

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFECTURE / DÉPARTEMENT

ALLIER

COMMUNE

SAINT - DIDIER - LA FORET

REGISTRE D'ENQUÊTE PUBLIQUE

PIÈCE JOINTE
N° 1

Cocher la case correspondante

- Installations classées pour la protection de l'environnement
- Schéma régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires (S.R.A.D.D.E.T)
- Schémas de cohérence territoriale (S.C.O.T.)
- Plan local d'urbanisme (P.L.U.)
- Plan d'occupation des sols (P.O.S.)
- Carte communale
- Classement de voirie
- Divers

relatif à : Demande de permis de construire
déposé par la société JP Energie
Environnement en vue de l'implantation
d'une centrale photovoltaïque au lieu
dit "Les Baux" sur le territoire de
la commune de Saint - Didier la Forêt
(Allier)



REGISTRE D'ENQUÊTE PUBLIQUE

Objet de l'enquête : Demande de permis de construction déposée par la S^{SE} Energie
Energie en vue de l'implantation d'une centrale
photovoltaïque au sol en lieu-dit "Les Baux" sur le
territoire de la Commune de Saint-Denis-la-Forêt (Allier)

Arrêté d'ouverture de l'enquête :

arrêté n° 2071/2022 en date du 30 septembre 2022 de

M. le Maire de : _____
 M. le Préfet de : l'Allier

Président de la commission d'enquête – Commissaire enquêteur :

Membres titulaires : M. Doussot Guy qualité Commissaire-enquêteur
M. _____ qualité _____
M. _____ qualité _____
M. _____ qualité _____
Membres suppléants : M. _____ qualité _____
M. _____ qualité _____
M. _____ qualité _____

Durée de l'enquête : date(s) d'ouverture : du 26 octobre 2022 au 25 novembre 2022
les _____ de _____ à _____ et de _____ à _____
les _____ de _____ à _____ et de _____ à _____
les _____ de _____ à _____ et de _____ à _____

Siège de l'enquête : Mairie de Saint-Denis-la-Forêt
Autres lieux de consultation du dossier : _____

Registre d'enquête :

comportant 32 feuillets non mobiles, cotés et paraphés par le commissaire enquêteur, destiné à recevoir les observations du public ; ces dernières peuvent aussi être adressées par écrit au nom du commissaire enquêteur à :
la mairie de Saint-Denis-la-Forêt

Rapport et conclusions du commissaire enquêteur :

seront tenus à la disposition du public dès leur réception à : la Préfecture de l'Allier ; et la
mairie de Saint-Denis-la-Forêt
aux heures et jours habituels d'ouverture des bureaux et dans chacune des mairies où s'est déroulée l'enquête et à la préfecture de chaque département concerné.

Réception du public par le commissaire enquêteur :

les Mardi 26 octobre 2022 de 16h à 17h30 et de _____ à _____
les Jeudi 3 novembre 2022 de 16h à 17h30 et de _____ à _____
les Mardi 15 novembre 2022 de 16h à 17h30 et de _____ à _____
les Vendredi 25 novembre 2022 de 16h à 17h30 et de _____ à _____
les _____ de _____ à _____ et de _____ à _____
les _____ de _____ à _____ et de _____ à _____

une réunion publique a été n'a pas été organisée par le Commissaire enquêteur.

PREMIÈRE JOURNÉE

Les 12/10 de 16h00 heures à 17 heures 30

Observations de M⁽¹⁾

Lined area for observations.

⁽¹⁾ Pour prendre en considération vos remarques, consignez-les sur le présent registre ou adressez-vous directement au commissaire-enquêteur.

(61)

Le Vendredi 25 novembre 2022 à 17h30 heures

Le délai étant expiré,

je, soussigné(e), Guy DOUSSOT déclare clos le présent registre
qui a été mis à la disposition du public pendant 33 jours jours consécutifs,
du lundi 24 octobre 2022 au vendredi 25 novembre 2022
de huit heures moins à douze heures et
de quatorze heures à dix-sept heures moins

les lundi, mardi, jeudi, vendredi

Les observations ont été consignées au registre

par 33 personnes (pages n° _____ à _____).

En outre, j'ai reçu 33 lettres ou notes écrites
qui sont annexées au présent registre :

1 lettre en date du _____ de M _____

2 lettre en date du _____ de M _____

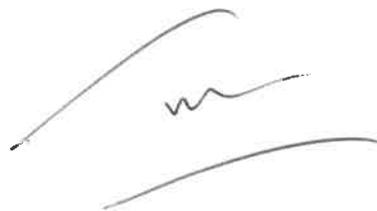
3 lettre en date du _____ de M _____

4 lettre en date du _____ de M _____

5 lettre en date du _____ de M _____

6 lettre en date du _____ de M _____

signature



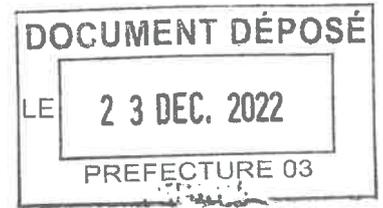
Le présent registre ainsi que les _____ pièces
qui y sont annexées et le dossier d'enquête sont adressés par mes soins,

le 26 décembre 2022
à M^{me} le préfet du département de l'Allier

(Voir mentions de clôture en page 19)

**RAPPORT ET CONCLUSIONS DU COMMISSAIRE ENQUÊTEUR
SONT ANNEXÉS AU PRÉSENT REGISTRE**

PJ N°2



SAINT-DIDIER-LA-FORÊT : **demande de permis de construire** **déposée par la société JP** **ENERGIE ENVIRONNEMENT en** **vue de l'implantation d'une** **centrale photovoltaïque au sol au** **lieu-dit « Les Baux » sur le** **territoire de la commune**

<https://www.registre-dematerialise.fr/4253/>

Dates

Du lundi 24 octobre 2022 à 08h30 au vendredi 25 novembre 2022 à 17h30

Référence du Tribunal Administratif

Décision en date du 21 septembre 2022 - Tribunal Administratif de CLERMONT-FERRAND

Arrêté d'ouverture

Arrêté préfectoral n°2071/2022 en date du du 30 septembre 2022

Commissaire enquêteur(rice)

Monsieur Guy DOUSSOT

Maître(s) d'ouvrage
JP ENERGIE ENVIRONNEMENT
12 rue Martin Luther King
14280 Saint-Contest

Contribution n°1 (Web)

Proposée par lionel
(lionel.bichonnet@orange.fr)
Déposée le jeudi 17 novembre 2022 à 16h53
Adresse postale : hlm clair matin rue guillon 03120 lapalisse

je m'oppose par principe à ce projet d'implantation de panneaux photo-voltaïques en terrain agricole et en milieu naturel.

L'implantation de ces panneaux devrait être réservés exclusivement aux couvertures de bâtiments existants , et par extension aux zones commerciales et industrielles sur leurs toitures et en couverture de parkings automobiles.

Contribution n°2 (Web)

Proposée par anonyme

Déposée le samedi 19 novembre 2022 à 10h22

Bonjour,

Je viens de parcourir le dossier concernant l'éventuelle implantation d'une centrale photovoltaïque au sol sur le territoire de la commune de ST DIDIER LA FORET.

Ce dossier m'interpelle dans le sens où la communauté de commune avait décidé dans le SRADETT de ne pas utiliser les terres agricoles ou tout du moins d'en limiter l'utilisation. Voilà encore un projet sur des terres agricoles.

- Pour une solution à ce projet ne pourrait-on pas réfléchir à une installation sur des structures déjà existantes (toit salle socio culturelle, bâtiments techniques, anciennes friches industrielles, ancienne décharge, etc...) Certes cela peut ne pas représenter la surface désirée, mais c'est un début.

- Par ailleurs dans les documents on nous dit que l'entretien de ce parc sous les panneaux serait réalisé par le pâturage des moutons. Avez vous en mémoire que des milliers d'exploitations agricoles ont disparus en France depuis 10 ans. Avez vous le berger qui voudra avoir un tel troupeau.

Bien entendu qu'il faut trouver des solutions pour notre indépendance énergétique mais pas uniquement réfléchir en terme économique.

Je pense que c'est un projet d'opportunité personnelle. On propose un projet mais on étudie plus précisément après avoir eu le permis de construire. Le "on verra après" démontre que ce projet n'est pas suffisamment abouti et que la proximité de la centrale de Bayet fonde ce projet, ce qui n'est pas illogique mais comment fait-on pour arriver sur ce site est assez flou.

- Egalement quid de la fin de vie de ces panneaux. 30 ans d'exploitation c'est long et court à la fois. Certes il y a les garanties financières pour le traitement de ces panneaux en cas de disparition de la structure propriétaire, mais c'est plutôt la méthode de gestion de ces déchets qui compte et le coût de destruction et cela n'est pas présenté dans le projet.

Voilà ma réflexion sur ce projet. Je suis défavorable à l'installation de ce projet sur des terres agricoles, mais pas contre les énergies alternatives.

Contribution n°3 (Web)

Proposée par ROLLIN, Gérard
(gerard.rollin@colas.com)
Déposée le lundi 21 novembre 2022 à 19h00
Adresse postale : 1, rue du Colonel Pierre Avia 75730 PARIS CEDEX

Notre société, spécialisée dans les travaux de terrassement, plateformes et réseaux, emploie près de 100 personnes dans le département de l'Allier.

Une part importante de notre activité est liée au développement des énergies renouvelables dans ce département. C'est pourquoi, en tant qu'employeur et entrepreneur du territoire, nous apportons notre soutien plein et entier à ce projet. Il pourrait mobiliser 6 personnes pendant 3 mois environ.

Contribution n°4 (Web)

Proposée par BUARD France
(france.buard@onf.fr)
Déposée le mardi 22 novembre 2022 à 14h35
Adresse postale : ONF 51 bd Saint Exupéry 03400 YZEURE

Bonjour, vous trouverez ci-joint la contribution de l'Office National des Forêts, gestionnaire de la forêt domaniale

de l'Abbaye Marcenat, forêt en limite du projet.
Cordialement,
France Buard

1 document associé
contribution_4_Web_1.pdf

Contribution n°5 (Web)

Proposée par anonyme

Déposée le mardi 22 novembre 2022 à 16h10

L'agri-photovoltaïque est systématiquement présenté comme permettant le maintien de l'activité agricole. Il convient de rester prudent en la matière. Dans le cas présent une exploitation d'élevage bovin sera remplacée par un élevage ovin. Cela conduit inévitablement à une perte de production agricole. "L'exploitant" du troupeau ovin va certes y trouver son compte en raison des avantages consentis, mais sera en fait un salarié de la société JP Energie Environnement. La production agricole, quant à elle, sera fortement dégradée. A la lumière des critiques émises par la MRAE et le CDPENAF. J'estime qu'un avis défavorable est nécessaire, les réponses apportées par le pétitionnaire n'étant pas convaincantes.
A.P.

Contribution n°6 (Web)

Proposée par anonyme

Déposée le mercredi 23 novembre 2022 à 08h38

Je m'oppose à ce projet d'implantation de panneaux photovoltaïques en terrain agricole et en milieu naturel. Ils contribuent à la disparition de terres agricoles, à la défiguration des paysages. Ils sont un danger pour la faune et la flore. L'emplacement est inapproprié en cas d'incendie, puisqu'ils jouxtent une forêt domaniale. Ils ne créent aucun emploi local. Leurs fabrications viennent de Chine. Dans 20 à 30 ans, que deviendront ces panneaux ? qui paiera la facture pour la démolition et le recyclage ? ou resteront-ils abandonnés sur ces terres ?

Monsieur Guy Doussot
Commissaire enquêteur
Mairie de Saint-Didier-la-
Forêt
6, route de Vichy
03110 Saint Didier-la-Forêt

Vzceure, le 22 novembre 2022

Objet : Projet photovoltaïque Saint Didier La Forêt

Le projet d'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol au lieu-dit « Les Baux », commune de Saint-Didier-la-Forêt, jouxte la forêt domaniale de l'Abbaye Marcenat sur environ 2390 ml (parcelles forestières 103, 107, 108, 110, 118 et 120).

Au regard du risque feu de forêt et en accord avec les prescriptions DFCI et SDIS, il convient de maintenir en état débroussaillé une bande de 50 mètres autour du bord extérieur de l'installation. Cette bande doit être intégrée au projet, imposant un recul des installations de 70 mètres par rapport à la limite domaniale.

De plus, dans le cadre des opérations de raccordement, je vous rappelle que toute occupation du domaine privé de l'Etat passe par une convention de servitudes.

Je reste à votre disposition pour tout complément d'information.

La responsable SIG agence,



France Buard

Pièces jointes : Carte de localisation

Copie adressée à : JP Energie Environnement, monsieur le maire de Saint-Didier-la-Forêt, DDT service environnement, DDT service urbanisme, DDT service forêt, Cyril Métier responsable de l'unité territoriale Sud Allier, Mathieu Chevalier technicien en charge de la forêt domaniale de l'Abbaye Marcenat

DELIBERATION

Séance du 28 novembre 2022

| | |
|-----------------------|----|
| Nombre de conseillers | |
| En exercice | 86 |
| Présents | 63 |
| Ayant donné pouvoir | 15 |
| Votants | 78 |

Le 28 novembre 2022 à 18h30, les membres du Conseil de la **Communauté de Communes Saint-Pourçain Sioule Limagne**, désignés par les conseils municipaux des soixante communes membres, se sont réunis à la salle polyvalente de Biozat, sur convocation qui leur avait été adressée par Madame Véronique POUZADOUX, Présidente, le 22 novembre 2022.

Étaient présents

Présidente : Véronique POUZADOUX,

Vice-Présidents : Noëlle SEGUIN, Pascal PALAIN, Jacques GILIBERT, Stéphane COPPIN, Gérard LAPLANCHE, Claire MATHIEU-ORTEJOIE, Arnaud DEBRADÉ, Daniel REBOUL, Gilles JOURNET, Martine DESCHAMPS, Robert PINFORT, Emmanuel FERRAND,

Délégués titulaires : Philippe CHÂTEAU, Philippe BUSSEON, Serge MAUME, Nicole HAUCHART, Serge BORREL, Bernard DEVOUCOUX, Eliane MEZIÈRE, Brigitte DAEMEN, Michel FRISOT, Jean DURANTEL, Josiane HENRY, Michelle PARIS, Valéry DUBSAY, Claude RAY, Marie-Claude BOUCHARD, Bertrand BECHONNET, Michel CHATET, Annick BERTOLUCCI, Christine COURTINAT, Patrick ROTTENBERG, Céline BRUNEL, Noël PLANE, Amar DAKKAR, Gérard COULON, Hubert MONTJOL, Yves SANVOISIN, Rolande SARRAZIN, Maurice DESCHAMPS, Arnaud BAUGÉ, Benoît SIMONIN, Gilles PARIS, René BEYLOT, Fabien CARTOUX, Jacques AMY, Virginie PEYROT MARCEL, Henri GIRAUD, Christine BURKHARDT, Thierry MICHAUD, Philippe CHANET, Jean MALLOT, Marie-Cécile MARTIN, Carole KOLLER, Jean-François HUMBERT, Deny DEROUET, Marcelle DESSALE, Danièle BENAYON,

Délégués suppléants : Stéphane BLIN représentant Frédéric DALAIGRE, Mickaël AVIGNON représentant Gilles VERNAY, Chantal LAPLANCHE représentant Bruno CHANET, Martine GRAND représentant Michel MENON,

Ont donné pouvoir :

Sylvain PETITJEAN à Yves SANVOISIN, Christine MARTINS à Bernard DEVOUCOUX, Isabelle MATHURIN à Véronique POUZADOUX, Serge GATIGNOL à Patrick ROTTENBERG, Sylvain DOMINÉ à Christine COURTINAT, Stéphanie CARTOUX à Annick BERTOLUCCI, Aline JEUDI à Gérard COULON, Yves MAUPOIL à Noëlle SEGUIN, Roger VOLAT à Thierry MICHAUD, Estelle GAZET à Robert PINFORT, René MYX à Emmanuel FERRAND, Marie-Claude LACARIN à Philippe CHANET, Chantal CHARMAT à Christine BURKHARDT, Marcel SOCCOL à Gérard LAPLANCHE, Daniel LÉGER à René BEYLOT,

Étaient excusés :

Denis JAMES, Henri MARCHAND, Henri-Claude BUVAT, Gérard LONGEOT, Sylvie THEVENIOT, André BERTHON, Jean-Philippe GUITTARD, Magalli BLAES,

Secrétaire de séance :

Pascal PALAIN

N° 22/182. AMENAGEMENT TERRITORIAL – ENERGIE – ENQUETE PUBLIQUE – JP ENERGIE ENVIRONNEMENT – PARC PHOTOVOLTAIQUE – COMMUNE DE ST DIDIER LA FORET

Le Conseil communautaire,

VU le Code général des collectivités territoriales,

VU le Code de l'environnement et notamment l'article R181-38,

VU la délibération n°19/174 du 12 décembre 2019 portant élaboration du SCOT de la Communauté de communes Saint-Pourçain Sioule Limagne – présentation du projet de PADD,

VU la délibération n°20/3 du 6 février 2020 portant débats et orientations sur le projet de PADD,

VU la délibération n°20/160 du 10 décembre 2020 portant adoption du Plan Climat Air Energie Territorial,

VU la délibération n°21/127 du 20 juillet 2021 portant arrêt du SCOT de la Communauté de communes Saint-Pourçain Sioule Limagne,

VU la délibération n°21/192 du 6 décembre 2021 portant arrêt du Plan Climat Air Energie Territorial,

VU la délibération n°22/159 du 17 octobre 2022 portant approbation du Schéma de Cohérence Territoriale de la Communauté de communes Saint-Pourçain Sioule Limagne,

VU l'arrêté préfectoral n°2071/2022 du 30 septembre 2022 (annexe 1) portant ouverture dans le cadre de l'instruction administrative d'une demande de permis de construire déposée par la société JP ENERGIE ENVIRONNEMENT en vue de l'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol située au lieu-dit « les Baux » sur le territoire de la commune de St Didier la Forêt,

VU l'enquête publique qui s'est déroulée du 24 octobre au 25 novembre 2022 relative à l'instruction administrative d'une demande de permis de construire déposée par la société JP ENERGIE ENVIRONNEMENT en vue de l'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol située au lieu-dit « les Baux » sur le territoire de la commune de St Didier la Forêt,

VU les pièces du dossier et notamment la demande relative au permis de construire (annexe 2), l'étude d'impact environnemental (annexe 3), l'étude préalable agricole (annexe 4) et le résumé non technique (annexe 5) à l'instruction administrative d'une demande de permis de construire déposée par la société JP ENERGIE ENVIRONNEMENT en vue de l'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol située au lieu-dit « les Baux » sur le territoire de la commune de St Didier la Forêt,

VU l'avis de la Mission Régionale d'Autorité Environnementale (annexe 6) et la réponse du porteur de projet (annexe 7),

VU les avis de la CDPENAF (annexe 8), de la DDT (annexe 9), de la DRAC (annexe 10), de la DREAL (annexe 11), du SDIS (annexe 12) et de la DGAC (annexe 13),

VU les compléments apportés par le porteur de projet au cours de l'instruction du permis de construire (annexe 14),

CONSIDERANT QUE dès le début de la phase d'enquête publique, le préfet demande l'avis du Conseil municipal des communes mentionnées au III de l'article R. 123-11 et des autres collectivités territoriales, ainsi que de leurs groupements, qu'il estime intéressés par le projet, notamment au regard des incidences environnementales notables de celui-ci sur leur territoire. Ne peuvent être pris en considération que les avis exprimés au plus tard dans les quinze jours suivant la clôture de l'enquête publique,

CONSIDERANT QU'en application de l'article R 181-38 du code de l'environnement, et de l'article 9 de l'arrêté préfectoral n°2071/2022, la Communauté de communes Saint-Pourçain Sioule Limagne ainsi que la commune de Saint Didier la Forêt, sont appelées à donner leur avis sur cette demande d'autorisation dès l'ouverture de l'enquête et au plus tard dans les 15 jours suivants la clôture de l'enquête publique, soit le 10 décembre 2022,

CONSIDERANT QUE ce projet consiste en l'implantation d'un parc photovoltaïque au sol sur une surface clôturée de 41,2 ha, la surface réellement couverte par les panneaux étant de 18,6943 ha, d'une puissance totale installée sur le parc de 33,3 Mwc,

CONSIDERANT l'invitation faite à la société JP ENERGIE ENVIRONNEMENT de présenter le projet soumis à enquête publique aux membres de la Commission Aménagement territorial réunie le 21 novembre 2022, élargie à tous les élus communautaires,

CONSIDERANT les échanges intervenus lors de la commission aménagement du territoire en date du 21 novembre 2022,

Sur proposition de Gilles JOURNET, Vice-Président délégué,

Après en avoir délibéré à l'unanimité,

APPROUVE l'avis émis par la commission aménagement du territoire tel qu'annexé, sur le projet d'implantation par la société JP ENERGIE ENVIRONNEMENT d'une centrale photovoltaïque au sol

située au lieu-dit « les Baux» sur le territoire de la commune de Saint Didier la Forêt, et **DIT QUE** cet avis sera notifié aux personnes intéressées.

