique clairement que « les centrales au sol ne peuvent être autorisées que dès lors qu'elles ne sont pas incompatibles avec l'exercice d'une activité agricole, pastorale ou forestière sur le terrain sur lequel elles sont implantées et qu'elles ne portent pas atteinte à la sauvegarde des espaces naturels et des paysages ». La jurisprudence établie par le Conseil d'État en février 2017 (*Conseil d'État, 2017*) indique d'ailleurs que l'activité agricole, pastorale ou forestière doit être « significative sur le terrain d'implantation du projet, au regard des activités qui sont effectivement exercées dans la zone concernée ou, le cas échéant, auraient vocation à s'y développer, en tenant compte notamment de la superficie de la parcelle, de l'emprise du projet, de la nature des sols et des usages locaux ».



Photo 5 : Brebis pâturant dans une centrale photovoltaïque de l'Allier (© E. Mortelmans)

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 s'organisent pour proposer une définition partagée des pratiques agrivoltaïques et formuler des recommandations sur leurs usages, au-delà du cadre réglementaire de l'utilisation des terres agricoles pour des projets d'aménagement. D'un côté, l'Ademe porte une initiative en vue de produire un guide pour « accompagner et faciliter la réalisation de projets d'agrivoltaïsme tout en identifiant les moyens de soutenir cette filière ». D'un autre côté, la Plateforme Verte (association professionnelle dédiée à la transition énergétique créée en 2018) propose un guide portant une vision opérationnelle et interdisciplinaire de la question (voir page 77). En parallèle, différents organismes agricoles se positionnent sur ce sujet via des chartes, avec d'un côté une charte rassemblant Chambres d'agriculture France, la FNSEA (organismes représentant les agriculteurs) et EDF Renouvelables, développeur et producteur d'énergie solaire et éolienne. D'un autre côté, la FNO (Fédération Nationale Ovine) a établi sa propre charte dans le cadre de son partenariat avec le développeur et producteur d'énergie solaire Neoen. 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. Dans les deux chartes, 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, l'agrivoltaïsme ne peut être vertueux que si l'agriculteur et la production agricole sont au cœur du dispositif.

ZOOM SUR LE COUPLAGE ÉLEVAGE ET PHOTOVOLTAÏSME

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

De façon générale, 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.

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. La plupart des dispositifs d'agrivoltaïsme, couplant élevage et photovoltaïsme, présents aujourd'hui en France, concerne des éleveurs ovins allaitants.

Élevage et photovoltaïsme, 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 à l'exploitant de la centrale tout dysfonctionnement. Enfin, l'agrivoltaïsme véhicule une image plutôt positive auprès du grand public et des collectivités territoriales, ce qui peut faciliter l'acceptation et l'appropriation des projets d'aménagement au niveau local.

- **Pour les éleveurs**, les centrales photovoltaïques peuvent représenter des nouvelles opportunités de pâturage dans un contexte où des tensions sur les ressources fourragères se font de plus en plus présentes, contribuant ainsi à 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 photovoltaïque permet la diversification et la sécurisation des revenus dans le contexte d'une filière en difficulté. La consolidation des revenus peut sécuriser des projets d'installation, renforcer des élevages en activité dans leur développement ou encore faciliter la transmission (dans le cadre d'une transmission, l'accès au foncier pour le

nouvel installé peut être facilité par le fait que le propriétaire n'aura pas d'intérêt à vendre son foncier et cherchera donc plutôt à le louer).

● **Pour le troupeau**, les infrastructures photovoltaïques peuvent représenter un abri en cas de fortes chaleurs, de vent froid ou d'intempéries (photo 6). Les clôtures des centrales, hautes et parfois semi-enterrées, offrent également une protection intéressante du troupeau contre les prédateurs.



Photo 6 : Les centrales photovoltaïques génèrent de l'ombre pour les animaux (© Voltalia)

Facteurs conditionnant la réussite des projets couplant élevage et photovoltaïsme

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 d'agrivoltaïsme 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.

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 montent 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 sont 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, positifs comme négatifs, 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" page 16), 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 des panneaux photovoltaïques est particulièrement apprécié des animaux pendant les journées avec une intensité élevée de radiations solaires. *Payen (2017), Maia et al. (2020)* ont par exemple montré que grâce à l'ombrage fourni par les tables du parc photovoltaïque, les brebis disposent d'un abri qu'elles recherchent activement avec l'augmentation des températures et des rayonnements solaires. 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.

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 (2015)* relève notamment des changements de comportement des agneaux liés aux difficultés de circulation

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 », principes de base proposés par le Farm Animal Welfare Council :

- 1- L'absence de faim, de soif ou de malnutrition ;
- 2- L'absence de maladies, de lésions ou de douleur ;
- 3 - L'absence d'inconfort ;
- 4 - L'absence de peur et de détresse ;
- 5 - La possibilité d'exprimer les comportements normaux de l'espèce ;

Ces cinq libertés permettent de délimiter les principes de base permettant 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.

dans un parc photovoltaïque avec des tables trop basses. En effet, dans certains parcs où les tables étaient trop basses, seuls les agneaux pouvaient 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, 2015*). 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 photovoltaïque (voir Partie 2). D'autre part, la question de l'impact de la pratique de pâturage sous panneaux photovoltaïques semble avoir des impacts possibles sur l'état d'hygiène des ruminants. L'étude de *Sharpe et al. (2021)* témoigne par exemple d'une dégradation de l'état d'hygiène de vaches laitières pâturant sous panneaux photovoltaïques en été (pattes et ventre plus sales). Enfin, la question de l'effet des ondes électromagnétiques sur les animaux d'élevage reste entière. 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.



Photo 7 : Brebis chaumant à l'ombre des panneaux photovoltaïques (© TSE)

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 du rayonnement, 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 de rayonnement, 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 centrales au sol, il faudra un écartement de plus de dix mètres pour retrouver le niveau naturel des radiations terrestres (*Décrypter l'énergie, 2021*). Il n'y a aujourd'hui pas de réponse scientifique à cette interrogation, et des expérimentations sont nécessaires pour évaluer ce sujet.



Photo 8 : Centrale photovoltaïque du Castellet (© Voltalia)

Impacts des panneaux photovoltaïques sur le couvert végétal

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 pour éviter les gelées. Même si la croissance du couvert végétal peut se trouver quelque peu affectée sur certaines périodes de l'année, il semblerait que le potentiel fourrager global soit conservé sur l'ensemble de la période de pâturage. La présence de tables photovoltaïques offrirait ainsi un étalement dans le temps de la pousse de l'herbe (photo 9).