AUTORISE la Présidente, ou le Vice-Président délégué, à signer tous documents afférents à cette délibération et à transmettre ladite délibération en préfecture et au Commissaire enquêteur.

Fait et délibéré, le 28 novembre 2022,
À Biozat,

Pour extrait conforme,
La Présidente,

Véronique POUZADOUX

La Présidente certifie sous sa responsabilité le caractère exécutoire de cet acte et informe que la présente délibération peut faire l'objet d'un recours pour excès de pouvoir devant le tribunal administratif de Clermont Ferrand dans un délai de deux mois à compter de la présente notification. Le tribunal administratif peut être saisi par l'application informatique « Télérecours citoyens » accessible par le site internet « www.telerecours.fr »



**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
DÉPARTEMENT DE L'ALLIER**

**EXTRAIT DU REGISTRE DES DÉLIBÉRATIONS DE LA
COMMUNE DE SAINT-DIDIER LA FORÊT**

SÉANCE DU 9 DÉCEMBRE 2022

DÉLIBÉRATION 09.12.22 D4

Convocations du 5 décembre 2022

Nombre de membres afférents au
Conseil Municipal : 11

En exercice : 11

Ayant pris part à la délibération : 11

L'an deux mil vingt-deux le 9 décembre, le conseil municipal convoqué en séance ordinaire s'est réuni au nombre prescrit par la loi dans le lieu habituel de ses séances sous la présidence du Maire, Martine DESCHAMPS.

Présents : Jean-Yves FAYARD, Jacques BOUTONNET, Philippe COSSART, Jacques DELORME, Antoine ETIENNE, Jean-Claude THEUIL, Marlène de TORRES, Stéphane CHMITELIN

Procurations : Nathalie REVIDON, Jean-Claude VOIRAND

Secrétaire de séance : Marlène de TORRES

❖ PROJET DE CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE AU SOL LIEU-DIT LES BAUX

- Vu le Code général des collectivités territoriales ;
- Vu le Code de l'environnement et notamment l'article R181-38 ;
- Vu la délibération n°19/174 du 12 décembre 2019 portant élaboration du SCOT de la Communauté de communes Saint-Pourçain Sioule Limagne – présentation du projet de PADD (Projet d'Aménagement de Développement Durable) ;
- Vu la délibération n°20/3 du 6 février 2020 portant débats et orientations sur le projet de PADD ;
- Vu la délibération n°20/160 du 10 décembre 2020 portant adoption du Plan Climat Air Energie Territorial ;
- Vu la délibération n°21/127 du 20 juillet 2021 portant arrêt du SCOT de la Communauté de communes Saint-Pourçain Sioule Limagne ;
- Vu la délibération n°21/192 du 6 décembre 2021 portant arrêt du Plan Climat Air Energie Territorial ;
- Vu la délibération n°22/159 du 17 octobre 2022 portant approbation du Schéma de Cohérence Territoriale de la Communauté de communes Saint-Pourçain Sioule Limagne ;
- Vu l'arrêté préfectoral n°2071/2022 du 30 septembre 2022 (annexe 1) portant ouverture dans le cadre de l'instruction administrative d'une demande de permis de construire déposée par la société JP ENERGIE ENVIRONNEMENT en vue de l'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol située au lieu-dit « les Baux » sur le territoire de la commune de Saint-Didier la Forêt ;

- Vu l'enquête publique qui s'est déroulée du 24 octobre au 25 novembre 2022 relative à l'instruction administrative d'une demande de permis de construire déposée par la société JP ENERGIE ENVIRONNEMENT en vue de l'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol située au lieu-dit « les Baux » sur le territoire de la commune de Saint-Didier la Forêt ;
- Vu les pièces du dossier et notamment la demande relative au permis de construire (annexe 2), l'étude d'impact environnemental (annexe 3), l'étude préalable agricole (annexe 4) et le résumé non technique (annexe 5) à l'instruction administrative d'une demande de permis de construire déposée par la société JP ENERGIE ENVIRONNEMENT en vue de l'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol située au lieu-dit « les Baux » sur le territoire de la commune de Saint-Didier la Forêt ;
- Vu l'avis de la Mission Régionale d'Autorité Environnementale (annexe 6) et la réponse du porteur de projet (annexe 7) ;
- Vu les avis de la CDPENAF (annexe 8), de la DDT (annexe 9), de la DRAC (annexe 10), de la DREAL (annexe 11), du SDIS (annexe 12) et de la DGAC (annexe 13) ;
- Vu les compléments apportés par le porteur de projet au cours de l'instruction du permis de construire (annexe 14) ;

Considérant que dès le début de la phase d'enquête publique, le préfet demande l'avis du Conseil municipal des communes mentionnées au III de l'article R. 123-11 et des autres collectivités territoriales, ainsi que de leurs groupements, qu'il estime intéressés par le projet, notamment au regard des incidences environnementales notables de celui-ci sur leur territoire. Ne peuvent être pris en considération que les avis exprimés au plus tard dans les quinze jours suivant la clôture de l'enquête publique ;

Considérant qu'en application de l'article R 181-38 du code de l'environnement, et de l'article 9 de l'arrêté préfectoral n°2071/2022, la Communauté de communes Saint-Pourçain Sioule Limagne ainsi que la commune de Saint-Didier la Forêt, sont appelées à donner leur avis sur cette demande d'autorisation dès l'ouverture de l'enquête et au plus tard dans les 15 jours suivants la clôture de l'enquête publique, soit le 10 décembre 2022 ;

Considérant que ce projet consiste en l'implantation d'un parc photovoltaïque au sol sur une surface clôturée de 41,2 ha, la surface réellement couverte par les panneaux étant de 18,6943 ha, d'une puissance totale installée sur le parc de 33,3 MWc ;

Considérant l'invitation faite à la société JP ENERGIE ENVIRONNEMENT de présenter le projet soumis à enquête publique aux membres de la Commission Aménagement territorial réunie le 21 novembre 2022, élargie à tous les élus communautaires ;

Considérant les échanges intervenus lors de la commission aménagement du territoire en date du 21 novembre 2022 ;

Considérant la présentation par le porteur de projet lors de la séance du conseil municipal du 9 décembre 2022 ;

Le conseil municipal, à l'unanimité des voix :

1/ Approuve, tout comme la communauté de communes Saint-Pourçain Sioule Limagne, l'avis émis par la commission aménagement du territoire tel qu'annexé, sur le projet d'implantation par la société JP ENERGIE ENVIRONNEMENT d'une centrale photovoltaïque au sol située au lieu-dit « les Baux » sur le territoire de la commune de Saint-Didier la Forêt ;

2/ Emet un avis partagé :

- Au sens positif concernant le développement de nouvelles installations en faveur de la transition énergétique.

- Au sens négatif pour la préservation de notre territoire rural et l'avenir économique de l'agriculture.

3/ Dit que cet avis sera notifié aux personnes intéressées ;

4/ Autorise Madame le Maire à signer tous documents afférents à cette délibération et à transmettre ladite délibération en préfecture et au Commissaire enquêteur.

Pour extrait conforme

Le Maire

Martine DESCHAMPS

ENQUÊTE PUBLIQUE

OBJET

Demande de permis de construire déposée par la société JP Energie Environnement, en vue de l'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol, au lieu - dit « Les Baux », sur le territoire de la commune de Saint - Didier la Forêt (Allier)

Autorité organisatrice : Mme la Préfète de l'Allier, par arrêté n° 2071/ 2022 du 30 septembre 2022

Dates de déroulement de l'enquête : du lundi 24 octobre 2022 au vendredi 25 novembre 2022

Siège de l'enquête : Mairie de Saint - Didier la Forêt (Allier)

Lieux de déroulement de l'enquête : Mairie de Saint - Didier la Forêt (Allier)

Commissaire - enquêteur : M. Guy DOUSSOT

PROCÈS VERBAL DE SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS DU COMMISSAIRE - ENQUÊTEUR ET DES OBSERVATIONS RECUEILLIES DU PUBLIC

**Etabli par le commissaire - enquêteur en date du 29
novembre 2022**

**Notifié au représentant du maître d'ouvrage
le 30 novembre 2022**

Le présent procès – verbal synthétise les observations recueillies du public par les divers moyens mis à sa disposition, comme celles propres au commissaire – enquêteur.

La société JPE Energie Environnement dispose d'un délai de 15 jours à compter de la réception de ce procès – verbal pour lui remettre son mémoire en réponse, soit une réception du dit mémoire au plus tard le jeudi 15 décembre 2022.

I - OBSERVATIONS DU COMMISSAIRE – ENQUÊTEUR

1) Sur le choix du site d'implantation du projet

Il est indiqué sur l'étude préalable agricole (page 48) que « l'emprise actuelle a été choisie suite à une recherche de zones dégradées sur la commune et la communauté de communes. Aucune zone dégradée disponible n'a été identifiée ».

Il est demandé au maître d'ouvrage de justifier de ces recherches, et de démontrer en quoi l'implantation du projet à Saint – Didier la Forêt :

- répond à un enjeu strictement local particulièrement fort, au point de se porter sur une zone classée comme non constructible à la carte communale, document d'urbanisme en vigueur sur la commune ;

- et par là – même, ne pouvait donner lieu à des recherches de sites dégradés sur un périmètre plus large que celui évoqué.

2) Sur l'évolution de l'activité d'élevage bovin en activité d'élevage ovin

Les 55 hectares de l'exploitation concernées sont actuellement le support d'élevage de 35 vaches, représentant 35 unités de gros bétail (U. G. B.).

D'après l'étude préalable agricole, la future exploitation concernerait 15 vaches et 200 brebis.

Une brebis représentant 0,15 U. G. B., le nombre de bêtes élevées représenterait 45 U. G. B., soit une augmentation de 10 U. G. B. par rapport à la situation actuelle, sur un terrain dont 42 hectares seraient couverts par les panneaux photovoltaïques, 13 hectares seulement restant à l'air libre.

Alors même que les besoins en nourriture pour les bêtes seront accrus du fait de l'augmentation du nombre d'U. G. B., le renouvellement et la régénération de la ressource en herbe ne risquent – ils pas d'être fortement ralentis, voire compromis, du fait de la couverture des 3 / 4 de la surface exploitée par les panneaux solaires ?

Le maître d'ouvrage est invité à fournir toute justification du maintien de la capacité de renouvellement et régénération de la ressource en herbe dans la situation qui serait créée par l'installation projetée.

3) Sur le raccordement de l'installation projetée au réseau de distribution électrique

Dans sa réponse sur ce point à l'avis de la Mission Régionale d'Autorité Environnementale (M. R. A. E.), le maître d'ouvrage rappelle (page 8) que « l'étude d'impact environnementale précise que le raccordement est envisagé par le pétitionnaire sur le poste de BAYET » et présente « un trajet possible », avec à l'appui une carte très sommaire à l'échelle 1 / 43 425° portant « tracé éventuel du raccordement au poste source ».

Il souligne (page 9), à l'instar de la M. R. A. E., que le Schéma Régional de Raccordement au Réseau Energies renouvelables (dit S3ERNER) « propose notamment de nombreux travaux de renforcement du réseau, notamment dans le secteur de Bayet (créations de postes de transformations « Sud Allier » et « Centre Allier »), sans donner cependant plus de précision, notamment quant à une éventuelle incidence sur le poste de Bayet.

Il conclut que « à l'échéance de la mise en service du futur parc de Saint – Didier la Forêt, il sera de la responsabilité d'ENEDIS de proposer une solution de raccordement en capacité de recevoir la puissance électrique envisagée. »

Il semble donc que le maître d'ouvrage :

- n'ait pas, à ce jour, pris toutes les assurances quant à la capacité du poste de Bayet à absorber la production de la centrale projetée, s'en remettant en fin de compte uniquement *a posteriori* à ENEDIS pour trouver les solutions appropriées.

- soit resté à un stade très sommaire d'étude de l'itinéraire à emprunter par le réseau devant relier les deux installations.

Au demeurant, le dossier d'enquête ne comporte aucune mention de contacts préalables avec ENEDIS de la part du maître d'ouvrage, sur ces points.

Le maître d'ouvrage est invité à préciser les démarches qu'il a pu éventuellement effectuer en ce sens et qui n'apparaîtraient pas dans le dossier, et cela d'autant :

- que d'autres installations du même type sont projetées dans le secteur géographique concerné, comme en convient l'étude préalable agricole (page 51) par laquelle le maître d'ouvrage indique que « il faut tenir compte des effets cumulés du projet de centrale solaire avec les autres projets d'aménagement inscrits dans le territoire ;

- que, selon le Syndicat Départemental d'Energie de l'Allier, le renforcement du poste de Bayet n'est actuellement pas prévu.

4) Sur le diagnostic d'archéologie préventive

Un diagnostic d'archéologie préventive sur le site prévu pour l'implantation de l'installation projetée, a été prescrit par arrêté de M. le Préfet de la Région Auvergne – Rhône Alpes n° 2021 – 1116, en date du 29 septembre 2021.

Ce document a été notifié, entre autres destinataires, à SOLEIA BAU SAS, groupe d'affiliation de la société JP Energie Environnement.

Il figure au dossier soumis à la présente enquête publique.

Il est demandé au maître d'ouvrage de préciser l'état de ses contacts avec les services de l'État, en l'occurrence la Direction Régionale Auvergne – Rhône Alpes des Affaires Culturelles, pour la réalisation de ce diagnostic, préalable à toute attribution de permis de construire.

5) Sur les éventuelles incidences fiscales de l'installation projetée pour le budget communal

Par mail du 24 novembre 2022, dont copie a été transmise au commissaire – enquêteur, le maître d'ouvrage relaie un mail du Syndicat des Energies Renouvelables qu'il a reçu à cette même date.

Ce mail informe ses adhérents de l'accord intervenu, sur le plan parlementaire, au sein de la commission mixte paritaire comprenant des élus des deux assemblées, en faveur de l'intégration au projet de loi de finances rectificative pour 2022, d'une disposition permettant aux communes d'implantation de centrales photovoltaïques, de bénéficier d'une part de 20 % de l'imposition forfaitaire des entreprises de réseaux (I. F. E. R.), dont elle ne bénéficient pas jusqu'alors.

Outre le fait que cet accord en commission ne peut, pour l'heure, préjuger du vote final des deux assemblées, non encore intervenu à ce jour, il est demandé au maître d'ouvrage de préciser la source et le mode de calcul de son affirmation selon laquelle cette disposition permettrait à la commune de bénéficier d'une dotation d'un montant de 21 475 € au titre de cette imposition.

PJ n° 1

II – OBSERVATIONS DU PUBLIC

1) Sur le registre ouvert en mairie de Saint – Didier la Forêt

Aucune observation n'y a été déposée.

2) Par courrier postal au commissaire – enquêteur

Aucun courrier postal n'a été reçu en mairie de Saint – Didier la Forêt.

3) Sur le registre électronique

N° 1 - M. Lionel BICHONNET, le 17 novembre

Ce contributeur affirme son opposition de principe à toute implantation sur terrain agricole et espace naturel.

N° 2 - Anonyme, le 19 novembre

Ce contributeur rappelle les prescriptions du SRADETT en termes de non utilisation de terres agricoles pour de tels projets.

Il doute de la viabilité de l'activité de pâturage ovin, laquelle constitue, à son sens, plus une activité d'entretien des terrains, alors même que des milliers d'exploitations agricoles ont disparu depuis dix ans.

Le projet lui semble insuffisamment étudié en termes de raccordement au réseau de distribution d'électricité sur le poste de Bayet, et en termes de gestion de la fin de vie des panneaux au terme de la période d'exploitation.

Pour ce contributeur, le développement des sources d'énergie alternatives est nécessaire, mais le projet en question semble plus procéder d'une opportunité personnelle sur le plan économique, sans considération de l'activité agricole.

N° 3 - M. Gérard ROLLIN, le 21 novembre

Ce contributeur s'exprime au nom de la société COLAS, entreprise dont l'activité est liée au développement des énergies renouvelables. A ce titre, il soutient ce projet, susceptible selon lui d'employer 6 personnes durant 3 mois.

N° 4 – Mme France BUARD, au nom de l'Office National des Forêts, le 22 novembre

Cette contributrice produit une note qu'elle a rédigée en tant que responsable SIG de l'Agence Territoriale Berry – Bourbonnais de l'O. N. F., par laquelle elle demande au pétitionnaire le respect, pour l'installation projetée, de certaines distances vis – à – vis de la forêt domaniale de Marcenat, à titre de prévention du risque d'incendie.

N° 5 – Anonyme, le 22 novembre

Ce contributeur considère que la substitution d'un élevage ovin à un élevage bovin constitue une dégradation, voire une perte, de la production agricole.

Il juge fondées les critiques émises par la MRAE et la CDPENAF, mais par contre non convaincantes les réponses apportées par le pétitionnaire.

Il se déclare en conséquence défavorable au projet.

N° 6 – Anonyme le 23 novembre

Ce contributeur déclare son opposition au projet.

A son sens, il contribue à la disparition de l'activité agricole, à défigurer les paysages, et menace la faune et la flore.

Il ne crée pas d'emplois, et utilise des produits non fabriqués en France.

Il s'interroge sur le devenir des panneaux en fin d'exploitation et le financement de leur démantèlement.

PJ n° 2 – Textes de l'ensemble des contributions
PJ n° 3 – Note de Mme BUARD jointe à la contribution n° 4

4) Aux permanences du commissaire – enquêteur en mairie de Saint – Didier la Forêt

Vendredi 25 novembre - M. Pierre FOURNIER, habitant à BILLOM (Puy – de – Dôme)

M. Pierre FOURNIER déclare agir au nom de son fils, M. Thibault FOURNIER.

Pratiquant du sport équestre de forte notoriété, M. Thibault FOURNIER projette l'implantation d'un centre d'élevage de chevaux sur un terrain dont il est en train de faire l'acquisition, lequel jouxte le terrain d'assiette de l'installation photovoltaïque faisant l'objet de l'enquête.

Le premier panneau photovoltaïque se situerait ainsi à 150 mètres de la maison d'habitation située sur le terrain en voie d'acquisition par M. Thibault FOURNIER, et des installations qu'il projette pour leur exploitation.

M. Pierre FOURNIER, vétérinaire de profession, affirme, tant en se prévalant de cette compétence qu'à la lumière d'exemples de sa connaissance, que les émissions de champs magnétiques générées par le parc photovoltaïque projeté, nuiraient à la santé des humains comme à celle des animaux. Ces nuisances seraient produites non seulement par les panneaux photovoltaïques eux - même, mais également par les câbles de raccordement au réseau de distribution géré par ENEDIS, même souterrains.

Il s'étonne à cet égard de l'absence, dans le dossier produit par le maître d'ouvrage, de schéma décrivant l'itinéraire emprunté par ces câbles jusqu'au poste de raccordement.

Il doute de la viabilité à court terme de l'activité d'élevage ovin. Selon lui, le sol sera appauvri du fait de sa couverture permanente, et ne pourra plus produire la quantité d'herbe nécessaire au pâturage des animaux.

M. Pierre FOURNIER s'affirme conscient de la nécessité de développer de nouvelles sources d'énergie décarbonées, et convient de ce que la production d'électricité par voie d'installations photovoltaïques contribue à cet objectif.

Le projet porté par JP Energie Environnement serait admissible s'il était positionné dans le sens d'un moindre risque pour la santé des personnes et pour celle des chevaux qui pourraient l'avosiner, et apportait une vraie valeur ajoutée à l'activité agricole.

Mais il semble plus, à son sens, procéder d'un choix d'opportunité lié à l'intérêt, pour le propriétaire et exploitant du terrain d'implantation, de conforter ses revenus.

Il se déclare donc défavorable à ce projet.

Procès – verbal établi à Montluçon, le 29 novembre 2022

Le Commissaire – Enquêteur,

Guy DOUSSOT

Je soussigné, Arthur LOPEZ - DERRE, représentant la société JP Energie Environnement, accuse réception d'un exemplaire du présent procès – verbal, remis en mains propres par M. Guy DOUSSOT, commissaire – enquêteur, ce mercredi 30 novembre 2022 en mairie de Saint – Didier la Forêt (Allier)

Décembre 2022

Mémoire en réponse au Procès-Verbal du Commissaire Enquêteur

Projet agrivoltaïque sur la commune
de Saint-Didier-la-Forêt (03)

Enquête publique
du 24 octobre au 25 novembre 2022

Préambule :

La société SOLEIA BAU, filiale de JP Energie Environnement, a déposé le 27 mai 2021 une demande de permis de construire pour un parc photovoltaïque sur la commune de Saint-Didier-la-Forêt, au lieu-dit « Les Baux ».

Cette demande est soumise aux règles d'urbanisme en vigueur sur la commune de Saint-Didier-la-Forêt, définies dans la carte communale approuvée en 2011 et révisée le 17/12/2018.

Le projet est situé en zone non-constructible où les centrales photovoltaïques au sol peuvent être autorisées en tant qu'installations nécessaires à un équipement collectif sous les conditions énoncées ci-dessous :

D'après l'article L.161-4 du Code de l'Urbanisme :

« La carte communale délimite les secteurs où les constructions sont autorisées et les secteurs où les constructions ne sont pas admises, à l'exception de l'adaptation, du changement de destination, de la réfection ou de l'extension des constructions existantes ou des constructions et installations nécessaires à des équipements collectifs 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, à l'exploitation agricole ou forestière et à la mise en valeur des ressources naturelles.»

Le pétitionnaire rappelle que ce projet de parc photovoltaïque sera couplé avec une activité agricole dont la conception est pleinement compatible avec le pâturage d'ovins.

Par ailleurs, le pétitionnaire a réalisé une étude d'impact qui valide l'absence d'impact notable de l'installation sur le paysage et sur la fonctionnalité et la continuité écologique des milieux.

Ainsi, le pétitionnaire considère respecter les conditions permettant la construction d'installations de production d'énergie renouvelable photovoltaïque.

Le pétitionnaire détaille ci-dessous les arguments étayant sa position, en reprenant pour discussion plusieurs des points apportés dans les différentes observations.

I. Réponses aux observations du commissaire - enquêteur

1) Sur le choix du site d'implantation du projet

- La première partie de la réponse aux observations du commissaire enquêteur sur le choix du site d'implantation reprend les recherches de zones dégradées autour de la zone du projet et justifie le périmètre déterminé pour effectuer ces recherches.

L'article R-112-5 du code de l'environnement précise que le Maitre d'Ouvrage doit présenter « *les raisons pour lesquelles, eu égard aux effets sur l'environnement ou la santé humaine, le projet présenté a été retenu* ».

Le choix du site doit donc être explicité au niveau d'un périmètre qui soit celui de l'influence possible de l'installation sur l'environnement et la santé. Le bureau d'études en charge de l'étude d'impact a donc choisi de retenir le périmètre le plus large, celui de l'aire d'étude éloignée.

Le bureau d'études reprend dans l'étude d'impact la méthodologie du maitre d'ouvrage qui suit les recommandations de l'Etat en matière du développement de l'énergie photovoltaïque au sol.

Cette méthodologie, consiste à prioriser les terrains dits dégradés tels que les anciennes carrières et les anciennes décharges ou les friches industrielles. C'est pourquoi, le bureau d'études analyse les sites répertoriés sur les bases de données industrielles (ICPE, BASIAS et BASOL) comme précisé à la page 132 de l'étude d'impact et la liste CEREMA-TECSOL (p.61 de l'étude préalable agricole VI. Séquence ERC) pour le photovoltaïque. Enfin, l'Etat encourage également le développement de l'agrivoltaïsme, couplage entre une production agricole et une production photovoltaïque, solution incontournable pour atteindre les objectifs fixés.

Le recensement des zones considérés comme « dégradés » dans l'aire d'étude éloignée du projet a abouti à l'identification de trois sites répertoriés dans la base de donnée BASIAS (sites industriels) mais aucun n'est compatible avec la réalisation d'un projet. Vous trouverez ci-dessous la liste des sites répertoriés. Les sites potentiellement intéressants, comme la carrière des « Sablières de Saint-Didier » sont encore en activité, et donc non disponibles pour un parc solaire. Le seul site dont l'activité est terminée est situé en plein centre-ville de la commune et ne correspond pas, de fait, aux critères de sélection.

| Référence | Etat du site | Raison sociale | Commune | Nom usuel | Activités |
|------------|-------------------|------------------|-----------------------|---------------------------------------|--|
| AUV0301300 | Activité terminée | Société SALDAT | SAINT-DIDIER-LA-FORET | Ancien stockage de produits chimiques | Stockage de produits chimiques (minéraux, organiques, notamment ceux qui ne sont pas associés à leur fabrication, ...) |
| AUV0301472 | En activité | Commune | SAINT-DIDIER-LA-FORET | Sablières de Saint-Didier | Exploitation de gravières et sablières, extraction d'argiles et de kaolin |
| AUV0301198 | En activité | Société Maussang | PARAY-SOUS-BRIAILLES | Scierie Maussang | Sciage, rabotage, imprégnation du bois ou application de vernis... |

Tableau 1 : sites dégradés dans l'aire d'étude éloignée recensés dans l'étude d'impact environnemental (page 132)

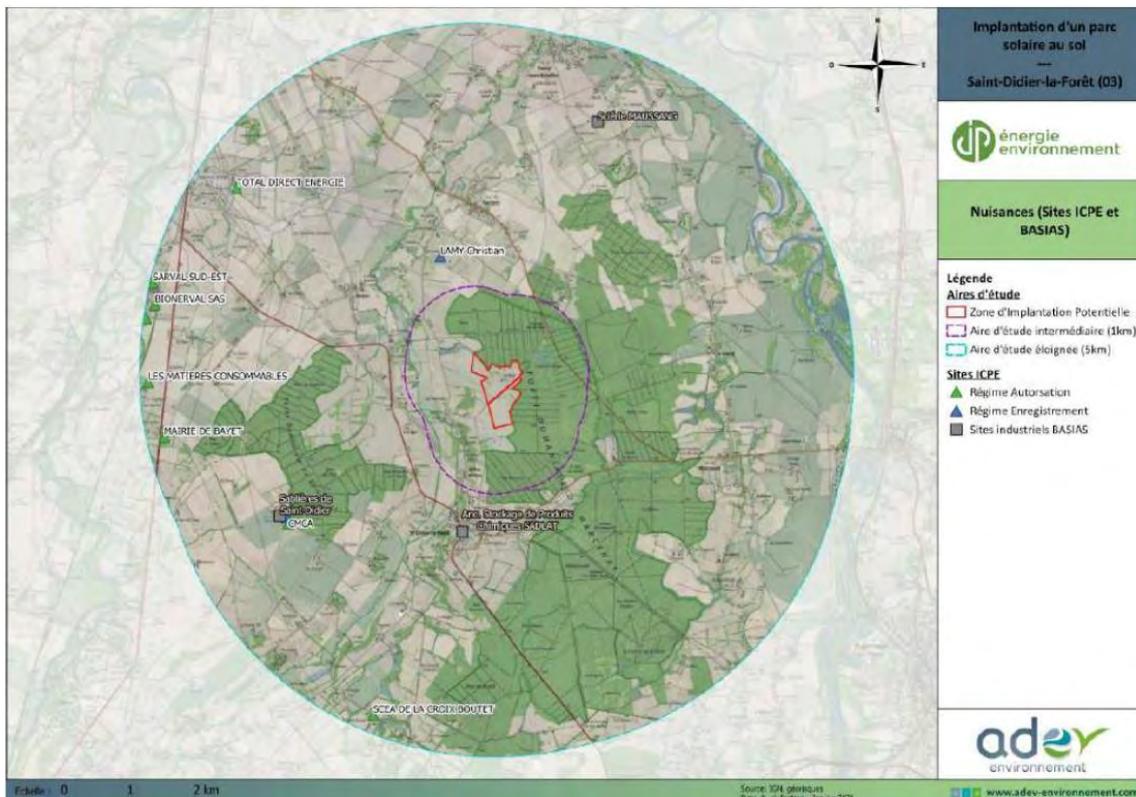


Figure 1 : Sites ICPE et BASIAS dans l'aire d'étude éloignée (ADEV Environnement, 2022)

L'étude préalable agricole a complété les propos de l'étude d'impact en validant l'absence de terrains dégradés compatibles avec un projet dans la liste CEREMA-TECSOL (Ministère de la Transition écologique, 2021) au sein de la Communauté de Communes Saint-Pourçain-sur-Sioule Limagne.

Le site de « Les Baux » a donc été sélectionné par le porteur de projet comme étant un site de qualité, qui fait consensus sur l'ensemble des critères de sélection offrant ainsi le meilleur compromis entre les enjeux environnementaux, agricoles et paysagers notamment, et n'ayant pas d'alternative de site dégradé disponible à proximité. Le choix s'est porté sur des prairies permanentes afin d'éviter de prélever des parcelles entrant dans une rotation. Ces parcelles

sont compatibles avec les conditions de l'Appel d'Offres « centrales au sol » de la Commission de Régulation de l'Énergie en charge du soutien au développement des énergies renouvelables. De plus les terrains disposent d'un ensoleillement satisfaisant, d'une topographie favorable, et ils sont localisés à proximité d'un poste source disposant d'une capacité suffisante pour le raccordement.

- La deuxième partie de la réponse aux observations du commissaire enquêteur sur le choix du site d'implantation implique de justifier de la nécessité et du besoin de l'installation et de démontrer sa cohérence avec les documents d'urbanisme en vigueur.

La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte et la loi n°2019-1147 du 8 novembre 2019 relative à l'énergie et au climat fixent la neutralité carbone à l'horizon 2050. Le 10 février 2022, le chef de l'Etat a d'ailleurs annoncé vouloir dépasser un objectif de 100 GW de capacité photovoltaïque installée en France d'ici à 2050 en développant notamment l'agrivoltaïsme. Pour autant, les statistiques du Ministère de la Transition Ecologique indiquent que la puissance du parc solaire photovoltaïque atteint 15,8 GW à la fin du troisième trimestre 2022. L'atteinte des objectifs de l'Etat implique donc un effort conséquent dans le développement de ce type d'installation sur le territoire.

Pour la Région Auvergne-Rhône-Alpes, le SRADDET prévoit dans son Rapport d'Objectifs, d'atteindre 3 000 MWc de capacité photovoltaïque en 2023, 6 500 MWc en 2030 et 13 000 MWc en 2050. La puissance du parc solaire photovoltaïque de la Région est aujourd'hui estimé à 1766 MWc. Pour atteindre les objectifs du SRADDET, il faudrait donc multiplier par 2 la capacité installée en 2 ans, et par un peu plus de 4 en 8 ans, soit un rythme sans commune mesure avec les évolutions interannuelles constatées (+289 Mwc entre 2020 et 2021).

Les crises énergétiques et climatiques auxquelles nous faisons face résultent en premier lieu de notre dépendance aux énergies fossiles importées. Il est donc indispensable d'accélérer massivement le développement des énergies renouvelables afin de reconstruire notre souveraineté énergétique et de limiter le dérèglement climatique et ses conséquences. Le retard que connaît aujourd'hui la France dans le déploiement des moyens de production d'énergies renouvelables a impulsé la création d'un projet de loi visant à accélérer le processus de transition énergétique. Dans la continuité, récemment, une circulaire du gouvernement en date du 16 septembre 2022 encourage les préfets à accélérer le développement des projets d'énergie renouvelable, pour atteindre nos objectifs établis dans la PPE, rappelant que « La France ne peut plus être le seul pays de l'Union européenne à ne pas atteindre son objectif national contraignant de développement des énergies renouvelables ».

Le déploiement important de nouvelles installations implique de solliciter tout le potentiel de notre pays, ce en quoi l'agrivoltaïsme apporte une réponse en permettant de concilier l'agriculture au changement climatique et à la production d'énergie renouvelable. Le projet envisagé sur la commune de Saint-Didier-la-Forêt permet de développer une activité agricole

significative, tout en préservant et valorisant l'intérêt agronomique, biologique, économique du site. Pour rappel, le projet agrivoltaïque au sol n'entraîne aucune modification du caractère naturel du site. Les opérations d'aménagement du terrain n'engendrent pas d'imperméabilisation des sols (à l'exception très marginale des postes électriques). De plus, les panneaux sont disjoints et permettent à l'eau de s'écouler vers le sol végétalisé. Il n'y a pas non plus de terrassement, de décaissement ou de transfert de terres, le sol conserve sa structure et ses propriétés physico-chimiques. Il n'y a pas non plus de défrichage ni de retournement du sol : la capacité du sol à stocker du carbone reste donc intacte. Enfin, l'installation photovoltaïque au sol est totalement démontable en fin de vie.

En outre, le caractère agrivoltaïque du projet rend nécessaire de le réaliser sur des parcelles pouvant accueillir une activité agricole, en dehors des zones constructibles. Le projet répond à la satisfaction d'un besoin collectif par la production d'électricité verte vendue au public, selon les critères définies par la jurisprudence administrative, et est par conséquent compatible avec les documents d'urbanisme en vigueur sous les conditions exprimées dans la carte communale. À titre d'illustration, la Cour administrative de Nantes a reconnu dans une affaire d'implantation en zone A que : « les panneaux photovoltaïques en cause, destinés à la production d'électricité, et contribuant ainsi à la satisfaction d'un intérêt public, doivent être regardés comme des installations nécessaires à un équipement collectif au sens des dispositions l'article L. 123-12 du code de l'urbanisme » (CAA de Nantes, 23 octobre 2015, n° 14NT00587). »

2) Sur l'évolution de l'activité d'élevage bovin en activité d'élevage ovin

- La réponse aux observations du commissaire enquêteur sur l'évolution de l'activité agricole nécessite de reprendre les éléments permettant de justifier de la qualité de l'herbe sous panneaux et ainsi la viabilité de l'activité de pâturage ovin.

Le projet a été pensé autour des besoins spécifiques de l'atelier d'élevage ovin en prenant comme cadre technique le guide de l'Institut de l'élevage sur les bonnes pratiques à adopter pour la gestion prairiale et animale sous panneaux. Le chargement prévu correspond environ à 1 UGB/ha, ce qui est un chargement tout à fait raisonnable dans les systèmes allaitants du département et, d'après la littérature, également adaptée au pâturage sous panneaux photovoltaïque en système herbager (ENCIS Environnement 2020; Quattrolibri 2009). De plus, une aide financière de la part du porteur de projet est prévue pour la transition afin de permettre l'achat de fourrage à l'éleveur lors de la phase de chantier où les parcelles ne seront pas exploitables.

Dans l'Allier, à Braize, l'INRAE conduit avec JP Energie Environnement une étude sur la pousse de l'herbe au sein des centrales photovoltaïques. Les résultats indiquent notamment (page 33 de l'étude en annexe) : Une croissance de la végétation plus importante à l'abri des panneaux sauf en période d'arrêt de la croissance lié au climat. Une reprise plus précoce et plus rapide de

la croissance du couvert végétal sous les panneaux au début du printemps. Celle-ci est également prolongée d'un mois en automne sous les panneaux. Les panneaux permettent également de protéger la végétation et une meilleure productivité durant des événements de sécheresse.

La carte schématique des sols de l'allier indique que la composition argileuse des sols sur projet les rendent séchant en été du fait de l'horizon sableux superficiel, mais aussi sensibles à l'excès d'eau en période hivernale. Sur ce type de sol, la protection contre l'évapotranspiration apportée par les panneaux photovoltaïques, mise en avant dans l'étude INRAE, est bénéfique à la production de biomasse pâturable.

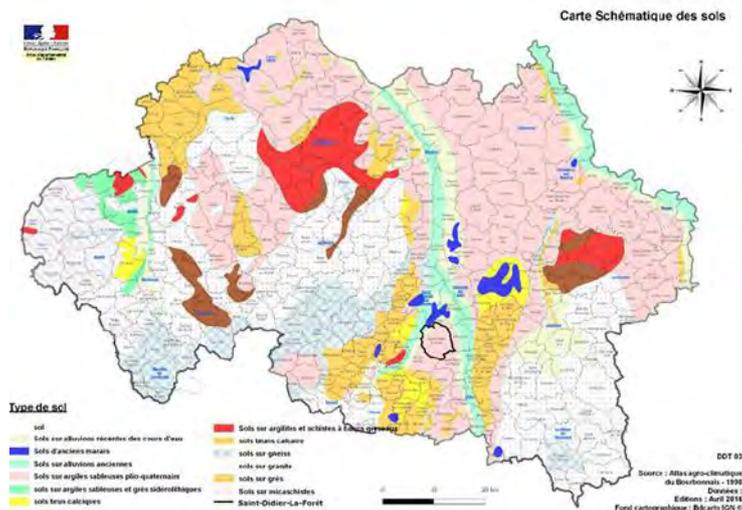


Figure 2 : carte schématique des sols de l'allier (source DDT 03, Atlas agro-climatique du Bourbonnais)

Plusieurs travaux de recherche démontrent aussi l'intérêt de la présence des panneaux pour la diminution des besoins hydriques des plantes¹ et des animaux, et les retours d'expériences de nombreux parcs solaires et d'éleveurs démontrent l'absence d'impact négatif sur la productivité animale². Dans le contexte du changement climatique en cours, l'installation photovoltaïque peut donc améliorer la situation agricole (exploitant et filière) et participer au bien-être des animaux (protection contre les canicules).

3) Sur le raccordement de l'installation projetée au réseau de distribution électrique

¹ Voir par exemple les travaux des équipes INRAE de Montpellier, ou Beaty et. Al (UK)

² <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2021.659175/full>

- La réponse aux observations du commissaire enquêteur nécessite de rappeler ici la procédure imposée aux maitres d'ouvrage pour le raccordement des parcs solaires.

Les données fournies au public par le gestionnaire de réseau nous permette d'affirmer qu'il y a aujourd'hui une capacité d'accueil suffisante au poste source de Bayet pour raccorder la centrale³. En revanche aucune démarche ne nous permet de sécuriser le raccordement de la centrale solaire à ce stade du projet. La procédure en vigueur prévoit l'étude détaillée par ENEDIS du raccordement une fois le permis de construire obtenu. Le tracé définitif du câble de raccordement ne sera connu qu'une fois cette étude réalisée. Les résultats de cette étude définissent de manière précise la solution et les modalités de raccordement. Cet ouvrage de raccordement, qui sera intégré au Réseau de Distribution fera l'objet d'une demande d'autorisation selon la procédure définie par l'Article 50 du Décret n°75/781 du 14 août 1975 modifiant le Décret du 29 juillet 1927 pris pour application de la Loi du 15 juin 1906 sur la distribution d'énergie. Cette autorisation sera demandée par le Gestionnaire du Réseau de Distribution (ENEDIS) qui réalisera les travaux de raccordement du parc photovoltaïque. Le financement de ces travaux reste à la charge du maître d'ouvrage de la centrale solaire. Le raccordement final est sous la responsabilité d'Enedis. Le raccordement au réseau électrique national sera réalisé sous une tension de 20 000 Volts depuis le poste de livraison de la centrale photovoltaïque qui est l'interface entre le réseau public et le réseau propre aux installations. Les travaux de construction/aménagement des infrastructures à faire par Enedis démarrent généralement une fois que la Convention de Raccordement a été acceptée et signée par le producteur. Les nouvelles lignes électriques seront systématiquement enterrées par Enedis et suivront prioritairement la bordure de la voirie existante (concession publique). Un trajet hypothétique a été présenté dans le dossier.