Photo 9 : Protection du couvert végétal dans des conditions de sécheresse (Verneuil) (©E. Mortelmans)

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, sur la quantité et la qualité de la végétation.

Impacts des panneaux photovoltaïques en terme de microclimat

Une question importante pour l'activité agricole sous une installation photovoltaïque est l'altération 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*



Photo 10 : Couvert prairial dans une centrale agrivoltaïque (81)
(© Idele)



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

et al., 2016 ; *Adeh Hassanpour et al.*, 2018). Outre cet effet parasol, on pourrait penser que les panneaux solaires présentent aussi un effet parapluie. Cependant, il n'en est rien, du fait des interstices qui séparent chaque module constituant un panneau. *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 de 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 qui accentue l'évaporation. D'autres effets sur les échanges de gaz et de vapeur d'eau et sur la distribution des précipitations dans le parc solaire peuvent enfin 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 (photo 10). Ensuite, les études ont montré que plus l'altitude est faible, plus les changements microclimatiques sont importants. Enfin, selon l'orientation et la conception du système, la vitesse du vent peut également diminuer ou augmenter, influençant la croissance des plantes.

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 qu'en inter-rang ou en zone témoin, avec une photosynthèse plus basse surtout au printemps et hiver. *Kirilov et al.* (2013) rapportent aussi une baisse de production du couvert végétal sous les panneaux. 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. *Arsenault* (2010) a aussi mesuré une végétation plus haute et luxuriante à l'ombre des panneaux. Enfin, une étude menée en France en 2020

(dans l'Allier et le Cantal) ne mesure pas de différence de production de biomasse sous les panneaux par rapport à l'inter-rang ou au témoin, en période estivale (*Madej, 2020*). 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 (expérimentations d'*Armstrong et al. (2016)* menée en Angleterre et de *Kirilov et al. (2013)* menée en Bulgarie), alors que les effets positifs ont quant à eux été relevés dans des contextes climatiques de 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.

Shemshenko et al. (2012) ont mesuré la production de biomasse de 46 espèces prairiales dans différentes conditions d'ombrage. Les résultats de cette étude montrent 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 mobiles, formant un ombrage partiel dans la journée, sur le couvert végétal.



Photo 12 : Ovins pâturant dans un parc agrivoltaïque (Karoline Thalhofer/AdobeStock)

● **Impacts sur la dynamique de pousse**
Madej (2020), *Arsenault (2010)* et *Adeh Hassanpour et al. (2018)* relèvent une dynamique de croissance de la végétation plus importante sous les panneaux par rapport aux zones ensoleillées, grâce à la réduction des stress hydrique, lumineux et thermique induits par la protection du couvert des panneaux photovoltaïques. Cette différence peut aussi être expliquée par la réserve en eau plus élevée dans le temps sous 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 grand dans les zones de pleine exposition, qui ne présentaient pas de limitation du 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. Le rapport d'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 avantagés grâce aux panneaux solaires, 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.

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

Plusieurs phénomènes sont à l'œuvre. D'une part, certaines plantes adaptent



Photo 13 : Centrale photovoltaïque du Castellet (83) (© Voltalia)

leur morphologie pour s'acclimater aux conditions ombragées et compenser la limitation en lumière par 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*). D'autre part, toutes les études constatent une diminution de la richesse spécifique et un changement dans la composition floristique du couvert végétal sous des panneaux photovoltaïques. En effet, *Kirilov et al. (2013), Armstrong et al. (2016), Montag et al. (2016), Adeh*

Hassanpour et al. (2018) et Madej (2020) 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.

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 étaient comparables dans les deux types de pâturage. L'étude n'a pas montré de différence significative dans la 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 et que la productivité des terres pourrait être augmentée à 200 % en combinant le pâturage ovin et la production d'énergie solaire sur un même terrain.

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.

Recul 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 moyennement 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 photovoltaïques. Concernant les champs d'investigation, il importe de poursuivre l'analyse des impacts de l'agrivoltaïsme sur le bien-être animal, sur le couvert végétal, sur le maintien de la performance de l'activité d'élevage (en quantité et en qualité) et de produire des références à ce jour manquantes, sur les impacts socio-économiques de la pratique (rentabilité de la pratique, temps de travail notamment).

À ce jour, au-delà des connaissances issues de résultats expérimentaux et des manques de connaissances pointés sur certaines questions particulières, de plus en plus de projets d'agrivoltaïsme impliquant l'élevage de ruminants se mettent en place en France et la pratique se démocratise. Il importe de poursuivre les expérimentations pour continuer à produire des références sur cette pratique et ces impacts.

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 réussites 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.

EN PRATIQUE

L'Institut de l'Élevage peut accompagner les entreprises gestionnaires dans leur projet, en réalisant des expérimentations dans les domaines suivants :

- **Agronomie :** Quantité et qualité de ressources fourragères sous les panneaux, variation de la composition floristique avec le pâturage, variation de la composition du sol avec le pâturage, effet du pâturage vis-à-vis des objectifs de gestion, choix du couvert végétal (en cas d'implantation).
- **Zootecnie :** Risque des équipements pour les animaux, évaluation du bien-être animal, maintien du caractère « productif » de l'élevage.
- **Socio-économique :** Impact de la pratique d'un point de vue économique et impact sur le temps de travail de l'éleveur.



CONTACT :

Service Fourrages
et Pastoralisme

agrisolaire@idele.fr

Ovins pâturant dans la centrale agrivoltaïque du Castellet (83) (© Voltaïa)



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

Les équipements classiquement utilisés dans les parcs photovoltaïques ne sont pas toujours adaptés à la présence d'animaux au pâturage : tables parfois trop basses, objets contendants, présence de regards et/ou de câbles électriques non protégés, etc.

Il est donc nécessaire d'intégrer les contraintes liées à la présence d'animaux d'élevage dès la conception du parc, à travers le choix, le dimensionnement et les conditions d'implantation des équipements photovoltaïques.

Les premiers retours d'expériences montrent que les projets d'agrivoltaïsme où l'activité d'élevage a été associée 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 nouvelle sur l'agencement et l'implantation des infrastructures photovoltaïques. Ces spécificités sont bien-sûr à intégrer préférentiellement en amont de l'installation du parc photovoltaïque.

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

Derrière le concept de « centrale photovoltaïque » 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

Différentes technologies sont aujourd'hui disponibles, certaines déjà mises sur le marché et d'autres encore à l'état de prototype : tables fixes (orientées au sud selon un angle de 25 à 30°) (photo 14), 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 permettant de suivre le soleil d'est en ouest (photo 15) ou trackers 2 axes permettant à la fois une modification de l'orientation et de l'inclinaison (photo 16), « haies » photovoltaïques, ou encore ombrières photovoltaïques placées en hauteur (photo 17), etc.