4) Sur le diagnostic d'archéologie préventive

Un diagnostic d'archéologie préventive a été préconisé par les services de l'état et sera réalisé par les services archéologiques habilités avant le début des travaux. À l'issue de cette intervention sur site, soit le Maitre d'ouvrage est autorisé à entreprendre immédiatement les travaux, soit une fouille préalable est prescrite. La réalisation du diagnostic n'est pas un préalable à l'obtention d'un permis de construire.

5) Sur les éventuelles incidences fiscales de l'installation projetée pour le budget communal

L'IFER (Imposition forfaitaire des entreprises de réseaux) s'applique aux centrales de production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque dont la puissance est supérieure ou égale à 100 kilowatts. Le montant de cet impôt est de 3,254 € par kilowatt de puissance électrique installée

³ <https://www.capareseau.fr/>

au 1er janvier de l'année d'imposition, s'agissant des centrales photovoltaïques mises en service après le 1er janvier 2021. Pour le projet de Saint-Didier-la-Forêt, d'une puissance de 33,3 Mégawatt, le Maître d'ouvrage sera donc redevable de 108 358 € (33,3x3254) chaque année à partir de la mise en service de la centrale au titre de cet impôt. Ainsi, avec l'adoption définitive de la disposition permettant aux communes de pouvoir bénéficier d'une part garantie des recettes de l'IFER de 20 % à compter du 1er janvier 2023, la commune percevra donc chaque année 21 671€ (20% de 108 358€). Vous trouverez en annexe les mesures fiscales citées précédemment à l'article 9C du texte adopté à l'issue de la Commission Mixte Paritaire.

I. Observations du public sur le registre électronique

1) M. Bichonnet, le 17 novembre 2022

- L'opposition de principe de M. Bichonnet n'appelle pas de réponse de la part du Maître d'ouvrage.

2) Anonyme, le 19 novembre 2022

- Sur les prescriptions du SRADDET sur l'utilisation de terres agricoles pour ce type de projet.

Aucune prescription du SRADDET n'indique que les projets agrivoltaïques comme celui développé sur le site « Les Baux » ne peuvent être localisés en terre agricole ou naturelle. Nous indiquons aussi que la Loi Climat et Résilience⁴, publiée au Journal Officiel, précise que « un espace naturel ou agricole occupé par une installation de production d'énergie photovoltaïque n'est pas comptabilisé dans la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers dès lors que les modalités de cette installation permettent qu'elle n'affecte pas durablement les fonctions écologiques du sol, en particulier ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques ainsi que son potentiel agronomique et, le cas échéant, que l'installation n'est pas incompatible avec l'exercice d'une activité agricole ou pastorale sur le terrain sur lequel elle est implantée » (Art 194.5).

C'est précisément le cas de ce projet (voir le dossier d'étude d'impact), qui n'a pas fait l'objet d'une demande de compléments des services instructeurs sur ces points ; la jurisprudence ayant par ailleurs consacré l'absence de perte de potentiel agronomique pour des parcs photovoltaïques⁵.

⁴ <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000043956924>

⁵ CAA de BORDEAUX, 3ème chambre (formation à 3), 13/10/2015, 14BX01130 – nb : parc photovoltaïque de Levroux (36),

- Sur la viabilité de l'activité de pâturage ovin sous panneaux.

JPEE travaille depuis plusieurs années avec des éleveurs ovins en mettant à disposition ses parcs photovoltaïques au sol pour le pâturage. Le Maître d'Ouvrage rappelle les éléments mis en œuvre pour faciliter la conduite d'un troupeau ovin, comme indiqué dans la notice de demande de permis de construire :

- La hauteur des panneaux sera volontairement remontée de 40 cm à 80 cm.
- Le site sera entièrement clôturé, facilitant la gestion du troupeau et améliorant sa sécurité, notamment contre les attaques de loups ;
- L'espace entre les rangées de panneaux a été élargi à 3,5 m au minimum pour faciliter le passage des engins agricoles ;
- Le câblage électrique sera adapté à la présence d'ovins (mise en place de fixations à l'arrière des panneaux pour éviter que des câbles pendent, enterrement des câbles à la sortie de onduleurs).
- Un réseau de chemin permettra à l'exploitant de circuler facilement sur le site ;
- La compartimentation du parc en paddocks permettra de faciliter la rotation de pâturage.

De plus, des aménagements spécifiques aux besoins de l'exploitant sont prévus :

- La création d'une bergerie et d'un bâtiment de stockage, d'une superficie de 600m² chacun ;
- Le financement d'un tracteur et d'un broyeur adapté pour la gestion de la prairie
- Une aide financière pour l'achat de fourrage à l'éleveur pendant la phase chantier

Le Maître d'ouvrage rappelle que des instituts techniques agricoles, et en particulier l'Institut de l'Élevage, ont étudié les synergies possibles entre présence de panneaux photovoltaïques et de pâturage ovin, en partenariat avec la Fédération Nationale Ovine. Dans ce guide, l'IDEELE liste les avantages recensés:

- Pour l'éleveur : réduction de la charge de travail et/ou coût de main d'œuvre lié à la garde du troupeau ; diversification et la sécurisation des revenus dans le contexte d'une filière en difficulté. L'IDEELE y précise que « 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).
- Pour le troupeau : abri en cas de fortes chaleurs, de vent froid ou d'intempéries. Les clôtures des centrales, hautes, offrent également une protection intéressante du troupeau contre les prédateurs.
- Pour la ressource fourragère : les panneaux semblent offrir un ombrage favorable à la production d'herbe, notamment en conditions de fortes chaleurs ou pour éviter les gelées [...], 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.

Les avantages zootechniques (abris pour les animaux) et agronomiques (protection de la pousse de l'herbe en période de canicule) recensés par l'IDELE correspondent aussi aux retours d'expérience (détaillés précédemment) de JPee sur ses propres centrales.

De plus, l'étude économique jointe à l'étude préalable agricole montre les bénéfices attendus pour l'exploitation ainsi que pour la filière agricole locale : « Le projet agrivoltaïque est donc intéressant pour l'exploitation : l'augmentation des produits d'élevages et des primes permet de compenser l'augmentation des charges opérationnelles et de dégager un EBE plus important. En raison de l'augmentation des produits d'élevage, le bénéfice ne se situe pas qu'au niveau de l'exploitation mais également pour les autres acteurs de la filière qui interagissent avec l'exploitation » (p.69 de l'étude préalable agricole).

A la lecture des différentes études fournies, le Maître d'ouvrage démontre la réelle compatibilité du projet avec la garantie d'une activité agricole pérenne.

- Sur l'étude du raccordement jugée insuffisante.

La réponse à cette contribution est donnée lors de la réponse à l'observation n°3 du commissaire enquêteur.

- Sur la gestion de la fin de vie des panneaux et remise en état du site.

La réponse à cette contribution est donnée lors de la réponse à l'observation n°6 effectuée sur le registre électronique le 23 novembre.

3) M. Rollin, le 21 novembre

Le secteur photovoltaïque est particulièrement porteur en termes de création d'emplois (75 000 emplois en Europe) et de richesses au niveau local. Le secteur investit massivement dans la recherche et l'innovation technologique et génère dans une très large mesure de l'emploi qualifié et de bonne qualité. De plus, la structure décentralisée du secteur photovoltaïque et des énergies renouvelables permet la création d'emplois dans les zones moins industrialisées.

La Plateforme Européenne pour la Technologie Photovoltaïque (European Photovoltaic Technology Platform) estime que l'industrie photovoltaïque peut potentiellement créer plus de 200 000 emplois dans l'Union Européenne de 2019 à 2020 et dix fois plus à l'échelle mondiale. Comme le souligne M. Gérard Rollin (Colas France), en phase de construction ce projet de parc photovoltaïque entraîne la pérennisation ou la création d'emplois dans les entreprises amenées à travailler sur le chantier, mais également chez JPee. Cette construction permettra de faire

travailler les entreprises locales à régionales qui générera une activité sur une période d'une durée comprise entre 6 à 9 mois. Ainsi, durant cette période, sur l'ensemble des lots (dont les travaux publics), une cinquantaine de personnes travailleront sur le site. La maintenance de la centrale pourra générer, quant à elle, un emploi local durant toute la durée d'exploitation du parc (30 ans minimum).

Le projet contribuera donc également directement aux emplois de la structure JPEE, société française, basée à Saint-Contest (14). Ces créations d'emploi se situent aussi bien au niveau de la phase de développement qu'au niveau de la phase d'exploitation/maintenance.

Le chantier générera également des retombées économiques sur les secteurs de l'hôtellerie, de la restauration, des bureaux d'études, notaires, géomètres, etc., qui se traduisent par la création ou la pérennisation d'emplois.

4) Mme. Buard au nom de l'Office National des Forêts, le 22 novembre

- Sur la prévention du risque incendie

Le Maître d'ouvrage a consulté le service départemental d'incendie et de secours (SDIS) en amont du projet afin de prendre connaissance des mesures de prévention du risque incendie et des aménagements à prévoir pour faciliter l'intervention des secours sur site. Ces préconisations, reçu le 7 mars 2022 (mail en annexe), ont été appliquées à la réalisation du plan de l'installation. Ni le SDIS, ni la DDT dans le cadre de l'instruction du permis de construire ne font état d'une bande tampon de 70 mètres à respecter entre la forêt domaniale et l'installation. Quoiqu'il en soit, le Maître d'ouvrage engage sa responsabilité à ce que la végétation à l'intérieur du site soit maintenue en état, grâce notamment à l'activité de pâturage ovin mais aussi à l'entretien des haies en pourtour du site.

5) Anonyme ; le 22 novembre

- Sur la perte de production agricole engendrée par la diversification de l'activité de l'exploitant.

La réponse à cette contribution est donnée lors de la réponse à l'observation n°2 du commissaire enquêteur et à celle effectuée sur le registre électronique le 19 novembre.

6) Anonyme, le 23 novembre

- Sur la disparition de l'activité agricole

La réponse à cette contribution est donnée lors de la réponse à l'observation n°2 du commissaire enquêteur et à celle effectuée sur le registre électronique le 19 novembre.

➤ Sur l'impact paysager du projet

Le site du projet s'insère dans des paysages fermés boisés et dispose d'une topographie plane ne permettant aucune perception lointaine. L'impact paysager potentiel concerne une zone limitée, essentiellement lié aux vues proches. Comme indiqué dans le dossier de demande de permis de construire, le pétitionnaire s'est engagé à planter des haies d'une hauteur de 2 à 3 mètres constituées d'essences locales aux endroits où il est susceptible d'observer une visibilité avec la centrale. Le propriétaire de l'unique habitation située au lieu-dit « les Baux » a mis à disposition son terrain pour le projet (et en conservera une partie à usage privé). Les mesures paysagères ont été élaborées afin de limiter les vues sur le parc. L'analyse des photomontages (p223 et suivantes de l'étude d'impact), indique que les impacts résiduels vont de faibles (à proximité du parc) à nuls (photomontage n°4).

➤ Sur la création d'emploi

La réponse à cette contribution est donnée lors de la réponse à l'observation n°6 effectuée sur le registre électronique le 23 novembre.

➤ Sur l'origine des équipements.

Les fabricants de panneaux sollicités par le Maître d'ouvrage sont soit européens soit américain, ce qui constitue la moitié de la valeur de l'installation. Nous nous fournissons également chez des fabricants européens pour les structures et les onduleurs.

➤ Sur le recyclage des panneaux et financement du démantèlement.

Un panneau solaire est composé à 75% de verre, une matière recyclable à l'infini, tout comme l'aluminium qui compose son cadre. Le silicium est également récupéré afin d'être réutilisé. Nous sommes soumis à la Directive sur les Déchets Electroniques (D3E), écotaxe payée à l'achat des panneaux. 90 à 97% du panneau se recycle. La phase de recyclage est gérée par Soren, éco-organisme agréé par les Pouvoirs Publics.

Le pétitionnaire s'est engagé à démanteler l'installation et à restituer le terrain à son état d'origine. Un huissier sera sollicité pour constater l'état des terrains avant la phase travaux.

II. Observations du public lors des permanences en mairie du commissaire – enquêteur

1) M. Fournier, le vendredi 25 novembre

- Sur les nuisances potentielles sur la santé humaine et animale des champs magnétiques créés par les panneaux et par les câbles de raccordement au réseau public de distribution.

Le rayonnement électromagnétique des centrales photovoltaïques est comparable à celui de certains appareils communément présents dans nos habitations, à une tension et intensité couramment rencontrée. Les rayonnements qu'elle dégage sont bien en deçà des recommandations à respecter pour éviter un impact sur la santé, il n'y a donc aucun risque spécifique d'autant plus qu'elle se situe à 150 mètres de l'installation de M. Fournier.

Arthur LOPEZ-DERRE
Chef de projets photovoltaïques
JP ENERGIE ENVIRONNEMENT

Pour le compte de la SOLEIA BAU



Annexes

1. Dynamique végétale sous l'influence de panneaux photovoltaïques sur deux sites prairiaux pâturés. Etude des effets de juillet 2020 à juin 2021. Synthèse des travaux, INRAE-Photosol-JPee, Février 2022.
2. PROJET DE LOI de finances rectificative pour 2022, TEXTE ÉLABORÉ PAR LA COMMISSION MIXTE PARITAIRE, 22 novembre 2022.
3. L'agrivoltaïsme appliqué à l'élevage des ruminants, Institut de l'élevage, IDELE, septembre 2021.



HAL
open science

Synthèse de la dynamique végétale sous l'influence de panneaux photovoltaïques et du pâturage sur deux sites prairiaux pâturés. Etude des effets sur une période annuelle.

Loan Madej, Luc Michaud, Cyrille Bouhier de L'Ecluse, Christophe Cogny, Marilyn Roncoroni, David Colosse, Robert Falcimagne, Sophie Jacquot, Catherine Picon-Cochard

► To cite this version:

Loan Madej, Luc Michaud, Cyrille Bouhier de L'Ecluse, Christophe Cogny, Marilyn Roncoroni, et al.. Synthèse de la dynamique végétale sous l'influence de panneaux photovoltaïques et du pâturage sur deux sites prairiaux pâturés. Etude des effets sur une période annuelle.. [Rapport de recherche] INRAE. 2022. hal-03592786

HAL Id: hal-03592786

<https://hal.inrae.fr/hal-03592786>

Submitted on 1 Mar 2022

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

Public Domain

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

Dynamique végétale sous l'influence de panneaux photovoltaïques sur deux sites prairiaux pâturés.

Etude des effets de juillet 2020 à juin 2021

Synthèse des travaux

INRAE-Photosol-JPee



Madej Loan¹, Michaud Luc¹, Colosse David¹, Falcimagne Robert¹, Roncoroni Marilyn¹, Cogny Christophe³, Jacquot Sophie², Bouhier de l'Ecluse Cyrille², Picon-Cochard Catherine¹

¹ INRAE, VetAgro Sup, UREP, 63000 Clermont-Ferrand, France

² PhotoSol, 75008 Paris, France

³ JPee, 44200 Nantes, France

Février 2022



Sommaire

| | |
|--|----|
| Contexte | 2 |
| Objectifs | 3 |
| Méthodes | 3 |
| Conclusions Principales | 4 |
| Synthèse de l'influence de la présence des panneaux solaires sur la dynamique prairiale en fonction des saisons | 7 |
| Milieu d'été - Effet de la sécheresse | 7 |
| De la sécheresse au début d'automne – Regain de la végétation | 11 |
| Fin de l'hiver – Arrêt de la croissance | 15 |
| Début du printemps – Reprise de la croissance | 18 |
| Fin du printemps – Période de pleine croissance | 22 |
| Une année de cumul de biomasse de repousse | 25 |
| La qualité du fourrage au cours de l'année | 26 |
| Impact des ovins et comportement | 30 |
| Botanique et diversité spécifique | 30 |
| Rappel des effets marquants | 33 |
| A surveiller | 33 |
| Références | 34 |
| Remerciements | 34 |

Contexte

En France, le nombre de centrales solaires au sol, s'étendant sur plusieurs hectares, a considérablement augmenté ces dernières années. Les objectifs politiques pour la Transition Énergétique appellent à une multiplication par quatre de la production photovoltaïque d'ici à 2028. Cela passe par le déploiement à une échelle importante de centrales implantées sur des grandes surfaces, notamment sur des terrains identifiés comme agricoles.

Actuellement, plusieurs centrales solaires sont mises à disposition d'éleveurs ovins pour une valorisation de l'herbe par pâturage. Des observations de terrain laissent penser que les panneaux ont un effet bénéfique sur la pousse de l'herbe en cas de fortes chaleurs et/ou de sécheresses. Toutefois, les éventuels effets sur l'ensemble des saisons et les effets à plus long terme sont encore peu caractérisés scientifiquement.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement des prairies en place sur les centrales solaires, JPee et Photosol, deux producteurs indépendants d'électricité renouvelable, ont noué un partenariat avec INRAE, spécifiquement avec l'Unité Mixte de recherche sur l'Ecosystème Prairial (UREP) de Clermont-Ferrand.

Un premier rapport a été publié en octobre 2020 (Madej, 2020) qui permettait de montrer les bénéfices de l'effet d'ombrage dû aux panneaux sur la pousse de l'herbe durant l'été 2020, et

notamment en période de sécheresse. Ce nouveau rapport vise à reprendre ces résultats et à y intégrer ceux obtenus sur une année complète de juin 2020 à juin 2021.

Objectifs

Les objectifs de cette étude étaient d'évaluer les effets de la présence des panneaux solaires sur la pousse de l'herbe (quantité et qualité) et le microclimat dans un système pâturé dédié aux ovins. Cela passe par l'étude des déterminants abiotiques (quantité de lumière, température et humidité du sol) et biotiques (espèces présentes, taux de recouvrement de la végétation) de la pousse de l'herbe. Deux sites ont été suivis, un en plaine (+ 235 m) à Braize dans l'Allier provenant d'une reconversion après l'abandon d'une pépinière (géré par JPee et construit en 2018) et un en moyenne montagne (+ 840 m) à Marmanhac dans le Cantal provenant d'une prairie permanente (géré par Photosol et construit en 2013) (Tableau 1).

Méthodes

Entre juillet 2020 et juin 2021, des mesures *in situ* ont été réalisées sur des zones d'échantillonnage protégées du pâturage des ovins (en exclos) et installées dans différents traitements : sous panneaux solaires (P), en inter-rangées (I) et en pleine lumière, espacé des panneaux (contrôle : C). Des capteurs ont été installés sur place à raison de trois transects par traitement pour mesurer les variations du microclimat aérien (rayonnement, pluviométrie) et souterrain (température et d'humidité du sol) et connectés à des stations météo, afin d'évaluer les conséquences sur la végétation et le sol (Illustration 1).

En parallèle, un suivi de la végétation a été réalisé autour des transects de sondes tout en simulant la défoliation par les ovins (coupe de la végétation à 5 cm de hauteur sur des quadrats de 0.25 m²) avec des mesures hebdomadaires de hauteur d'herbe mesurée à l'aide d'un herbomètre, de l'état de verdissement de la végétation (NDVI) mesuré avec un appareil portable (GreenSeeker, Trimble®) pour déterminer la dynamique de l'état de la végétation. La végétation a été coupée à 5 cm de haut pour mesurer la biomasse produite après un mois de repousse (séchage en étuve à 60°C pendant 48h). La qualité du fourrage a été estimée par des mesures de fibres totales (NDF), d'azote total (N) et carbone total (C), mesurés au laboratoire.