Les équipements les plus couramment rencontrés dans les parcs français actuellement pâturés par des ruminants sont les tables fixes et plus secondairement les trackers 1 axe.



Photo 14 : Brebis pâturant dans un parc photovoltaïque à tables fixes à Torreilles (66) (© Neoen)



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



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

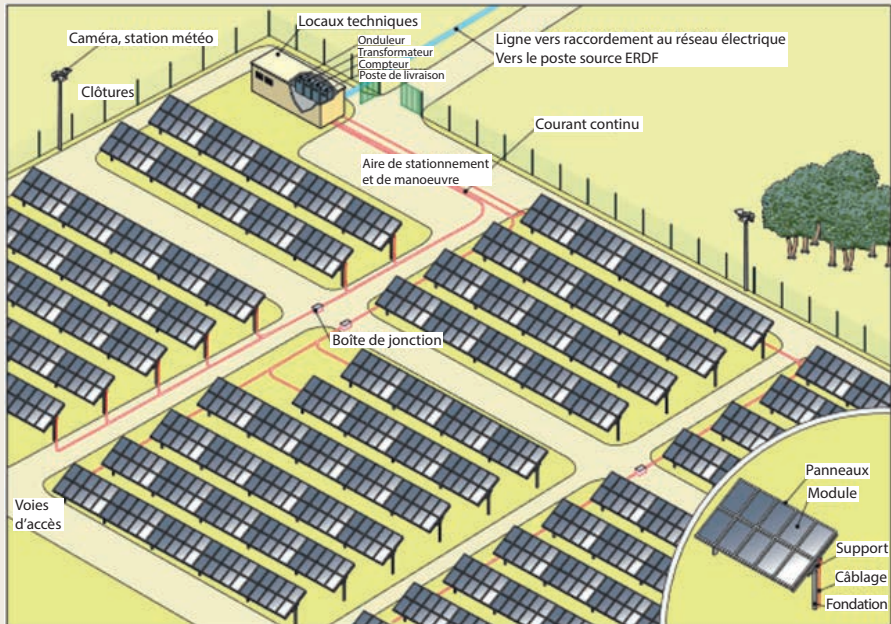


Photo 17 : Ombrières photovoltaïques au Cabanon (© Voltalia)

FIGURE 2 :
SCHÉMA DU PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE INSTALLATION PHOTOVOLTAÏQUE
 (SOURCE : MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT, 2011)

Une centrale photovoltaïque au sol est constituée de plusieurs éléments :

- des tables d'assemblage (ou panneaux), en métal (acier, aluminium ou autre) sont fixées au sol et organisées en rangées.
- des modules photovoltaïques composés de cellules photovoltaïques et orientés avec une inclinaison optimale par rapport aux rayonnements du soleil sont posés sur les tables d'assemblage.
- tous les câbles aériens issus d'un groupe de panneaux rejoignent une boîte de jonction d'où repart le courant continu dans un seul câble souterrain, vers le local technique.
- le local technique 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.
- l'électricité produite est ensuite acheminée au point de raccordement au réseau électrique (poste source Enedis) le plus proche.
- La clôture des installations photovoltaïques protège les installations et les personnes 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.
- des voies d'accès sont nécessaires pendant la construction, l'exploitation et le démantèlement. 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).



Critères de choix des équipements par les gestionnaires

Du point de vue des gestionnaires, le choix des équipements photovoltaïques se fait habituellement sur des critères tels que la performance, le rapport coût/prix, 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 photovoltaïque présente des avantages et des inconvénients.

Dans un projet de co-activité avec l'élevage, d'autres paramètres sont importants à considérer pour raisonner le choix des équipements photovoltaïques, parmi lesquels les possibilités de circulation des animaux et de l'éleveur, les possibilités de pose de clôtures mobiles dans le parc pour refendre l'espace, les possibilités



Photo 18 : Barres de commandes de panneaux trackers 1 axe pouvant éventuellement compliquer la co-activité avec l'élevage selon leur hauteur (si < 80 cm du sol) (© Idele)



Photo 19 : Les barres de commandes de trackers 1 axe ne posent pas de problèmes si les animaux peuvent circuler de façon fluide au-dessous, comme dans la centrale du Canadel (83) (© VoItalia)

de passage d'éventuels engins agricoles sous les panneaux et entre les rangées, et les effets d'ombrages des panneaux sur le couvert végétal.

EN PRATIQUE

Quels équipements privilégier dans le cas d'une co-activité avec l'élevage ?

De façon générale, tous les types d'infrastructures photovoltaïques peuvent être utilisés en co-activité avec l'élevage.

Un point de vigilance doit tout de même être posé concernant les panneaux trackers 1 axe. En effet, certains types de trackers 1 axe disposent de barres de commandes implantées perpendiculairement aux rangées de panneaux qui peuvent rendre difficiles les déplacements de l'éleveur et du troupeau, augmentant le risque de blessures, et pouvant compliquer l'utilisation d'engins agricoles ou d'une clôture mobile dans les allées si ces barres de commande sont positionnées à faible hauteur (inférieure à 80 cm) (photos 18 et 19).

D'un point de vue agronomique, d'après les résultats d'expérimentation disponibles, il semblerait que les structures adaptant leur inclinaison soient à privilégier pour maximiser la production du couvert végétal, la zone de végétation recevant les rayons du soleil en direct étant plus importante qu'avec des tables fixes. Un compromis idéal serait une structure portant des panneaux orientables, mais n'employant pas de barres de force.

Au-delà de la nature même des infrastructures, ce sont surtout leurs conditions d'implantation qui vont faire que celles-ci sont plus ou moins adaptées : hauteur minimale des points les plus bas, type de fixation dans le sol, densité des infrastructures, écartement des rangées, espace entre les infrastructures et la clôture extérieure. Les modes d'implantation conditionnant les possibilités de co-activité, il est d'autant plus important d'intégrer la co-activité avec l'élevage dès les premières réflexions, en amont de la construction du parc.

À NOTER !

D'un point de vue du bien-être animal, en l'état actuel des connaissances et en dehors du champ inconnu de l'effet des ondes électromagnétiques sur les animaux, tous les types d'équipements photovoltaïques peuvent a priori être adaptés à une co-activité avec l'élevage.

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 20, 21 et 22). C'est le premier critère évoqué par les éleveurs ayant une expérience de pâturage en parc photovoltaïque. En effet, une trop faible hauteur des infrastructures peut d'une



Photo 20 : Brebis pouvant passer entièrement sous les tables (©E. Mortelmans)



Photo 21 : Des hauteurs de tables parfois très basses (<1 m) (© Idele)

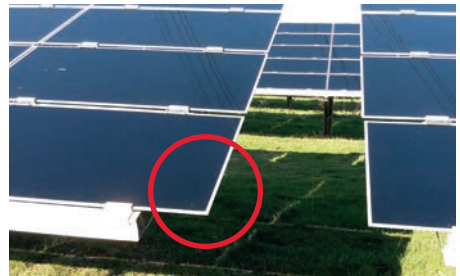


Photo 22 : Des ânes pâturent dans une centrale photovoltaïque avec des tables à plus de 1 mètre (© Jeson_AdobeStock)

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 23 et 24). Les écorchures sur les bords contendants peuvent se produire en particulier lors de mouvements de regroupement du troupeau par un chien de conduite. Le risque de blessure des animaux sur les équipements photovoltaïques est en effet maximal lors des mouvements inopinés du troupeau.

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 pâturants sont des chèvres ou des brebis capables de se dresser et de s'appuyer sur les infrastructures photovoltaïques.



Photos 23 et 24 : Des supports et des coins de tables contendants pouvant blesser les animaux (© Idele)

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 m est recommandée pour les ovins. Concernant les autres espèces de ruminants, les références et retours-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. Toutefois, il n'y a, à ce jour, pas assez de recul sur les résultats de cette configuration expérimentale.

Dans tous les cas, quel que soit le type de ruminants, il importe de veiller à ce que cela soit bien une hauteur minimale en tout point du parc et ce quel que soit le relief.



Photo 25 : Des barres de commande trop basses dans un parc photovoltaïque trackers 1 axe d'ancienne génération (©Idele)



Photo 26 : Panneau photovoltaïque endommagé (© Andrei Merkulov/AdobeStock)

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

Au-delà des enjeux de bien-être animal, la hauteur des équipements photovoltaïques 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). L'entretien mécanique éventuellement complémentaire au pâturage est couramment réalisé par l'éleveur à l'aide d'une débroussailluse, ce qui est très chronophage. La mécanisation du désherbage par l'utilisation d'un tracteur réduit considérablement le temps d'astreinte comparé à une gestion avec une débroussailluse.

EN PRATIQUE

La hauteur minimale de 1 m entre le sol et le point le plus bas des panneaux recommandée pour les troupeaux ovins laisse la possibilité d'un entretien mécanique sécurisé sous les tables grâce à des outils déportés attelés à un tracteur.



Photo 27 : Buissons invasifs non consommés par les brebis, à terme nuisibles pour les performances du parc (©Idele)



Photo 28 : Prairie semée dans un parc photovoltaïque (© Mortelmans)

Adapter la répartition des équipements photovoltaïques dans l'espace

Espacement des rangées de tables

Une centrale photovoltaïque optimale (densité de panneaux, pilotage des trackers) est incompatible avec une production agricole normale (sauf rarissimes exceptions). Il faut donc que les gestionnaires acceptent un sacrifice à la conception de la composante photovoltaïque. Ce sacrifice passe notamment par des concessions sur la densité de panneaux *via* 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 29) ou pour désherber mécaniquement avec un gyrobroyeur si l'entretien par la dent de l'animal n'a pas été suffisant.

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 4m.



Photo 29 : Tracteur circulant entre les rangées d'une centrale photovoltaïque aux Etats-Unis (© Land Services - Now Monarch)

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 prendre aussi en compte la technique de pâturage envisagée pour l'entretien du parc, à savoir le pâturage tournant dynamique (autrement appelé techno-pâturage ou pâturage cellulaire), le pâturage tournant classique ou le pâturage continu (autrement appelé pâturage libre) (voir le descriptif des techniques en partie 6). Les techniques de pâturage tournant dynamique ou classique vont en effet demander de redécouper le parc avec une clôture électrique mobile. L'éleveur doit alors être en capacité de poser des clôtures sans difficultés parallèlement et perpendiculairement aux rangées de panneaux photovoltaïques.

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 sur-utilisation 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 4m 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 la 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 30 à 32).

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 de béton afin de limiter l'impact sur la végétation présente.



Photo 30 : Table fixe bi-pieux sur dalle de béton (© Idele)



Photo 31 : Double-tracker mono-pieu sur dalle de béton (© Idele)



Photo 32 : Table fixe sur mono-pieu battu (© 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 33), c'est 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 du fait du temps, des conditions météorologiques et par le frottement des animaux. Les câbles électriques ont ainsi tendance à pendre en de nombreux points des parcs, favorisant ainsi la mortalité des agneaux par étranglement (photos 34 et 35).

Par ailleurs, la présence de regards non sécurisés sur les parcs photovoltaïques peut engendrer des problèmes de blessures sur les animaux qui se coinceraient un membre dedans (photo 37).



Photo 33 : Câblages électriques laissés apparents à faible hauteur pouvant être rongés par les animaux (© Idele)



Photos 34 et 35 : 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 36 : Câblages laissés apparents (©Idele)



Photo 37 : Exemple de regard pouvant être présent dans un parc photovoltaïque (©Idele)

Enfin, du fait du manque de connaissances solides sur l'effet des ondes 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. Il peut être également conseillé, si la surface du parc est semée, d'éviter de semer à proximité des principaux postes émetteurs d'ondes, afin que les alentours de ces postes ne soient pas des secteurs pâturés.

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 38).
- 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.



Photo 38 : Exemple de fixation de câbles électriques avec des serre-câbles à l'arrière d'un panneau photovoltaïque (©Idele)

POSER DES CLÔTURES EXTÉRIEURES FIAIBLES ET ROBUSTES

Les centrales photovoltaïques sont usuellement délimitées sur leur pourtour par des hautes clôtures métalliques, afin de limiter les intrusions (humaines ou animales) dans le parc. En venant pâturer dans des parcs photovoltaïques, 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.

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, les clôtures ayant une hauteur en moyenne de 2 m 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).



Photo 39 : Bricolage d'un éleveur pour combler l'espace sous une clôture afin d'empêcher les animaux de sortir du parc (© Idele)

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 (photo 40). Ces équipements doivent permettre les mouvements de la petite faune, mais doivent empêcher le passage de potentiels prédateurs (loups, renards).

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.



Photo 40 : Exemple d'aménagement dans la clôture pour le passage de la petite faune sauvage (© 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.

(© Mike Mareen - AdobeStock)



Ovins pâturant dans la centrale agrivoltaïque de Parroc (© Voltalia)

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 photovoltaïque 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.