Cependant, les quadrats n'ont pas été coupés entre le 15 octobre et le 5 mars pour éviter « d'épuiser » la végétation face aux climats automnal et hivernal à venir. C'est cohérent avec la sortie des animaux des parcelles. Les valeurs entre ces dates correspondent donc à un écart de temps d'environ un mois pour avoir tout de même un suivi pendant la période automnale et hivernale. De plus, aucun suivi a été réalisé en décembre et janvier, ce qui explique que le mois de janvier n'apparaît pas dans les analyses.

Des mesures similaires (NDVI, biomasse, qualité) ont également été réalisées en dehors des exclos sur plusieurs zones dans les parcs et toujours dans les trois modalités : panneaux, inter-rang et contrôle.

L'ensemble de ces données a ensuite été traité par des analyses statistiques avec le logiciel R (v 4.1.2).

Tableau 1 : Description des sites étudiés

| Site | Mise en service | Système | Superficie du parc étudié | Largeur des tables de panneaux (incliné 25°) | Largeur des inter-rangées | Hauteur min des panneaux | Hauteur max des panneaux | Espacement sonde P | Espacement sonde I | Espacement sonde C | Sol |
|----------------|-----------------|----------------|---------------------------|--|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------|
| Braize (03) | 01/10/2018 | Fixe bipieux | 14.72 ha | 3.5 m | 4 m | + 0.70 m | + 3 m | 0.875 m | 1 m | 0.92 m | Sable limoneux |
| Marmanhac (15) | 27/01/2014 | Fixe monopieux | 12.89 ha | 2.9 m | 1.85 m | + 0.80 m | + 2.1 m | 0.725 m | 0.46 m | 0.59 m | Limon argileux sableux |

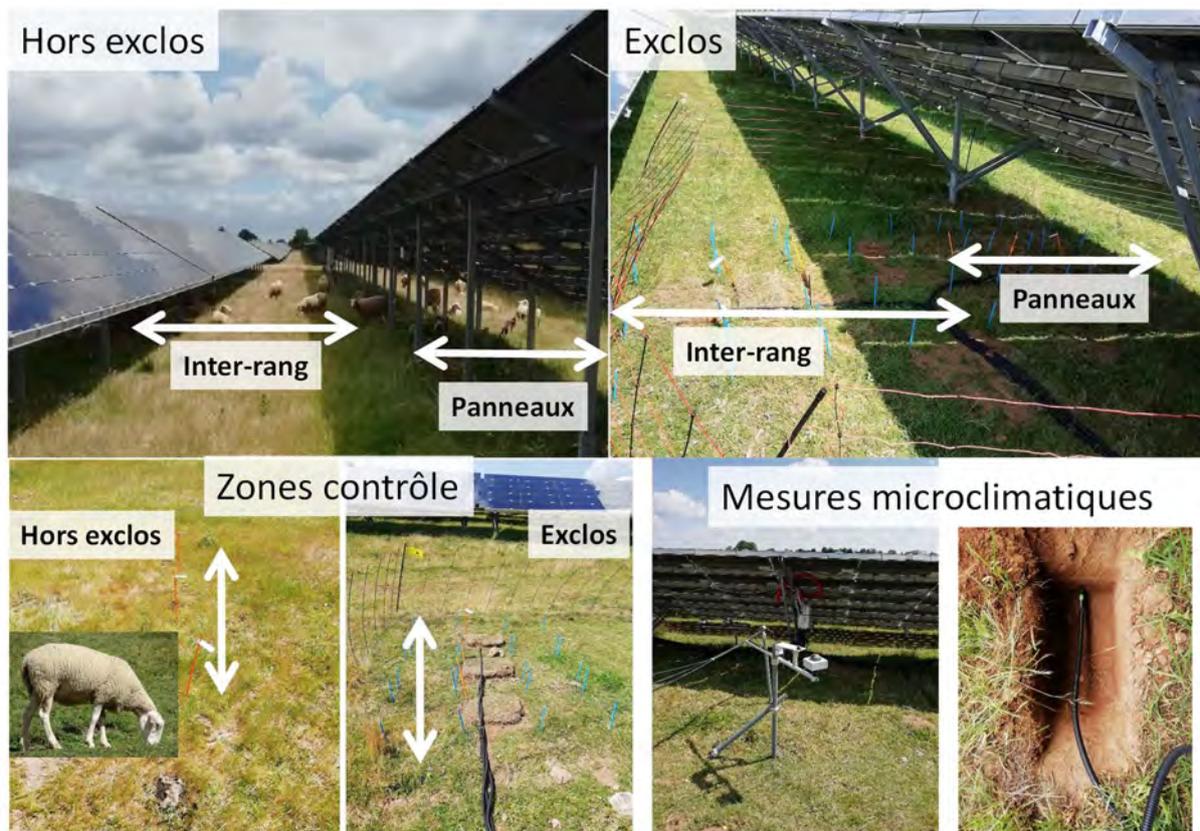


Illustration 1 : Schéma montrant les différentes modalités investiguées pour suivre la pousse de l'herbe et le microclimat aérien et souterrain (en bas à droite, vue de la mini-fosse montrant un capteur d'humidité et de température).

Les périodes suivies sont précisées ci-dessous :

| | | | | | | | | | | |
|----------|---------|----------|---------|---------|--------|---------|--------|-----------|-------|--------|
| 16-juil. | 13-août | 14-sept. | 15-oct. | 13-nov. | 3-déc. | 4-févr. | 5-mars | 1-avr. | 3-mai | 1-juin |
| Été | | | Automne | | | Hiver | | Printemps | | |

Conclusions Principales

Le cumul de la quantité de biomasse produite, sans pâturage, après les huit prélèvements, sur les deux sites, mesurée en contrôle, est intermédiaire aux deux autres traitements (Figure 1). Ainsi, la productivité fourragère à l'année ne semble pas pénalisée dans les zones d'influence des panneaux (sous panneaux et inter-rangées) durant l'année 2020/2021. Toutefois, la production de biomasse présente des variations saisonnières.

La qualité du fourrage produit, en exclos, possède une teneur en azote total mais aussi en fibres totales plus élevée sous les panneaux qu'en pleine lumière. La réponse dans le parc peut présenter des différences avec l'exclos, notamment de l'été à la fin de l'hiver, puisque la végétation n'est pas coupée au même endroit chaque mois. Effectivement, la réponse observée en exclos est un potentiel de la végétation essentiellement constitué de tissus verts et jeunes alors que celle du parc provient d'une végétation à un stade phénologique différent et avec une histoire plus ancienne venant des saisons précédentes et du pâturage.

On peut ainsi conclure de cette première année que dans les parcs photovoltaïques, les modifications importantes du microclimat de la végétation induisent une diversité élevée de la quantité et de la qualité du fourrage qu'offrent peu ou pas les prairies sans ombrage.

- **Conclusions sur la quantité de biomasse :**

En faisant le cumul de la quantité de biomasse produite, sur l'année 2020/2021, sans pâturage, après les huit prélèvements, la biomasse sur les deux sites en contrôle sans influence des panneaux solaires est intermédiaire aux deux autres traitements présentant une influence de la présence des panneaux (Figure 1). Cependant, entre le cumul sous les panneaux et le cumul en inter-rangée, la réponse est variable entre les sites. Effectivement, sur Braize, le cumul de biomasse sous les panneaux est 1.5 fois plus important qu'en inter-rangée alors qu'il est 1.3 fois plus faible sur Marmanhac. Néanmoins, en prenant en compte la moyenne des zones avec influence des panneaux solaires et la zone sans influence, le cumul moyen sur les huit prélèvements ne présente plus de différences. L'influence des panneaux sur les deux zones sous panneaux et en inter-rangée se compense donc. Le cumul de biomasse de repousse en contrôle atteint 1.67 t/ha sur Braize et 1.74 t/ha sur Marmanhac et est en moyenne en panneaux et inter-rangée à 1.60 t/ha sur Braize et 1.78 t/ha sur Marmanhac.

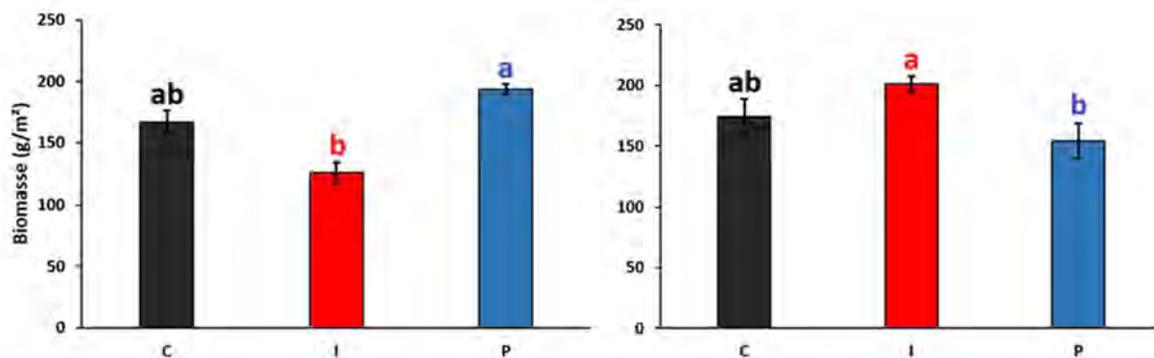


Figure 1 : Cumul de biomasse ($g\ m^{-2}$) mesurée de juillet 2020 à juin 2021, après huit coupes, en exclos, et pour chaque traitement, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA et un test post-hoc de Tukey ; NS : $P > 0.05$. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

La production de biomasse, en exclos sans pâturage (Figure 6), est cependant variable en fonction des saisons entre les différents traitements. La croissance en hauteur de la végétation est favorisée sous les panneaux (Figure 4). Néanmoins, à terme sous les panneaux, la présence plus importante de sol nu et les contraintes liées à l'ombrage, contrebalancent cet avantage en égalisant la quantité annuelle de biomasse produite. En présence de mouton, le stock de fourrage (Figure 8) mesuré en plein soleil et sous les panneaux ne montrent quasiment jamais de différences. Le potentiel de croissance de la végétation à l'ombre des panneaux peut être compensé par les perturbations ovines tel que le piétinement par exemple. Cependant, une forte variabilité du stock de biomasse en plein soleil a aussi pu masquer des différences.

- **Conclusions principales sur le microclimat :**

Il est observé un microclimat différent et une évolution différente au cours de l'année entre les différentes zones.

Concernant la température du sol (Figure 2) : Sur les deux sites, la présence des panneaux présente le même effet sur la température du sol. Il fait plus frais en période estivale sous les panneaux (différences avec la zone de contrôle de 5.3°C sur le site de Braize et de 3.8°C sur le site de Marmanhac) ; puis les températures chutent en automne-hiver avec les températures en inter-rangée qui sont légèrement plus froides. En début de printemps, les températures réaugmentent plus vite en zones ensoleillées en gardant un écart sous les panneaux qui est plus frais.

Concernant l'humidité du sol (Figure 3) : La réponse de l'humidité du sol en fonction de la présence des panneaux solaires est différente entre les deux sites. Sur Braize, le couvert des panneaux ne montre pas d'avantage en lien avec l'humidité du sol en période estivale, au contraire, les panneaux semblent limiter la ré-humectation du sol en période de pluie. A l'opposé, sur Marmanhac, le couvert des panneaux semble limiter la perte en eau lors de sécheresses durant la période estivale. Cependant, la nature du sol et l'infrastructure sont différentes entre les deux sites. Le sol de Braize a une texture sableuse tandis que le site de Marmanhac est plutôt de type limono-sableux. Cela explique que le taux d'humidité est faible sur Braize car l'eau s'infiltrerait rapidement et la réserve en eau est faible. De plus, plus la largeur des panneaux est grande (comme sur Braize), plus la surface ne recevant pas de pluie est importante. La pluie est emmenée du côté le plus bas des panneaux, même si les panneaux présentent des interstices. De ceux-ci, la pluie ruisselle sur l'infrastructure et tombe très localement sous les panneaux. A l'opposé, sur Marmanhac, avec des largeurs de tables de panneaux petites, la proportion de « frontière » entre sous panneaux et inter-rangée pour l'infiltration de l'eau de l'inter-rangée vers sous panneaux est plus importante permettant une meilleure homogénéisation de l'humidité du sol.

- **Conclusion sur la croissance en hauteur de l'herbe :**

Sur les deux sites, en absence des ovins, la croissance potentielle est 2.9 à 6.4 fois plus grande en période estivale sous les panneaux solaires comparée à la zone sans influence des panneaux (contrôle). Les conditions météorologiques estivales, avec un rayonnement intense et une humidité du sol faible, provoquent un arrêt de la croissance conduisant à un dessèchement de la végétation en zones contrôle et inter-rang comparé à la végétation à l'ombre des panneaux (Illustration 2). En zone de plaine, cet effet positif de la croissance se poursuit jusqu'au milieu de l'automne en étant 5.1 fois plus grande, tandis qu'en zone de moyenne montagne, la croissance de l'herbe est fortement ralentie dès la fin de l'été par les températures fraîches.

Après un arrêt de croissance en hiver sur les deux sites, la croissance reprend plus précocement et dès le début du printemps, sous les panneaux, mais de façon 2.8 fois plus rapide sur le site de Braize que sur le site de Marmanhac. Durant le printemps, la croissance de repousse est 2.4 à 2.5 fois plus importante sous les panneaux solaires qu'en zone sans influence des panneaux.

La réponse de la croissance en inter-rangée est différente entre sites. Sur le site de Braize, la végétation présente une dynamique similaire à celle du contrôle et sur le site de Marmanhac, elle tend à être intermédiaire aux deux autres traitements. Ceci pourrait être lié au microclimat lumineux dans cette zone car les deux sites ont des espacements de panneaux entre les rangs très différents : 2.7 m Marmanhac et 4.3 m Braize, ainsi que des hauteurs max de table variable : 2 m Marmanhac et 3 m Braize.

Globalement, la croissance sous les panneaux et en zone contrôle ont des réponses similaires sur les deux sites, bien qu'elles présentent des différences de dynamique en lien avec le climat différent. La croissance sous panneaux s'arrête plus tôt et la reprise est plus lente sur le site de moyenne montagne.

Les différences d'infrastructure des panneaux solaires entre les deux sites ont des conséquences sur le microclimat des plantes, avec un milieu plus lumineux sur Braize, et plus ombré sur Marmanhac. Des différences de composition botanique pourraient aussi expliquer ces résultats.

- **Conclusion sur la présence de sol nu :**

Sur les deux sites, la superficie en sol nu visible avant le prélèvement de biomasse est 2.2 à 3.7 fois plus importante et stable sous les panneaux. Ceci peut être lié à la croissance des plantes en lien avec la compétition pour la lumière mais aussi à l'effet « splash » lors de précipitations. Alors que sur Marmanhac, la quantité de sol nu est majoritairement stable en Contrôle et en Inter-rangée, sur Braize, ces traitements voient une présence de sol nu aussi importante que sous les panneaux durant la période estivale. Cependant, le pourcentage de sol nu diminue à nouveau avec le regain de la végétation et des conditions climatiques favorables à la croissance. Ce phénomène de sol nu contrebalance les bénéfices liés à une croissance améliorée sous les panneaux et impacte la production de biomasse.

A noter : Cette étude sera poursuivie en 2022 et 2023.

Synthèse de l'influence de la présence des panneaux solaires sur la dynamique prairiale en fonction des saisons

Milieu d'été - Effet de la sécheresse

Période de repousse : Braize : 16 juillet – 13 août ; Marmanhac : 24 juillet – 25 août

1) Microclimat (juillet-août)

Pendant l'été, la température de l'air a atteint +39.2°C le 31/07/2020 sur Braize et +35.4°C le 07/08/2020 sur Marmanhac. Sur les deux sites, le rayonnement solaire a été réduit en moyenne sur cette période d'environ 93-94% sous les panneaux, comparé au traitement contrôle (Braize, $P = 53.5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $C = 758.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; Marmanhac, $P = 51.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $C = 838 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Dans ces conditions, la température du sol, à l'ombre des panneaux est plus fraîche de 6.6 °C sur Braize ($P = 20.5 \text{ °C} \pm 0.15$; $C = 27.1 \text{ °C} \pm 0.07$) et de 3.8 °C sur Marmanhac ($P = 17.8 \text{ °C} \pm 0.12$; $C = 21.6 \text{ °C} \pm 0.12$) par rapport à la zone sans influence des panneaux. Les températures du sol en inter-rangée ne sont pas aussi chaudes qu'en contrôle en étant à $24.9 \text{ °C} \pm 0.6$ sur Braize et $19.3 \text{ °C} \pm 0.4$ sur Marmanhac (Figure 2).

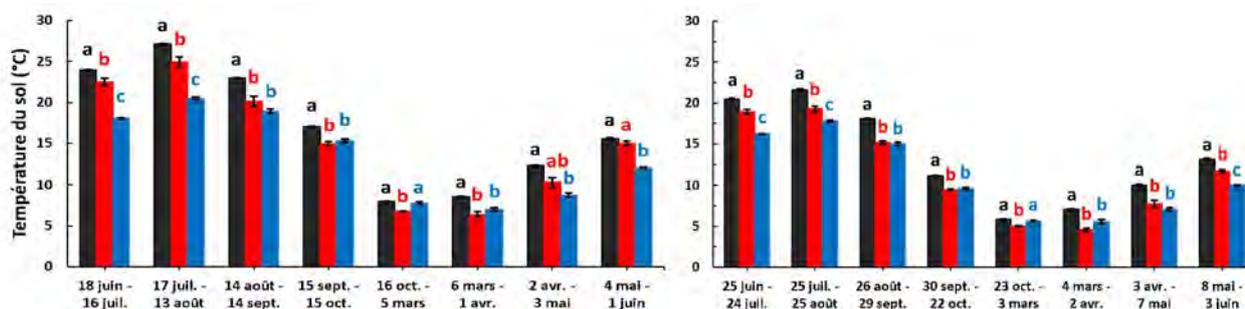


Figure 2 : Moyenne de la température du sol sur une période de repousse de la végétation sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque période, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$; un point après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Sur le site de Braize, le sol a une faible réserve utile en eau car il est de texture sableuse. Ceci est confirmé par les faibles valeurs d'humidité du sol ($< 10 \%$) mesurées dans les trois traitements (Figure 3). Celle-ci ne dépassait pas 7.4 % durant le mois d'août. Quant au site de Marmanhac, le sol a une

réserve utile en eau plus élevée car la texture est limono-sableuse et le sol est de type andosol, c'est-à-dire riche en matière organique. Ceci est confirmé par des valeurs d'humidité du sol supérieures à celles mesurées sur Braize. L'effet sécheresse est observée début août dans la zone contrôle pour atteindre 15.4 % d'humidité du sol en moyenne sur la période. Celle-ci a aussi diminué dans l'inter-rang (23.5 %), et de façon moins importante voire très faiblement sous les panneaux (28.4 % d'humidité).

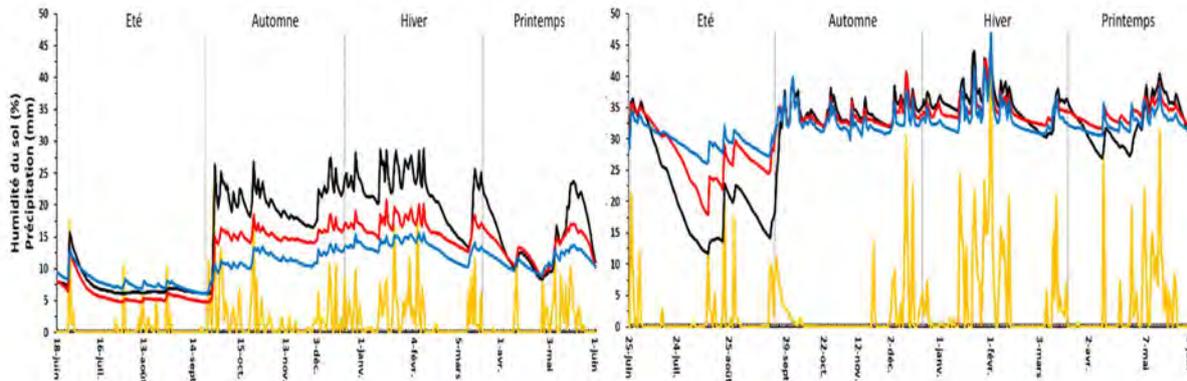


Figure 3 : Dynamique journalière de l'humidité du sol (%) en fonction des traitements et précipitations (mm) pour les sites de Braize (gauche) et de Marmanhac (droite). Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; jaune : Précipitations. Les pointillés délimitent la période sans coupe du 15/10 au 5 mars.