De plus, en limitant les écarts de température entre le jour et la nuit pendant l'été et en modifiant la vitesse du vent, les tables photovoltaïques induisent un microclimat assez similaire à celui d'un arbre ou d'une haie, aménagement végétal permettant aux animaux de s'abriter. L'effet des panneaux photovoltaïques est d'ailleurs parfois assimilé à celui des arbres dans les systèmes agroforestiers. Les panneaux peuvent donc faire office d'abri contre les vents froids hivernaux et contre les fortes chaleurs estivales (photo 41). 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.



Photo 41 : Brebis pâturant à l'ombre des panneaux photovoltaïques de la centrale de Verneuil (03) (© E. Mortelmans)

PRÉVOIR DES POSSIBILITÉS D'AFFOURAGEMENT DANS LE PARC

Le but du pâturage en centrale photovoltaïque est que les animaux se nourrissent essentiellement de la végétation disponible sur le parc, afin d'en assurer l'entretien.

Toutefois, l'apport de fourrage complémentaire peut s'avérer nécessaire dans le cas où l'herbe viendrait à manquer et où le parc photovoltaïque est loin des autres parcelles pâturables (photo 42). Il faut toutefois noter que l'affouragement en parc photovoltaïque reste une pratique relativement rare, les éleveurs préférant adapter le chargement (nombre de brebis dans le parc) pour éviter les contraintes liées à l'affouragement.

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



Photo 42 : Exemple de système d'affouragement rencontré en parc photovoltaïque (© B. Morel)



Photo 43 : Botte de foin (© Lucca Mallone/Unsplash)

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

Les animaux d'élevage ont besoin d'être abreuvés quotidiennement.

Selon le nombre d'animaux et leur stade physiologique, le besoin en eau peut être conséquent. Pour exemple, une brebis non suitée boit en moyenne quotidiennement 3 litres d'eau et le double lorsqu'elle allaite un agneau (tableau 1). Pour un troupeau de 100 brebis, le besoin quotidien d'eau varie donc de 300 à 600 litres.

Dans la plupart des cas, les parcs photovoltaïques actuellement en activité ne disposant pas 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 de l'éleveur.

À SAVOIR !

Des systèmes de récupération des eaux pluviales ruisselant sur les panneaux photovoltaïques peuvent être envisagés avec des gouttières installées sur quelques tables (photo 44).

La récupération des eaux de pluie ne doit toutefois pas priver totalement le couvert végétal des apports d'eau nécessaires à son développement. La vigilance sur la qualité de l'eau doit être accrue dans le cas d'une récupération des eaux de pluie à destination de l'abreuvement.



Photo 44 : Les eaux de ruissellement s'écoulant des panneaux photovoltaïques peuvent constituer une ressource pour l'élevage (© Mariana Proenca, Pan Xianzhe/Unsplash)

TABLEAU 1 :
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)	100 L / J	125 L / J
Vache allaitante + veau	35 L / J	75 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
Cheval adulte	20 L / J	45 L / J
Jument en lactation	30 L / J	55 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 photovoltaïques, afin d'assurer la durabilité de la co-activité.

Il est recommandé d'installer une ligne d'eau qui traverse le parc photovoltaïque 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 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/min. Par ailleurs, un contrôle de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau est conseillé si 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 45 : 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 Schneiderreit/ 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'une contention efficace pour travailler en toute sécurité et éviter les accidents (photo 46). Ce parc de contention peut également servir de parc de chargement/déchargement des animaux.



Photo 46 : Brebis dans un parc de contention (© Isidoro Martinez/Unsplash)

EN PRATIQUE

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 photovoltaïques n'étant pas toujours d'un seul tenant et pouvant être éloignés des autres surfaces de l'exploitation, l'idéal est de prévoir la mise à disposition d'un parc de contention mobile.

L'idéal pour une bonne contention est que le parc de contention soit constitué d'un espace d'attente, d'un couloir de contention (avec une cage ou une porte de blocage) et d'un parc de rassemblement. Le parc de contention doit être adapté dans sa conception et dans le choix des matériaux au type d'animaux ruminants pâturant dans le parc photovoltaïque.

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.



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 photovoltaïque.

(© Olexandr - AdobeStock)



Centrale agrivoltaïque de Bioule (81)
(© Idele, centrale gérée par 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 PHOTOVOLTAÏQUE

Les éleveurs doivent pouvoir accéder à la centrale photovoltaïque 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 photovoltaïque peuvent être rencontrés : système de fermeture à clé traditionnel ou clé électronique. Les systèmes à clé électronique se sont parfois avérés défaillants sur le long terme pour plusieurs éleveurs ayant l'expérience de pâturage en centrale photovoltaïque. De manière générale, les éleveurs préfèrent un système de fermeture à clé simple, qu'ils jugent plus fiable. Certains éleveurs ajoutent parfois un cadenas en supplément 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 photovoltaïque, 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 photovoltaïque et le siège d'exploitation de l'élevage, le transport des animaux peut se faire à pied ou en remorque.

Les éleveurs amènent en général leurs animaux en remorque car le parc photovoltaïque est souvent trop loin de la bergerie ou des pâturages. Plusieurs éleveurs ont évoqué l'importance de pouvoir entrer dans le parc photovoltaïque avec le camion transportant les animaux afin de faciliter leur déchargement dans des conditions sécurisées (photo 47).

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.



Photo 47 : Déchargement des brebis dans le parc photovoltaïque de Kertanguy (22) (© Neoen)

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.

SURVEILLER LE TROUPEAU À DISTANCE

L'activité d'élevage implique une surveillance régulière, notamment en ce qui concerne la santé du troupeau, les potentielles sorties d'animaux hors du parc, la gestion de l'eau d'abreuvement qui doit être en accès continu pour le troupeau, les éventuelles fuites d'eau dans le réseau et la tension électrique en cas d'utilisation de clôtures mobiles.

Les parcs photovoltaïques 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 *via* 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.

À SAVOIR !

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 photovoltaïques et faciliter leur utilisation par un éleveur : colliers GPS pour localiser les animaux, clôtures virtuelles pour refendre l'espace intérieur de la centrale photovoltaïque, capteurs de vérification de l'électrification des clôtures, etc.

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

Dans la plupart des cas, les parcs photovoltaïques disposent d'un système de sécurité contre les intrusions, généralement matérialisé par un fil de contact sur les clôtures (photo 48).

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.



Photo 48 : Exemples de système de sécurité montés sur clôture pour signaler la présence d'une intrusion (© Idele)

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

EN PRATIQUE

Les systèmes des parcs doivent intégrer dans leur paramétrage la présence des animaux d'élevage et de la faune sauvage pour éviter de déclencher toutes les procédures de sécurité pour ces incidents mineurs. Le système de sécurité ne doit donc pas être sensible aux contacts des animaux jusqu'à 1 m du sol.



Ovins pâturent dans une centrale agrivoltaïque (© TSE)

Veiller à la qualité du couvert végétal des parcs photovoltaïques

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 photovoltaïque 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 2). 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.

TABLEAU 2 :

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		
Flouve 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 3). 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 3), grimpantes, arbustives, toxiques.

TABLEAU 3 :
LISTE NON EXHAUSTIVE DES ESPÈCES INDÉSIRABLES
POUVANT CONCURRENCER LES ESPÈCES FOURRAGÈRES

Strate arbustive

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

*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.

Strate herbacée

Chardons
Gaillet
Géranium
Marguerite
Mauves
Pâquerette
Orties
Piloselle
Porcelle
Potentille
Renonculacées
Rumex
Séneçons

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'éleveur ou 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 49 : Couvert prairial sur une centrale agrivoltaïque du Tarn (© Idele)



Photo 50 : 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 photovoltaïque au sol dégrade-t-il le couvert végétal initial ?

La construction d'une installation photovoltaïque 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 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 passage répété. 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 51 à 55 : 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.

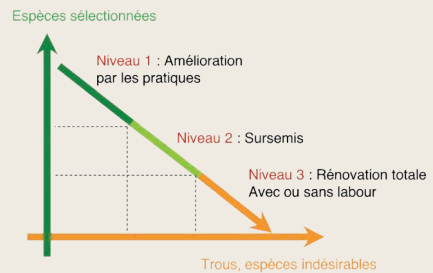
Selon les conditions pédoclimatiques et les résultats du diagnostic agronomique évaluant le potentiel fourrager du couvert végétal initial, plusieurs stratégies de gestion sont possibles.

- 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 photovoltaïque (figure 3). La stratégie de gestion doit dans tous les cas s'accorder aux enjeux présents sur le site, en particulier aux enjeux environnement-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 3 p 49) avant toute intervention sur le couvert végétal.

FIGURE 3 :
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)



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.

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 4). 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.

TABLEAU 4 :
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

En général, 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 photovoltaïque au sol.

EN PRATIQUE

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

À SAVOIR !

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 photovoltaïque n'est pas concluant en terme de densité du couvert. Dans cette situation où l'implantation de la prairie se fait moins d'un an avant la construction de la centrale, un sursemis post-installation est 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 peut ainsi être opportun d'adapter le chargement en conséquence sur les 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 exceptionnelle.

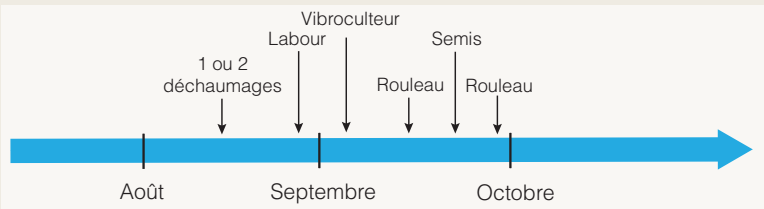
Concernant l'itinéraire technique de l'implantation de la prairie, les opérations réalisées vont différer selon que le sol soit superficiel ou sans contrainte particulière, faisant intervenir ou non un labour (figure 4). Dans tous les cas, un travail superficiel du sol doit quand même être opéré en amont du semis afin de créer suffisamment de terre fine pour faciliter la germination de la prairie ensemencée.



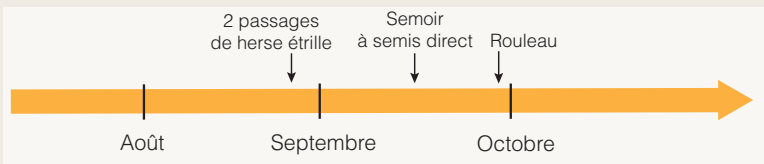
Photo 56 : Prairie semée dans un parc photovoltaïque
(© E. Mortelmans)

FIGURE 4 :
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 photovoltaïque, 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 5).

À SAVOIR !

Aux Etats-Unis, des semenciers commercialisent des mélanges fourragers dédiés à la végétalisation des parcs photovoltaïques avec pâturage d'ovins.

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. Il n'existe pas à ce jour en France de proposition commerciale pour ce type de produit adapté à cet usage. Il serait opportun de mener une recherche pour proposer des mélanges adaptés aux conditions des parcs photovoltaïques en France.



Photo 57 : Centrale photovoltaïque de Sainte-Agathe La Bouteresse (© Idele, centrale gérée par Neoen)



Photo 58 : Couvert végétal sur la centrale de Bioule (© Idele, centrale gérée par Neoen)

TABLEAU 5 : COMPOSITION DES MÉLANGES PRAIRIAUX MULTI-ESPÈCES PRECONISÉS EN FONCTION DES CARACTÉRISTIQUES DU SOL (DOSES DE SEMIS INDIQUÉES EN KG/HA)

Espèces fourragères	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 DE L'ÉTAT DE LA VÉGÉTATION

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

Il peut ainsi être intéressant de prévoir une visite de l'éleveur avec le gestionnaire de la centrale au printemps, tous les ans (sur le début), 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.

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 59 : Centrale agrivoltaïque de Bioule (© Idele, centrale gérée par Neoen)



Ovins pâturant dans une centrale agrivoltaïque
(© TSE)

Choisir un système de pâturage adapté aux objectifs et aux contraintes de l'éleveur et du gestionnaire

Le pâturage de ruminants en centrale photovoltaïque 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.

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. 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.

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 6). 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 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 enlever les clôtures mobiles rapidement et de surveiller les troupeaux. Il est un outil indispensable qui 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.

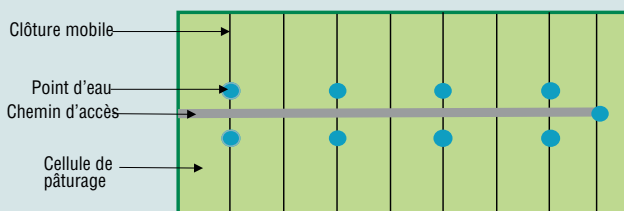
Résultats attendus

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 par les 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.

FIGURE 6 :
REPRÉSENTATION SIMPLIFIÉE DU PARCELLAIRE EN PÂTURAGE TOURNANT DYNAMIQUE
(SOURCE : LERAY ET AL., 2017)

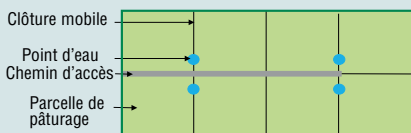


Le pâturage tournant classique

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 7). 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 7 :
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 sortie de parcelle (3 à 6 cm selon la saison).