2) Réponse de la végétation en zone d'exclus (juillet-août)

Pour les deux sites, la diminution de l'humidité du sol en contrôle a engendré un stress hydrique puisque la croissance en hauteur est quasiment arrêtée ($\sim 0.02 \text{ cm j}^{-1}$) sur la période de repousse d'août (Figure 4). Cependant la croissance de la végétation sous les panneaux est 38 fois plus importante sur Braize ($P = 0.19 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.02$; $C = 0.005 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.002$) et 10 fois plus importante sur Marmanhac ($P = 0.20 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.01$; $C = 0.02 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.005$). L'inter-rang a répondu de manière similaire au contrôle sur Braize ($0.01 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.006$) et de manière similaire sous panneaux sur Marmanhac ($0.13 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.03$).

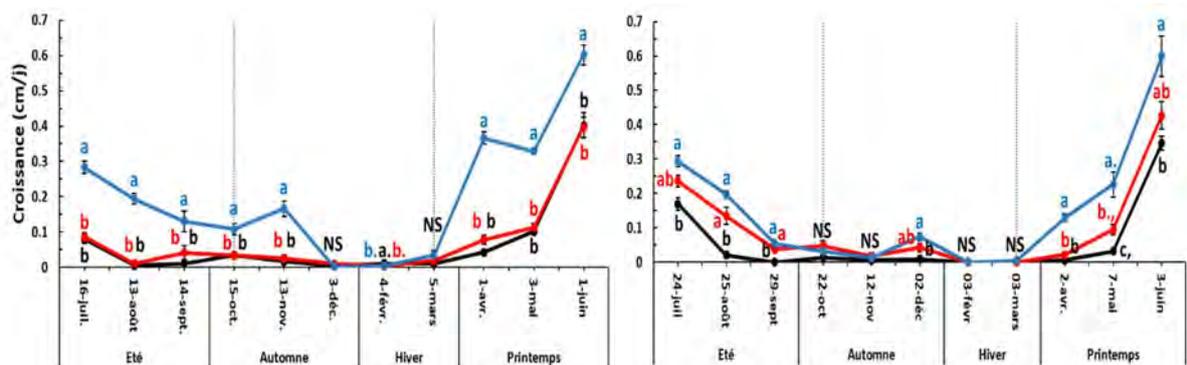


Figure 4 : Dynamique temporelle de la croissance journalière en hauteur (cm j^{-1}) en fonction des traitements, en exclus, pour les sites de Braize (gauche) et de Marmanhac (droite). Pour chaque période, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$; un point après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

L'indice NDVI, indicateur du verdissement de la végétation, a été 1.6 fois plus grand sur Braize ($P = 0.45 \pm 0.02$; $I = 0.32 \pm 0.02$; $C = 0.28 \pm 0.02$) et 2.1 fois plus grand sur Marmanhac ($P = 0.63 \pm 0.03$; $I = 0.64 \pm 0.05$; $C = 0.30 \pm 0.01$), sous panneau comparé au contrôle (Figure 5). L'inter-rang a répondu de manière similaire au contrôle sur Braize et de manière similaire sous panneaux sur Marmanhac. Une

valeur d'indice NDVI inférieure ou égale à 0.30 signifie que la végétation est sèche voir morte en l'absence de sol nu, ce qui est observé sur la zone contrôle. Ces réponses correspondent aux effets classiques d'une sécheresse, qui après l'arrêt de la croissance, peut conduire à une senescence de la végétation si le stress est long et intense. La présence de sol nu peut affecter les mesures de NDVI. Pour le site de Braize, le pourcentage de sol nu représente en moyenne 40% de la surface dans chaque traitement, alors que pour Marmanhac, celui-ci est 2.5 fois plus important sous les panneaux (P = 10.83 % ± 1.94 ; C = 4.39 % ± 0.41) qu'en contrôle.

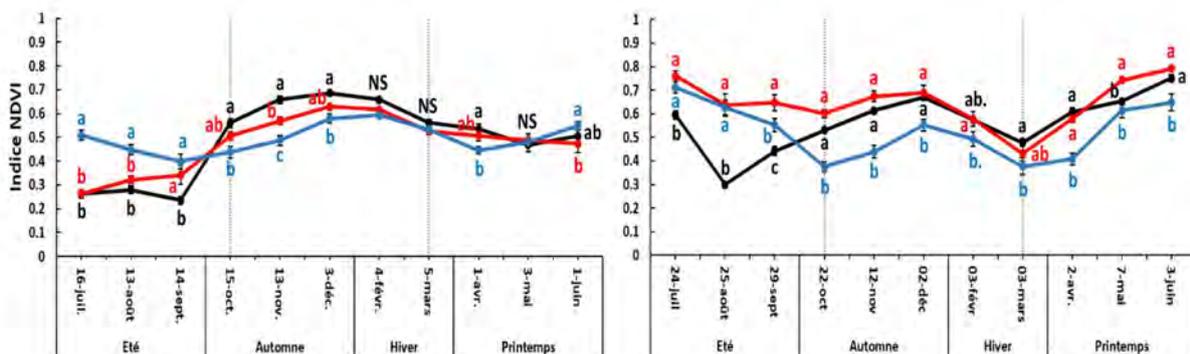


Figure 5 : Dynamique temporelle de l'indice de verdissement (NDVI) par traitement en exclos sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA et un test post-hoc de Tukey ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.

Les différences de dimensions de l'infrastructure des panneaux (espacement des panneaux et densité) entre les deux sites (rangées moins larges sur Marmanhac et plus denses que sur Braize) pourraient expliquer les différences de réponse de la végétation du traitement Inter-rangée. La végétation dans ce traitement répond de manière similaire au traitement P sur Marmanhac pour lequel les conditions sont plus humides et plus fraîches, ce qui explique le développement de mousse.

La quantité de biomasse mesurée en août sur les deux sites est de 4.7 (Marmanhac) à 5 (Braize) fois plus importante à l'abri des panneaux par rapport à la biomasse produite sans l'influence des panneaux (Braize : $P = 13.95 \text{ g m}^{-2} \pm 1.16$; $C = 2.81 \text{ g m}^{-2} \pm 0.39$; Marmanhac : $P = 38.95 \text{ g m}^{-2} \pm 11.63$; $C = 8.36 \text{ g m}^{-2} \pm 1.04$; Figure 6). En inter-rangée, durant cette période de repousse, la production de biomasse a été la même que le Contrôle sur Braize ($I = 3.13 \text{ g m}^{-2} \pm 0.77$), tandis qu'à Marmanhac, l'inter-rang a eu la même production que sous les panneaux ($I = 35.81 \text{ g m}^{-2} \pm 5.16$).

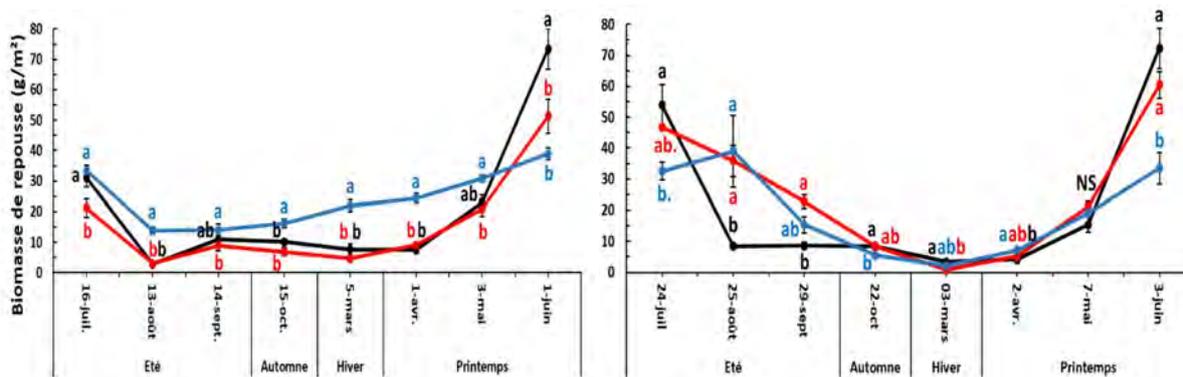


Figure 6 : Dynamique temporelle de la biomasse mesurée après repousse ($g\ m^{-2}$), en exclos, et pour chaque traitement, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA et un test post-hoc de Tukey (Braize) ou le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn (Marmanhac); NS : $P > 0.05$. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Durant la sécheresse, grâce au microclimat plus frais et plus humide (en fonction de la texture du sol) ainsi qu'avec la protection du rayonnement intense, la croissance, l'état de verdissement et la production de biomasse sont plus importants à l'ombre des panneaux solaires qu'en pleine lumière. Les effets en inter-rangée sont variables selon les sites et les dimensions des panneaux et inter-rangs.

3) Dans le parc, avec la présence des ovins (juillet-août)

L'indice NDVI présente la même réponse dans le parc par rapport à l'exclos. La qualité sous les panneaux est 1.74 fois plus élevée, sur Braize ($P = 0.47 \pm 0.02$; $C = 0.27 \pm 0.01$), qu'en zone sans influence des panneaux et 1.39 fois sur Marmanhac ($P = 0.53 \pm 0.02$; $C = 0.38 \pm 0.03$) (Figure 7). En inter-rangée, la réponse sur Braize est similaire au contrôle ($I = 0.30 \pm 0.01$), cependant, sur Marmanhac, l'indice NDVI est 1.2 fois supérieur au contrôle mais 1.2 fois inférieur au traitement panneaux ($I = 0.45 \pm 0.02$).

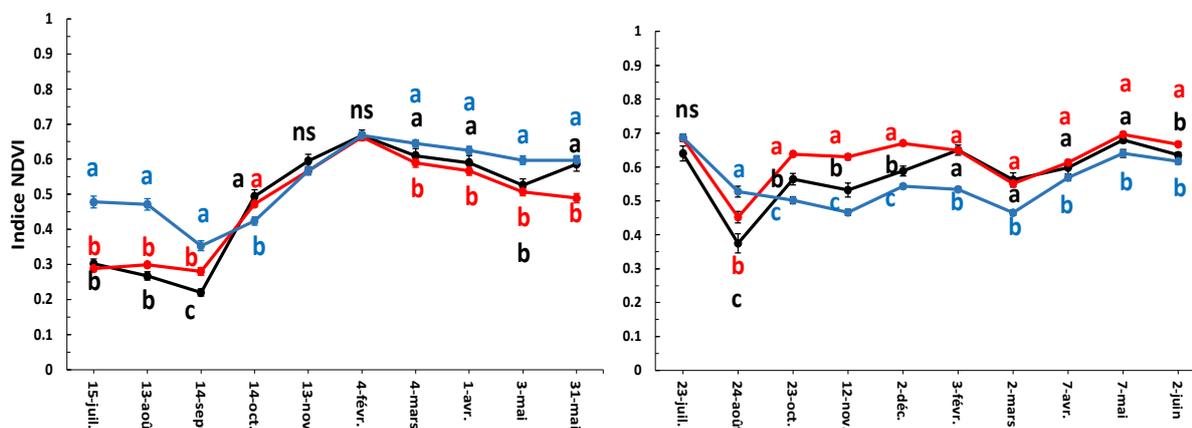


Figure 7 : Dynamique temporelle de l'indice de verdissement (NDVI) par traitement sur le parc, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.



Illustration 2 : Photographique sur le site de Braize (gauche) et le site de Marmanhac (droite) durant la période de sécheresse montrant la différence prononcée de l'état de la végétation entre l'inter-rangée et sous les panneaux.

Les stocks de biomasse mesurés de juillet à septembre sont similaires entre les traitements et stables dans le temps, quel que soit le site, malgré des valeurs moyennes plus élevées dans le contrôle que sous panneaux sur le site de Braize (par ex ; valeurs d'août : C = 85.09 ± 27.42 g m⁻² ; P = 60.80 ± 10.62 g m⁻²) et sur le site de Marmanhac (C = 60.26 ± 17.67 g m⁻² ; P = 64.63 ± 5.49 g m⁻²) (Figure 8).

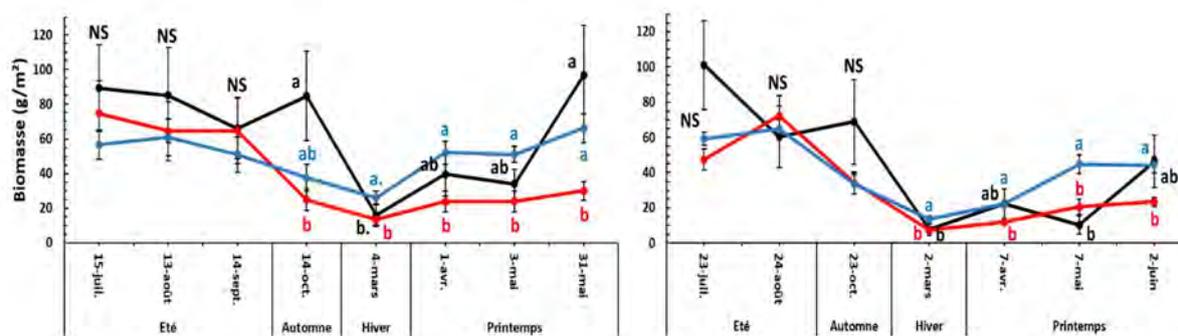


Figure 8 : Dynamique temporelle du stock de biomasse (g m⁻²), mesuré sur le parc, pour chaque traitement, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives (P < 0.05) d'après le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn ; NS : P > 0.05 ; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne ± erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Cette absence d'effet statistique est liée à l'hétérogénéité élevée observée en contrôle qui s'explique par une variabilité spatiale des conditions de sol (histoire des sites), de végétation et de présence des animaux sur les deux parcs. De plus, la stabilité des valeurs de stocks au cours de l'été pourrait être liée à un effet sécheresse (absence de croissance, faible NDVI) et une pression de pâturage faible et peut-être différente entre les traitements. Ceci pourrait masquer l'effet observé en exclos sous panneaux (Braize et Marmanhac) et inter-rang (Marmanhac), qui a produit plus de biomasse en août.

De la sécheresse au début d'automne – Regain de la végétation

Période de repousse : Braize : 14 septembre – 15 octobre ; Marmanhac : 29 septembre – 22 octobre

1) Microclimat (septembre-octobre)

En automne, la position du soleil devient moins haute et le rayonnement ne passe plus au-dessus des structures des panneaux solaires créant plus d'ombre en inter-rangée. La quantité de rayonnement a été divisée par 2.3 en contrôle et par 1.8 à l'ombre des panneaux depuis août, avec une réduction de 91.4 % de lumière en moins sous panneau comparé au plein soleil (Marmanhac : C = 329.4 μmol m⁻² s⁻¹, P = 28.3 μmol m⁻² s⁻¹ ; Braize : C = 356.1 μmol m⁻² s⁻¹, P = 30.2 μmol m⁻² s⁻¹). La température journalière moyenne de l'air a chuté respectivement de 8.6 °C et 12.6 °C entre la période de sécheresse et

l'automne (Br : 13.93 °C ; Ma : 7.97 °C) en ayant des températures de l'air sur la période du début de l'automne arrivant au minimum à 3.6 °C sur Braize et à 0.9°C sur Marmanhac. Ceci a entraîné une chute des températures du sol en perdant 10°C en contrôle et en inter-rangée sur les deux sites et 5.2 °C et 8.2°C sous les panneaux respectivement sur Braize et Marmanhac par rapport à la période d'août. Les températures du sol sur Marmanhac sont descendues vers les 10°C ($P = 9.61 \text{ °C} \pm 0.13$; $I = 9.48 \text{ °C} \pm 0.06$; $C = 11.14 \text{ °C} \pm 0.04$; Figure 9.b), et sont comparativement plus chaudes de 5°C sur Braize ($P = 15.32 \text{ °C} \pm 0.2$; $I = 14.95 \text{ °C} \pm 0.2$; $C = 17.04 \text{ °C} \pm 0.07$; Figure 9.a).

La quantité de précipitations a fortement augmenté sur Braize et a été multipliée par 4.8 (de 24 mm à 115 mm) par rapport à la période d'août, avec un cumul depuis le 13 août de 137 mm. Ceci a augmenté l'humidité du sol de +9.3% en contrôle, +6% en inter-rangée mais seulement de +1.6% sous les panneaux ($P = 8.94 \% \pm 0.94$; $I = 11.04 \% \pm 0.5$; $C = 15.60 \% \pm 0.84$; Figure 9.c). Le traitement Contrôle se retrouve 41% et 75 % plus humides qu'en inter-rangée et sous les panneaux. Sur Marmanhac, alors qu'il y a eu de faibles précipitations durant la période d'octobre (10.8 mm), l'humidité du sol est similaire entre les traitements. Cependant, l'augmentation de l'humidité du sol provient du cumul depuis le 25 août avec 102 mm pour un gain de + 19 % en contrôle, + 10.5 % en inter-rangée et + 5 % sous panneaux ($P = 33.31 \% \pm 2.19$; $I = 33.92 \% \pm 2.15$; $C = 34.39 \% \pm 1.07$; Figure 9.d).

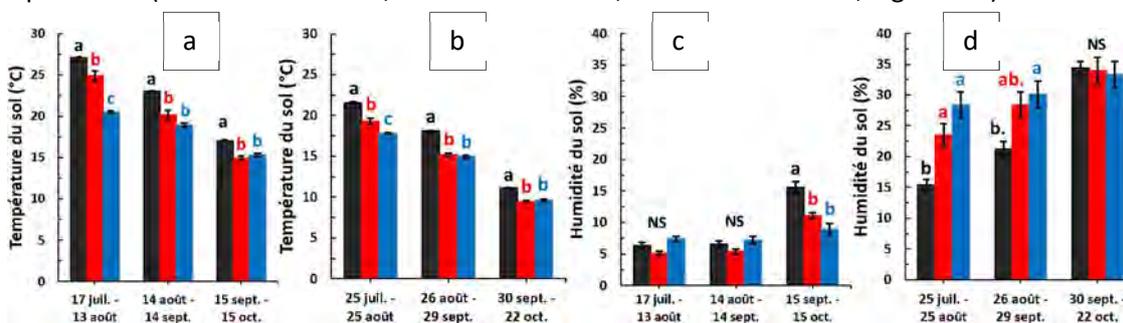


Figure 9 : Moyenne de la température (a ; b) et de l'humidité (c ; d) du sol sur une période de repousse de la végétation sur le site de Braize (a ; c) et sur le site de Marmanhac (b ; d). Pour chaque période, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA (c) et le test post-hoc de Tukey ou le test de Kruskal-Wallis (a ; b ; d) et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$; un point après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Ces conditions météorologiques sont plus favorables à la pousse de la végétation dans le traitement contrôle à cause de la réduction de l'évapotranspiration.

Le fait que l'humidité du sol en inter-rangée sur Braize ne réaugmente pas au même taux que celui en contrôle, en comparaison du site de Marmanhac, peut être expliqué par la nature du sol. Le sol de Braize a une texture principalement composée de sable limoneux dans tout le parc. Cependant, en inter-rangée, la perméabilité est plus importante qu'en contrôle, car la pierrosité y est 2.3 fois plus élevée ($I = 25\%$; $C = 10.8\%$). Ceci accentue le côté drainant d'un sol sableux et donc présente une réserve d'eau utile plus faible. Ce type de sol limite la diffusion horizontale de l'eau au profit de la diffusion verticale, notamment vers le sol sous les panneaux. Contrairement à l'andosol du site de Marmanhac où, en plus, la diffusion horizontale est amplifiée par la pente présente.

2) Réponse de la végétation en zone d'exclus (septembre-octobre)

Sur Marmanhac, la croissance en hauteur au début de l'automne a été divisée par 6.2 sous les panneaux, par 2.8 en inter-rangée et est restée stable en contrôle par rapport à la période de sécheresse ($P = 0.03 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.01$; $I = 0.05 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.01$; $C = 0.01 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.00$; Figure 10.b). Les trois traitements ne présentent plus de différence de croissance en hauteur en ne dépassant pas 0.05 cm j^{-1} .

¹. Sur le site de Braize, la croissance sous panneaux, divisée par 1.8, est restée 3.2 fois plus élevée comparée à celles mesurées dans le contrôle et à l'inter-rang bien que ces dernières aient très légèrement augmenté ($P = 0.11 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.02$; $I = 0.03 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.01$; $C = 0.04 \text{ cm j}^{-1} \pm 0.006$; Figure 10.a). Ces différences entre les deux sites pourraient venir de conditions thermiques plus élevées (environ $+6^\circ\text{C}$) en plaine qu'en moyenne montagne.

Pour les deux sites et dans la zone contrôle, le verdissement de la végétation a fortement augmenté, au début de l'automne, avec un indice NDVI 1.8 à 2 fois plus grand que celui mesuré lors de la sécheresse (Br : 0.56 ± 0.02 ; Ma : 0.53 ± 0.01), alors qu'il est resté stable sous les panneaux sur Braize (0.44 ± 0.03 ; Figure 10.c) et a été divisé par 1.7 sur Marmanhac (0.38 ± 0.02 ; Figure 10.d). En inter-rangée, l'indice NDVI est resté stable sur Marmanhac (0.60 ± 0.02) et a augmenté d'1.6 fois sur Braize (0.51 ± 0.02). Le NDVI sous les panneaux s'est retrouvé 28 % à 41 % plus faible qu'en contrôle sur Marmanhac et Braize. Quant à l'inter-rangée, l'indice est intermédiaire aux autres traitements sur Braize et 60 % plus important que sous panneaux sur Marmanhac. Pendant toute la période automnale, la même réponse est visible tout en ayant des indices grandissants. Cette hiérarchie peut s'expliquer par un pourcentage de sol nu stable et plus élevé sous les panneaux des deux sites ainsi qu'un recouvrement du sol nu 1.8 à 2.5 fois moins important respectivement en inter-rangée et en contrôle sur Braize par rapport à août ($C = 15 \% \pm 2$; $I = 21.5 \% \pm 3$). De plus, la quantité de végétation sèche a aussi été divisée depuis août sur Marmanhac et Braize de 3.4 à 5.5 fois respectivement en contrôle et de 3.5 fois en inter-rangée sur Marmanhac qui ce dernier présente un pourcentage de mousse plus important. A l'inverse, la végétation sèche sous les panneaux sur Marmanhac est 2.7 fois plus importante.

Cette importance du sol nu sous les panneaux peut être expliquée par l'effet splash induit par le ruissellement sur la structure lors de précipitations endommageant la végétation. De plus, le recouvrement végétal est aussi lié à la biologie de l'espèce par rapport à son cycle de vie et à son port végétatif. La phytosociologie en lien avec la compétition pour la lumière à l'ombre des panneaux peut aussi expliquer la présence de sol nu.

Au cours des périodes de repousse suivant la période de sécheresse estivale et jusqu'au début de l'automne, la production de biomasse présente une réponse différente entre les deux sites. Sur le site de Braize, la production de biomasse sous panneaux est restée stable alors qu'elle a été divisée par 7.1 sur Marmanhac. Elle a augmenté en contrôle de 3.6 et en inter-rangée de 2.2 au début de l'automne par rapport à la période d'août ($P = 16.26 \text{ g m}^{-2} \pm 1.42$; $C = 10.19 \text{ g m}^{-2} \pm 0.84$; $I = 6.84 \text{ g m}^{-2} \pm 1.31$; Figure 10.e) sur Braize. La production de biomasse reste cependant 1.6 fois plus importante sous les panneaux par rapport à la zone sans influence des panneaux à cette période. Sur Marmanhac, la production de biomasse a été divisée par 4.3 en inter-rangée et est restée stable en contrôle ($P = 5.48 \text{ g m}^{-2} \pm 0.68$; $C = 8.46 \text{ g m}^{-2} \pm 0.63$; $I = 8.41 \text{ g m}^{-2} \pm 1.15$; Figure 9.f). Les différents traitements ne présentent plus de différences significatives.

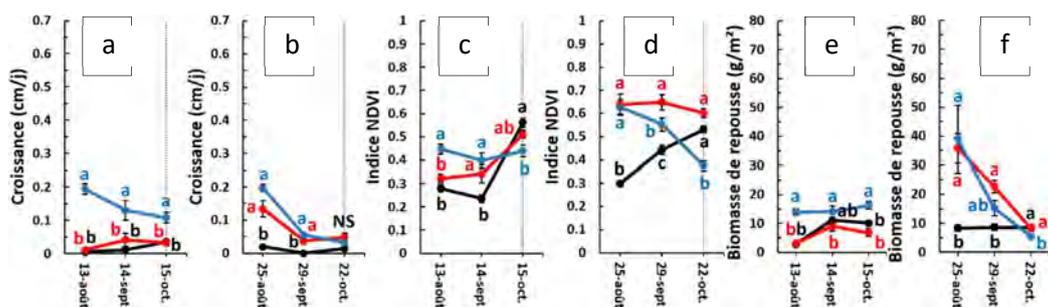


Figure 10 : Dynamique temporelle de la croissance journalière (a ; b), l'indice de verdissement (NDVI ; c ; d) et de la biomasse de repousse (e ; f) par traitement en exclos sur le site de Braize (a ; c ; e) et sur le site de Marmanhac (b ; d ; f). Pour chaque

date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA et un test post-hoc de Tukey (c ; d ; e) ou le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn (a ; b ; f) ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.

A la sortie de conditions météorologiques très sèches et chaudes, l'indice de verdissement augmente dans les zones non couvertes par les panneaux. La différence de réponse entre les deux sites avec une reprise de la production de biomasse sur Braize et une chute de la production de biomasse sur Marmanhac est avant tout due au climat et à la localisation des sites en plaine ou en moyenne montagne. Les différences de réponse de l'inter-rangée entre les deux sites sont sûrement liées en partie à la différence des infrastructures mais aussi aux différences de texture du sol.

3) Dans le parc, avec la présence des ovins (septembre-octobre)

Pour les deux sites, l'indice de verdissement de la végétation présente une réponse similaire dans le parc avec l'effet du pâturage et dans la zone d'exclus sans pâturage. Sous les panneaux, il est plus faible de 17% sur Braize ($P = 0.42 \pm 0.01$; $C = 0.50 \pm 0.02$; $I = 0.47 \pm 0.01$; Figure 11.a) et de 12% sur Marmanhac ($P = 0.50 \pm 0.01$; $C = 0.56 \pm 0.02$; $I = 0.64 \pm 0.01$; Figure 11.b) qu'en contrôle et de respectivement 11% et 27 % qu'en inter-rangée car l'indice a augmenté nettement dans ces deux traitements d'août à octobre notamment sur Braize.

En octobre, sur le site de Braize, la quantité de biomasse est plus élevée dans le contrôle comparé aux à l'inter-rang ($C = 84.7 \pm 25.9 \text{ g m}^{-2}$; $I = 24.8 \pm 6.4$; $P = 37.4 \pm 7.7 \text{ g m}^{-2}$; Figure 11.c). La fauche réalisée dans l'inter-rang par l'agriculteur dans une zone très productive du parc sur les points suivis a amplifié la diminution du stock de biomasse disponible dans ce traitement. Cet effet sur le contrôle est observable au prochain prélèvement de mars car l'agriculteur n'a pas fauché les zones suivies en octobre. Sur le site de Marmanhac, le stock de biomasse est similaire entre traitements ($C = 68.8 \pm 24.02 \text{ g m}^{-2}$; $I = 34 \pm 6.1$; $P = 33.47 \pm 5.53 \text{ g m}^{-2}$; Figure 11.d). L'absence de différence statistique provient de l'hétérogénéité au sein de la zone sans influence des panneaux qui est très importante en étant 3.3 à 4.3 fois plus grande que sous les panneaux.

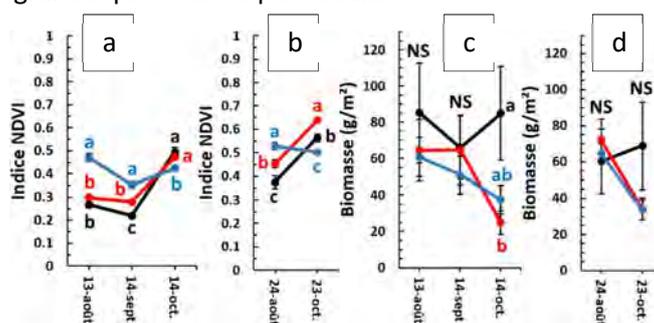


Figure 11 : Dynamique temporelle de l'indice de verdissement (NDVI ; a ; b) et du stock de biomasse (c ; d) par traitement sur le parc, sur le site de Braize (a ; c) et sur le site de Marmanhac (b ; d). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.

Sur les deux mois septembre et octobre, la production sous les panneaux sur le site de Braize en absence de pâturage est stable dans le temps avec une moyenne cumulée sur les deux mois de + 30 g m⁻² sur Braize. Cependant, cette production n'est pas visible dans le parc qui présente un stock de biomasse diminuant de - 23 g m⁻². L'écart entre la production de biomasse en exclus et la diminution du stock dans le parc qui est de 54 g m⁻² sur Braize serait liée à la consommation de fourrage par les

ovins. La consommation ne peut être visible ni en inter-rangée à cause de la fauche de l'agriculteur ni en contrôle à cause de la forte hétérogénéité du traitement.

Sur Marmanhac, le même raisonnement est applicable sous les panneaux et en inter-rangée avec une production de biomasse en exclos respectivement de + 21 g m⁻² et + 31 g m⁻² alors que la perte dans le parc est de - 31 g m⁻² et de - 38 g m⁻² ce qui fait un écart de 52 g m⁻² et de 69 g m⁻² qui correspondrait à la consommation par les moutons sur les mois de septembre et octobre cumulés. Le stock en contrôle dans le parc présente une hétérogénéité trop importante pour voir des variations liées au pâturage.

Fin de l'hiver – Arrêt de la croissance

Période de repousse : Braize : 15 octobre – 5 mars ; Marmanhac : 22 octobre – 3 mars

1) Microclimat (octobre-mars)

Les conditions météorologiques deviennent plus froides avec une durée d'ensoleillement plus faible et 1.3 à 1.5 fois moins intense par rapport au début de l'automne en dehors de l'abri des panneaux (Braize : C = 235.5 μmol m⁻² s⁻¹ ; Marmanhac : C = 259.6 μmol m⁻² s⁻¹). Depuis la dernière coupe au début de l'automne, la température moyenne journalière de l'air (7.1 et 5°C) a diminué de 6.9°C pour Braize et de 3°C pour Marmanhac, avec des périodes de gel. Effectivement, il y a eu 15 jours (Braize) et 26 jours (Marmanhac) pour lesquels la moyenne journalière était en dessous de 0°C jusqu'à atteindre un minimum de -8.5 °C (Braize) et -11°C (Marmanhac).

Ceci a impacté la température du sol en se retrouvant sous la barre des 8°C en moyenne pour Braize (P = 7.78 ± 0.13 ; I = 6.78 ± 0.05 °C ; C = 8.54 ± 0.06 °C ; Figure 12.a) et de 6°C en moyenne pour Marmanhac (P = 5.65 ± 0.06 ; I = 5 ± 0.08 °C ; C = 5.87 ± 0.04 °C ; Figure 12.b). Sur les deux parcs, l'inter-rangée a présenté une température moyenne plus basse que les autres traitements car contrairement au contrôle, l'inter-rangée est à l'ombre et contrairement à la situation sous panneaux, l'inter-rangée n'a pas de couverture thermique liée à la présence des panneaux. La température minimale du sol sur Braize a été de 1.7°C en contrôle, 1.1°C en inter-rangée et 1.8°C sous les panneaux, atteinte le 11/01/21, et de 1°C sous les panneaux le 15/01/21 et 1.2°C en contrôle ainsi que 1°C en inter-rangée le 28/01/21 sur Marmanhac. La différence de date entre les deux sites pourrait être due à la présence de neige, qui a servi de tapis d'isolation pour le sol en inter-rangée et en contrôle lors de températures très froides. Quant à la zone sous les panneaux, elle n'a pas été recouverte par la neige. Cette neige a eu des impacts visibles sur la végétation, notamment, en cachant la végétation du soleil, en écrasant la végétation, surtout en inter-rangée, car la neige tombant sur les panneaux glissait en inter-rangée. Cet effet est visible au début de février où la hauteur de la végétation est divisée par 2.5 fois en inter-rangée par rapport au contrôle (I = 1.56 ± 0.11 cm ; C = 3.89 ± 0.12 cm).



Illustration 3 : Photographie sur le site de Marmanhac montrant la protection des panneaux face aux chutes de neige.

Sur cette période de 4 mois, la moitié des précipitations de l'année est tombée sur les deux sites avec 299 mm sur Braize et 500 mm sur Marmanhac. Ceci a permis au sol de Braize de regagner + 5.86 % en humidité en contrôle, + 5 % en inter-rangée et + 3.8 % sous les panneaux (P = 12.74 ± 0.73 % ; I = 16 ±

1 % ; C = 21.46 ± 0.81 % ; Figure 12.c). L'humidité sous panneaux est néanmoins toujours 70% plus faible qu'en contrôle comparé à la période où le stock en eau du sol est au maximum. Sur Marmanhac, l'humidité du sol n'a pas varié en restant à son maximum et est restée similaire entre les traitements (P = 33.11 ± 2.12 % ; I = 34.49 ± 2.11 % ; C = 35.46 ± 0.98 % ; Figure 12.d).

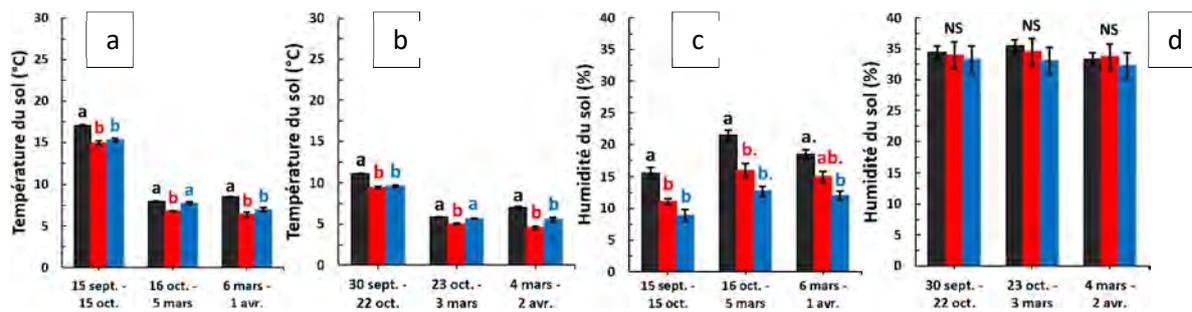


Figure 12 : Moyenne de la température (a ; b) et de l'humidité (c ; d) du sol sur une période de repousse de la végétation sur le site de Braize (a ; c) et sur le site de Marmanhac (b ; d). Pour chaque période, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA (c) et le test post-hoc de Tukey ou le test de Kruskal-Wallis (a ; b ; d) et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$; un point après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne ± erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

2) Réponse de la végétation en zone d'exclos (octobre-mars)

La croissance en hauteur de la végétation sur le site de Marmanhac était déjà très ralentie voir à l'arrêt ($P = 0.01 \pm 0.01 \text{ cm j}^{-1}$; $I = 0.02 \pm 0.01 \text{ cm j}^{-1}$; $C = 0.01 \pm 0.00 \text{ cm j}^{-1}$; Figure 13.b). Uniquement sur le site de Braize, la végétation sous les panneaux a continué de croître, pendant un mois jusqu'en novembre, en ayant une croissance 10 fois plus importante par rapport à la zone sans influence des panneaux ($P = 0.17 \pm 0.02 \text{ cm j}^{-1}$; $I = 0.03 \pm 0.01 \text{ cm j}^{-1}$; $C = 0.02 \pm 0.01 \text{ cm j}^{-1}$; Figure 13.a).

Sur les deux sites, même en l'absence de croissance en hauteur observable, l'indice NDVI a augmenté dans tous les traitements durant la fin de la saison automnale jusqu'en décembre (Braize : $P = +32 \%$; $I = +23 \%$; $C = +22 \%$; Marmanhac : $P = +47 \%$; $I = +15 \%$; $C = +26 \%$). Cette augmentation reflète la récupération suite à la sécheresse estivale et à la densification de la végétation. Cependant, en hiver, sur Braize, l'indice NDVI a diminué ($P = -8 \%$; $I = -20 \%$; $C = -22 \%$; Figure 13.c) pour ne plus montrer de différence entre les traitements ($P = 0.53 \pm 0.02$; $I = 0.53 \pm 0.02$; $C = 0.56 \pm 0.02$). La quantité de sol nu est pourtant plus faible ($P (-16 \%) = 34.61 \pm 4.26 \%$; $I (-46 \%) = 14.72 \pm 1.68 \%$; $C (-79 \%) = 8.40 \pm 1.08 \%$). Sur Marmanhac, le même constat est remarqué, alors que les croissances sont à l'arrêt, l'indice NDVI diminue durant l'hiver par rapport à la fin de l'automne ($P = -47 \%$; $I = -59 \%$; $C = -40 \%$; Figure 13.d). Le contrôle reste 1.3 fois plus élevé que sous les panneaux à la fin de l'hiver ($P = 0.38 \pm 0.04$; $I = 0.43 \pm 0.03$; $C = 0.48 \pm 0.02$). Cependant, l'indice NDVI en inter-rangée est légèrement supérieur à celui sous les panneaux, alors qu'il y a une même quantité de sol nu ($I = 15.94 \pm 4.30$). Cela pourrait venir du fait que la quantité de végétation sèche soit 2.3 fois plus importante sous les panneaux ($I = 13.94 \%$). De plus, la quantité de mousse visible en inter-rangée est 2 fois plus grande en atteignant $52.5 \pm 7.69 \%$ du quadrat en mousses visibles ($P = 26.33 \pm 7.03 \%$). L'augmentation du sol nu visible d'un coefficient de 2.9 en inter-rangée par rapport au début de l'automne a été causée par l'activité des campagnols terrestres (*Arvicola amphibius* L.) creusant des galeries et créant des monticules de terre dans les zones de suivi.

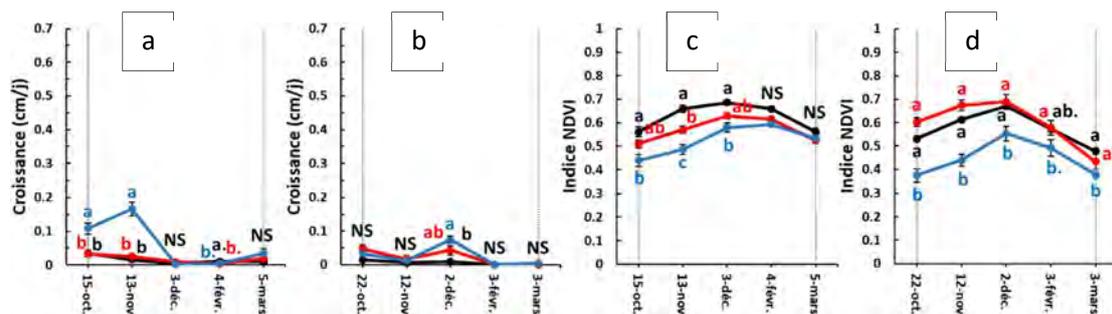


Figure 13 : Dynamique temporelle de la croissance journalière (a ; b) et l'indice de verdissement (NDVI ; c ; d) par traitement en exclos sur le site de Braize (a ; c) et sur le site de Marmanhac (b ; d). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA et un test post-hoc de Tukey (c ; d) ou le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn (a ; b) ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.