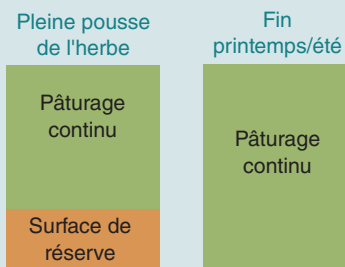
Le pâturage continu

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 8). 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. Ce système 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.

FIGURE 8 :
REPRÉSENTATION SIMPLIFIÉE DU PARCELLAIRE EN PÂTURAGE LIBRE (SOURCE : LERAY ET AL., 2017)



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.

Équipements nécessaires

Dans cette configuration, l'organisation spatiale ne nécessite pas de clôtures

supplémentaires et repose uniquement sur les clôtures extérieures du parc photovoltaïque. 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.

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 photovoltaïque, 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 photovoltaïques. 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'une centrale photovoltaïque, les éleveurs sont invités à suivre une formation sur cette technique de pâturage.

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

Aménagement de la centrale photovoltaïque en cellules de pâturage

Le découpage de la centrale photovoltaïque 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 photovoltaïque et le siège d'exploitation ?
- Ajuster et rendre les installations les plus pratiques possibles : portes, poignées, enrrouleurs, 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 photovoltaïque (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 photovoltaïque.

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 photovoltaïque (clôtures fixes, chemins d'accès, rangs entre les panneaux...) pour organiser les parcelles.
- S'appuyer sur les clôtures fixes du pourtour du parc photovoltaïque 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.
- Planter 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.

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

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 centrale photovoltaïque, 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 6). 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.

TABLEAU 6 :
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

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 7). 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.

épiées forment alors des touffes qui, si elles restent en l'état, peuvent abriter des semis spontanés de plantes lignifiées (ronces, arbustes, arbres), ce 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 photovoltaïque.

TABLEAU 7 :
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

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 sont moins appréciées des ruminants qui auront tendance à sélectionner d'autres ressources pour leur alimentation. Ces refus des plantes

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 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 l'épiaison

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 leur épi a déjà été sectionné. 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 photovoltaïque. 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 pour favoriser une repousse de qualité au printemps.

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 (en général au-delà de 3 brebis par ha), 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.

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).



Photo 62 : Centrale de Bioule (© Idele, centrale gérée par Neoen)

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'*Hassanpour 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.

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...).

Parc photovoltaïque de Torreilles (66) (© 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, ce qui évite de conclure un accord basé sur des malentendus.

Il est ainsi nécessaire que le gestionnaire de la centrale photovoltaïque 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 photovoltaïque peut, à la longue, être un facteur compromettant pour les projets d'agrivoltaïsme impliquant une co-activité avec l'élevage. 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 photovoltaïque, 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 photovoltaïque 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 : contention, affouragement, réseau d'eau pour l'abreuvement...
- Restauration du couvert végétal : achat de semences, semis, temps de travail...

Impacts liés à la pratique même de l'agrivoltaïsme

- Réduction de l'entretien mécanique du couvert végétal : carburant, temps de travail...
- Alimentation du troupeau : accès potentiel à de nouvelles surfaces de pâturage ;
- 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...
- Frais de fonctionnement : accès à l'eau pour le troupeau...
- Déplacements : frais et temps de trajet ;
- 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 ;
- Immobilisation possible de terres arables sur une longue période ;
- Difficulté voire impossibilité de constituer des stocks fourragers sur les surfaces végétales couvertes par les panneaux photovoltaïques.

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 engendrés 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 des éventuelles pertes de temps et frais de l'éleveur, notamment en lien avec les déplacements sur la centrale photovoltaïque.

À SAVOIR !

Agrivoltaïsme et aides PAC : le maintien des aides semblerait lié au type de technologies photovoltaïques utilisés

Le cadre juridique traitant de l'agrivoltaïsme est aujourd'hui assez flou, avec notamment des contradictions entre le droit de l'environnement, le droit agricole et le droit de l'urbanisme. En témoignage des discussions ayant eu lieu au Sénat en décembre 2020 (Sénat, 2020). Une jurisprudence est en train de se mettre en place et il apparaît que le maintien des aides de la PAC soit dépendant du type de technologies utilisées (centrales au sol, ombrières...). En effet, il semble d'un côté que les surfaces utilisées pour les centrales photovoltaïques au sol subissent la perte des droits de la PAC (notamment des Droits à Paiement de Base (DPB)), même en situation de continuité d'activité agricole, et ne sont plus comprises dans la surface agricole utile. Au-delà de la perte des DPB, cette pratique peut également avoir une incidence sur l'ICHN (Indemnité Compensatoire de Handicap Naturel) car les surfaces ne rentrent plus dans le calcul du chargement qui donne accès à l'aide. En revanche, il n'y a pas d'impact pour les aides couplées animales, sous condition que l'agriculteur remplisse les bordereaux de localisation des animaux s'ils sont dans la centrale photovoltaïque durant la période de détention obligatoire de 100 jours. A l'inverse, dans le cas de centrales photovoltaïques de type ombrières, l'étude des conditions d'éligibilité des surfaces à

la PAC semble tout de même indiquer que les surfaces agricoles concernées restent éligibles aux aides.

Le Ministère de la transition écologique et des Transports reconnaît lui-même la nécessité de mettre en place un cadre juridique clair pour l'agrivoltaïsme.

S'ENTENDRE SUR UNE RÉPARTITION ÉQUILBRÉE 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.

Les tâches attribuées à chaque partie prenante

Dans la plupart des expériences de co-activité élevage et photovoltaïsme, la société gestionnaire prend à sa charge l'aménagement du parc, la mise en place des réseaux d'abreuvement, l'achat 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.

Les 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 photovoltaïque.

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 photovoltaïque.

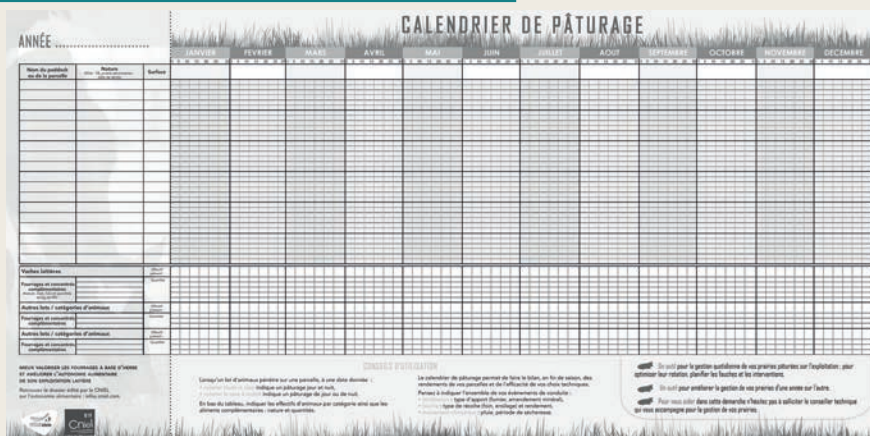
Le calendrier de pâturage

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 9),
- au gestionnaire d'organiser les opérations de maintenance du parc photovoltaïque 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 photovoltaïque. 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 9 : 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 photovoltaïque 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.



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.



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 photovoltaïque 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 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 63) ou les contraindre à une zone hors de portée des brebis afin de prévenir les sources de blessures voire de mortalité.



Photos 63 : Exemple d'objet retrouvé dans un parc photovoltaïque (© Idele)

Une démarche proactive sera demandée sur la gestion des câbles apparents à hauteur des brebis (photo 64), 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.



Photos 64 : Présence de câble à 50cm 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 alerter de potentiels « visiteurs » de la présence possible de chiens de travail (de protection ou de conduite)

autour du troupeau et de les informer du comportement à adopter vis-à-vis du chien et des animaux.

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 photovoltaïque 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.

À SAVOIR !

Vers quel type de contrat s'orienter ?

Le bail rural n'est pas compatible avec des surfaces occupées par des panneaux photovoltaïques, ce qui peut mettre les éleveurs fermiers en difficulté. La contractualisation de long terme est donc primordiale, surtout pour ces 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 photovoltaïque 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.).

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 la centrale photovoltaïque.

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.



(© Vaksmanv - AdobeStock)

GLOSSAIRE

- **Cellule photovoltaïque** : composant électronique en silicium qui, exposé à la lumière (photons), génère de l'électricité. La cellule photovoltaïque produit une tension continue propre au silicium (0,6v). Élément de base constituant les panneaux photovoltaïques.
- **Panneau photovoltaïque** : ensemble de modules photovoltaïques préassemblés dans un ensemble mécanique et interconnectés.
- **Centrale photovoltaïque** : unité de production d'électricité photovoltaïque mettant en œuvre différents constituants (modules photovoltaïques, tables d'assemblage supports, câbles aériens et souterrains, onduleurs, transformateurs, compteurs, poste de livraison, clôtures, systèmes de surveillance, voies d'accès). De tels systèmes sont en général de forte puissance et connectés au réseau.
- **Panneaux trackers** : technologie inspirée de l'héliostat ou du tournesol et qui permet d'augmenter le rendement des panneaux solaires en leur faisant suivre la course du soleil.
- **Bien-être animal** : 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)
- **Tallage** : propriété de nombreuses espèces de graminées qui leur permet de produire de multiples tiges à partir de la plantule initiale assurant ainsi la formation de touffes denses.
- **Montaison** : stade où l'épi est formé dans la base de la tige dont les entre-nœuds s'allongent. Pour voir l'épi à ce stade, il faut couper la gaine dans la longueur.
- **Epiaison** : développement de l'épi dans la gaine.
- **Floraison** : le stade floraison est atteint lorsque les étamines apparaissent.
- **Etêtage** : lors du pâturage, le futur épi est coupé dans la gaine. Après étêtage, la repousse est feuillue (pour les espèces non remontantes).
- **Degrés-jours** : pour le pâturage, les sommes de températures, exprimées en degrés-jours, se calculent en additionnant les températures moyennes quotidiennes à partir du 1^{er} février, avec un maximum de 18°C et un minimum de 0°C. Les températures sont relevées par secteur par les stations de Météo France.
- **Pâturage tournant** : technique de pâturage consistant à diviser les prairies en différentes parcelles de plus petites tailles et à mettre en place un temps de rotation entre chaque parcelle.
- **Pâturage continu (ou libre)** : technique de pâturage consistant à laisser les animaux sur une parcelle ou un groupe de parcelles identiques pendant un long temps de séjour.

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.
- **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* volume 2, pages 848–855.
- **Conseil d'état, 2017.** 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, 2017.
- **Décrypter l'énergie, 2021.** Les installations photovoltaïques émettent-elles des rayonnements nuisibles pour l'homme ou pour les animaux ? <https://decrypterlenergie.org/les-installations-photovoltaiques-emettent-elles-des-rayonnements-nuisibles-pour-lhomme-ou-pour-les-animaux> (consulté le 03.05.2021);
- **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.
- **Fraunhofer Institut, 2018.** Fraunhofer Institut für Solar Energy Systems ISE – Presse Release : Agrophotovoltaics: High Harvesting Yield in Hot Summer of 2018.

- **Guide du pâturage Limousin, 2011.** Ujay A., Marot P., Petit M., Martignac S., Feugere H., Lacorre V., (2011). La méthode préconisée par le programme structurel Herbe et Fourrages en Limousin.
- **Guide pour un diagnostic prairial, 2009.** Hubert F., Pierre P., (2009). Chambre d'agriculture Pays de la Loire.
- **Guide pratique La prairie multi-espèces, 2007.** Pierre P., Hubert F., Coutard J.P. et al. (2007). Chambre d'agriculture Pays de la Loire.
- **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.
- **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.
- **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 2 sites prairiaux pâturés. *Milieus et Changements globaux*.
- **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.
- **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 pâturant des prés-vergers. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur ISA Lille.
- **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/qSEQ20111384S.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.
- **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., Dautat 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.

Également disponible



Les travaux menés par la Plateforme Verte résultent d'une approche consensuelle et pérenne visant la préservation de l'agriculture dans la transition énergétique. Guidée par cette recherche de l'intérêt collectif, l'organisation interdisciplinaire avec des représentants des collectivités, services de l'Etat, syndicats agricoles et énergétiques, organismes scientifiques et techniques, chambres d'agriculture, juristes, financeurs et consultants a permis d'éviter une considération trop étreinte du sujet. Porté par une vision positive de l'agrivoltaïsme comme solution potentielle pour l'agriculture et la transition énergétique, ce guide a pour vocation d'encourager les projets à dimension de territoire avec des recommandations très opérationnelles. Sans prétention technique, il se pose en complément des autres travaux menés notamment avec des comités d'experts (e.g. guides de l'Ademe et de l'Institut de l'Élevage).

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.