Sur les deux sites, à la sortie de l'hiver, la quantité de biomasse dans les traitements inter-rangées et en contrôle est similaire et très faible. Cependant, sous les panneaux, celle-ci est variable entre les deux sites. Elle est aussi très faible et en même quantité que pour C et I sur le site de Marmanhac ($P = 2.01 \pm 0.53 \text{ g.m}^{-2}$; $I = 0.77 \pm 0.34 \text{ g.m}^{-2}$; $C = 3.36 \pm 0.55 \text{ g.m}^{-2}$; Figure 14). Alors que sur Braize, la biomasse à l'ombre des panneaux est 4.7 fois plus importante par rapport à l'inter-rangée et 2.9 fois plus importante qu'en contrôle ($P = 21.96 \pm 1.85 \text{ g.m}^{-2}$; $I = 4.69 \pm 0.94 \text{ g.m}^{-2}$; $C = 7.69 \pm 1.93 \text{ g.m}^{-2}$; Figure 14). La quantité de biomasses en fin d'hiver provient de la croissance de la végétation au milieu de l'automne avant l'arrêt hivernal.

Pendant l'hiver, quelles que soient l'altitude ou l'infrastructure, la croissance est à l'arrêt et les conditions climatiques en période de grand froid diminuent la qualité de la prairie.

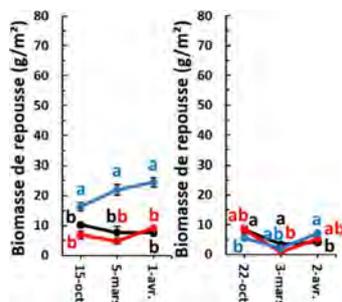


Figure 14 : Dynamique temporelle de la biomasse de repousse par traitement en exclos sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA et un test post-hoc de Tukey (gauche) ou le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn (droite) ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.

3) Dans le parc, en absence d'ovins (octobre-mars)

L'indice de verdissement de la végétation présente la même réponse que dans l'exclos. Après une augmentation du NDVI durant l'automne, l'indice mesuré sous les panneaux ne diffère pas du contrôle, sur Braize ($P : 0.65 \pm 0.01$; $C : 0.61 \pm 0.02$; Figure 15.a), mais il est 1.2 fois plus faible sur Marmanhac ($P : 0.47 \pm 0.01$; $C : 0.56 \pm 0.02$; Figure 15.b). Ceci peut être expliqué par la quantité plus importante de végétation sèche et de sol nu présentes sous les panneaux. Le NDVI en inter-rangée est similaire au contrôle sur les deux sites (Br : 0.59 ± 0.01 ; Ma : 0.55 ± 0.01).

Depuis octobre, sur les deux sites, le stock de biomasse mesuré en mars a diminué en contrôle, sur Braize, avec une baisse de 81 % (-68.85 g m^{-2}) et baisse de 89 % sur Marmanhac (-61.22 g m^{-2}). Sous

panneaux et en inter-rangée, sur Braize, ils sont restés statistiquement stables alors qu'ils sont 79% plus faibles en inter-rangée ($- 26.85 \text{ g m}^{-2}$) et 60 % plus faible sous panneaux sur Marmanhac ($- 20.02 \text{ g m}^{-2}$). Le stock de biomasse sous les panneaux est donc 1.64 fois plus grand qu'en contrôle sur Braize ($P : 25.95 \pm 3.82 \text{ g m}^{-2}$; $C : 15.87 \pm 6.28 \text{ g m}^{-2}$; $I : 13.40 \pm 3.24 \text{ g m}^{-2}$; Figure 15.c) et 1.77 fois sur Marmanhac ($P : 13.45 \pm 1.84 \text{ g m}^{-2}$; $C : 7.62 \pm 3.38 \text{ g m}^{-2}$; $I : 7.17 \pm 1.84 \text{ g m}^{-2}$; Figure 15.d). L'inter-rangée est similaire au contrôle sur les deux sites. La chute uniquement en contrôle du stock de biomasse sur Braize vient des répercussions de la fauche de l'agriculteur et du fait que les moutons sont sortis du parc deux semaines après le prélèvement d'octobre. Sur Marmanhac, la chute importante en inter-rangée et en contrôle est lié aux chutes de neiges tassant la végétation. Sous panneaux, ceci pourrait provenir de la consommation par les moutons présents encore un mois après le prélèvement d'octobre.

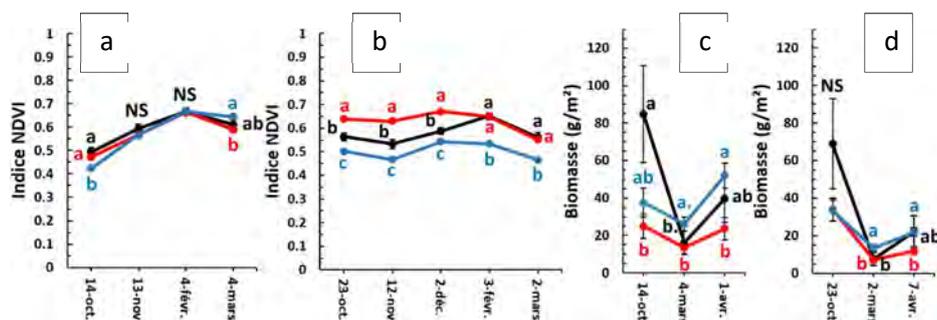


Figure 15 : Dynamique temporelle de l'indice de verdissement (NDVI ; a ; b) et du stock de biomasse (c ; d) par traitement sur le parc, sur le site de Braize (a ; c) et sur le site de Marmanhac (b ; d). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.

A la sortie de l'hiver, du fait de l'arrêt de la croissance ainsi que des événements climatiques et agricoles, les stocks de biomasse des parcs sont faibles.

Début du printemps – Reprise de la croissance

Période de repousse : Braize : 5 mars – 1 avril ; Marmanhac : 3 mars – 7 avril

1) Microclimat (mars-avril)

Depuis la période précédente, le microclimat a beaucoup changé mais pas pour toutes les variables et les deux sites. Dans le cas du rayonnement mesuré en pleine lumière, il a été multiplié par 2.2 à 2.4 pour les deux sites, tandis que sous les panneaux cette augmentation a été moindre ($\times 1.6$) (Braize : $C = 516 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $P = 33 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; Marmanhac : $C = 621 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $P = 41 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Cependant, le rayonnement mesuré sous les panneaux reste 93.5% plus faible qu'en plein soleil sur les deux sites.

Depuis la précédente période, la température de l'air est semblable pour Braize (environ 7°C) et a augmenté de 1.3°C sur Marmanhac pour atteindre 6.3°C . Pour ce dernier site, cela se traduit par l'augmentation de 3.2°C des températures maximales observées et qui est moindre sur Braize ($+1.6^\circ\text{C}$). Des températures minimales inférieures à 0 sont toujours observées pour cette période et sur les deux sites. De plus, du fait de l'isolation thermique des panneaux notamment la nuit par rapport au contrôle, le cumul de degrés jours observés sous les panneaux pourrait être plus avancé et conduire à une reprise plus précoce de la végétation en sortie d'hiver.

Nous avons aussi observé lors des sorties terrain l'absence de rosée sous les panneaux comparés à I et C, notamment lors de températures de l'air froides pouvant encore atteindre au minimum -4.2°C . Cela met en évidence que sous panneaux, soit le taux d'humectation de la végétation est plus faible soit la température de l'air est plus élevée, soit les deux phénomènes coexistent. Ces conditions microclimatiques pourraient favoriser une reprise plus précoce de croissance de la végétation en sortie d'hiver.

La température du sol a peu varié par rapport à la période précédente dans les traitements inter-rangée et panneaux et a augmenté en contrôle de 0.6 à 1.2°C respectivement sur Braize ($P = 7 \pm 0.22^{\circ}\text{C}$; $I = 6.39 \pm 0.33^{\circ}\text{C}$; $C = 8.54 \pm 0.02^{\circ}\text{C}$; Figure 12.a) et Marmanhac ($P = 5.55 \pm 0.25^{\circ}\text{C}$; $I = 4.55 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$; $C = 7.05 \pm 0.05^{\circ}\text{C}$; Figure 12.b) en étant légèrement plus chaude de 2.3 à 2.5°C qu'en inter-rangée et d' 1.5°C sous les panneaux. Ce dernier traitement a diminué de 0.8°C à Braize.

L'humidité du sol a peu varié depuis la période précédente, notamment sur Marmanhac malgré un cumul de précipitations de 68 mm et a légèrement diminué sur Braize. Pour Marmanhac, les valeurs sont proches de 33% ($P = 32.3 \pm 2.1\%$; $I = 33.7 \pm 2.1\%$; $C = 33.3 \pm 1.1\%$ d'humidité ; Figure 12.d) et ne diffèrent pas entre traitements. Elles sont plus faibles sur Braize de l'ordre de 15% en moyenne et diffèrent entre le contrôle et le traitement panneaux qui a des valeurs plus faibles ($P = 12 \pm 0.7\%$; $I = 15 \pm 0.8\%$; $C = 18.5 \pm 0.7\%$; Figure 12.c).

2) Réponse de la végétation (mars-avril)

Avec le retour d'un climat plus doux, où le rayonnement moyen journalier est équivalent à la période de septembre à octobre sur Braize et d'août à septembre sur Marmanhac, la croissance redémarre sur le site de Braize et uniquement sous les panneaux à Marmanhac ($P = 0.13 \pm 0.01 \text{ cm j}^{-1}$; Figure 16.b). Sur Braize, la croissance est 4.7 à 8.7 fois plus importante sous les panneaux par rapport à l'inter-rangée et au contrôle respectivement ($P = 0.37 \pm 0.02 \text{ cm j}^{-1}$; $I = 0.08 \pm 0.01 \text{ cm j}^{-1}$; $C = 0.04 \pm 0.01 \text{ cm j}^{-1}$; Figure 16.a).



Illustration 4 : Photographies du site de Braize (gauche) et de Marmanhac (droite), début avril, montrant la différence de hauteurs de la végétation sous les panneaux par rapport à l'inter-rangée.

La présence des panneaux favorise une reprise plus précoce de la croissance de la végétation en sortie d'hiver, qui peut s'expliquer par un microclimat plus favorable sous panneaux (absence de rosée gelée, couverture thermique : modification des degrés jours). Des mesures du microclimat autre que le rayonnement sous les panneaux (température et humidité de l'air) devraient confirmer cette hypothèse. Cependant, la biologie des espèces joue un rôle important dans cette reprise de la croissance en fonction de son cycle de vie et des seuils météorologiques pour sa croissance (seuil « zéro de la végétation »).



Illustration 5 : Photographies du site de Braize (gauche) et de Marmanhac (droite), montrant l'absence de gelées sous les panneaux.

L'indice de verdissement (NDVI) est resté stable en contrôle et inter-rangée sur Braize, cependant, il est 20 % plus faible sous les panneaux par rapport à la fin de l'hiver et au contrôle ($P = 0.45 \pm 0.02$; $I = 0.51 \pm 0.02$; $C = 0.54 \pm 0.02$; Figure 16.c). Sur Marmanhac, l'indice a augmenté de 27 % et 34 % respectivement en contrôle et en inter-rangée en lien avec une diminution du sol nu et de la végétation sèche mais il est resté stable sous les panneaux en étant 49 % et 42 % plus faible que les autres traitements ($P = 0.41 \pm 0.02$; $I = 0.58 \pm 0.02$; $C = 0.61 \pm 0.02$; Figure 16.d).

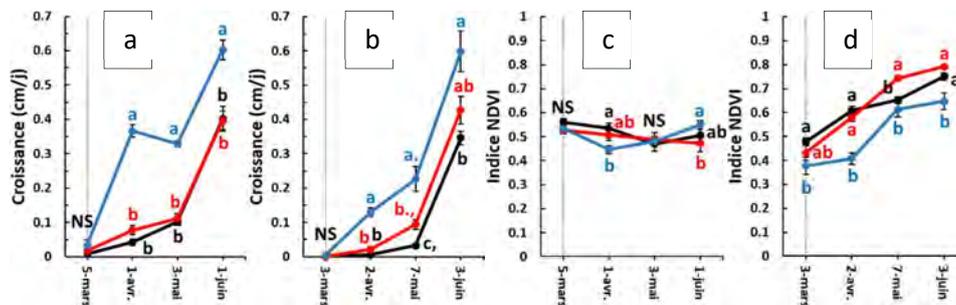


Figure 16 : Dynamique temporelle de la croissance journalière (a ; b) et l'indice de verdissement (NDVI ; c ; d) par traitement en exclos sur le site de Braize (a ; c) et sur le site de Marmanhac (b ; d). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA et un test post-hoc de Tukey (c ; d) ou le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn (a ; b) ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.

En avril et sur le site de Braize, la biomasse accumulée depuis le 15/10 est environ 3 fois plus élevée sous les panneaux que dans les 2 autres traitements ($P = 24.4 \pm 1.6 \text{ g m}^{-2}$; $I = 9 \pm 0.8 \text{ g m}^{-2}$; $C = 7.5 \pm 1.3 \text{ g m}^{-2}$; Figure 14). Sur le site de Marmanhac, l'effet est moindre mais significatif ($P = 7.1 \pm 0.7 \text{ g m}^{-2}$; $I = 5.2 \pm 0.5 \text{ g m}^{-2}$; $C = 4.1 \pm 1 \text{ g m}^{-2}$; Figure 14). Cette différence de réponse entre site s'explique par la capacité de la végétation sous panneaux à pousser d'octobre à novembre sur Braize, tandis que les conditions climatiques de moyenne montagne plus froides ne l'ont pas permises.

Sur Braize, la production de biomasse plus importante sous les panneaux peut s'expliquer par l'amélioration du microclimat, avec l'augmentation du rayonnement qui est 2.2 fois plus importante par rapport à la période hivernale en zone contrôle et 1.5 fois plus importante sous les panneaux ($C = 515.99 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $P = 33.01 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), ainsi que de la disponibilité en eau.

L'absence de différence objective de biomasse pour une croissance nettement différente sur Marmanhac peut être expliquée, outre la différence attendue de surface massique (espèce dépendante), par une baisse probable de densité de la végétation car le % de sol nu est 5.7 fois plus important sous panneaux ($P = 14.17 \pm 2.36 \%$; $C = 2.5 \pm 0.55 \%$).

Avec le redoux printanier, la végétation à l'abri des panneaux commence à croître de façon plus précoce que la végétation sans protection thermique.

3) Dans le parc, avec le retour des ovins (mars-avril)

L'indice de verdissement de la prairie sur Braize est stable de mars à avril ($P = 0.63 \pm 0.01$; $I = 0.57 \pm 0.01$; $C = 0.59 \pm 0.02$; Figure 17) avec des valeurs d'indice sous panneaux toujours 10 % plus grandes que l'inter-rangée. Sur Marmanhac, uniquement le contrôle reste stable, alors que l'indice en inter-rangée est 11 % plus grand et 22 % plus grand sous les panneaux ($P = 0.57 \pm 0.01$; $I = 0.61 \pm 0.01$; $C = 0.60 \pm 0.02$; Figure 17). L'écart se rétrécit entre l'inter-rangée et sous les panneaux en restant 8 % plus grand. Le traitement contrôle est intermédiaire sur les deux parcs. La différence de la réponse entre l'inter-rangée et sous les panneaux entre les deux sites pourraient venir de l'écart en végétation sèche qui est 2.3 fois plus important sous les panneaux en exclos sur Marmanhac alors qu'il n'y a pas de différence sur Braize.

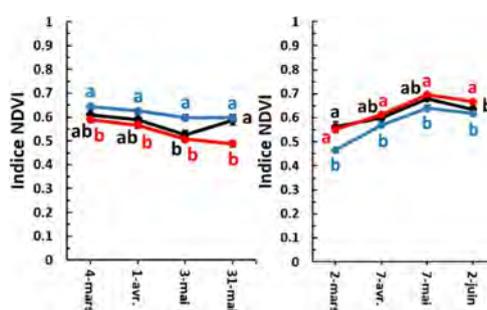


Figure 17 : Dynamique temporelle de l'indice de verdissement (NDVI) par traitement sur le parc, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.

En absence de moutons, en avril, sur les deux sites, le stock de biomasse reste stable en contrôle et inter-rangée. Alors que le stock sous les panneaux sur Marmanhac reste stable, il double sur Braize. Le stock sous les panneaux est 2.2 fois supérieur à celui mesuré dans l'inter-rangée sur Braize ($P = 51.98 \pm 6.56 \text{ g m}^{-2}$; $I = 23.69 \pm 5.95 \text{ g m}^{-2}$) et de 1.88 fois sur Marmanhac ($P = 22.05 \pm 2.04 \text{ g m}^{-2}$; $I = 11.74 \pm 1.54 \text{ g m}^{-2}$). Le contrôle ne diffère pas des autres traitements du fait de son hétérogénéité sur les deux sites (Br : $39.58 \pm 12.55 \text{ g m}^{-2}$; Ma : $22.34 \pm 8.30 \text{ g m}^{-2}$).

Les résultats en inter-rangée (Br : $I_{\text{exclos}} : + 9 \text{ g m}^{-2}$; $I_{\text{parc}} : + 10.3 \text{ g m}^{-2}$; Ma : $I_{\text{exclos}} : + 5.2 \text{ g m}^{-2}$; $I_{\text{parc}} : + 4.6 \text{ g m}^{-2}$) et sous les panneaux (Br : $P_{\text{exclos}} : + 24.4 \text{ g m}^{-2}$; $P_{\text{parc}} : + 26 \text{ g m}^{-2}$; Ma : $P_{\text{exclos}} : + 7.1 \text{ g m}^{-2}$; $P_{\text{parc}} : + 8.6 \text{ g m}^{-2}$) sont cohérents avec la production de biomasse en exclos. Les réponses de la végétation dans les zones en exclos semblent similaires à celles de la végétation dans le parc. Cependant, pour le contrôle, le fait que le stock de biomasse n'augmente pas de manière significative depuis mars est essentiellement lié à l'hétérogénéité au sein du parc. Effectivement, les erreurs standards augmentent de 2 à 2.5 fois par rapport à mars, ce qui signifie que dans certaines zones suivies, le stock de biomasse a augmenté. De plus, en regardant les moyennes du stock du parc, celles-ci sont plus grandes de + 24 g m^{-2} sur Braize et + 15 g m^{-2} sur Marmanhac depuis mars, ce qui est respectivement 3.1 et 3.6 fois plus important que la biomasse de repousse en exclos (Br : + 7.5 g m^{-2} ; Ma : + 4.1 g m^{-2}). Les zones suivies en exclos, se situent dans la moyenne basse du parc, dans une zone contrôle peu productive en biomasse.

La réponse de la végétation des différents traitements en absence de pâturage dans le parc semble être la même que la végétation en exclos. Cependant, avec l'hétérogénéité en contrôle, la réponse en exclos semble sous-estimée.

Fin du printemps – Période de pleine croissance

Période de repousse : Braize : 3 mai – 31 mai ; Marmanhac : 7 mai – 2 juin

1) Microclimat (mai-juin)

Comme pour les autres périodes, l'ombrage induit par la présence des panneaux est toujours très marqué, de l'ordre de 92% pour les deux sites (Braize : $P = 46.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $C = 612 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; Marmanhac : $P = 48.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; $C = 597.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Sur la période, les conditions microclimatiques se sont nettement améliorées, avec plus de précipitations : 80 mm sur Braize, et 141 mm sur Marmanhac et des températures plus chaudes. La température de l'air (moyenne journalière) a atteint 12.95°C ($+5.9^\circ\text{C}$) sur Braize et 10.93°C ($+4.7^\circ\text{C}$) sur Marmanhac. Cela se traduit par une augmentation des température maximales et minimales depuis le début du printemps.

Dans le sol, la température et l'humidité du sol ont augmenté dans les trois traitements et les deux sites. Des effets entre les traitements sont observés sur ces deux variables. La température du sol est plus fraîche de 3.5°C sur Braize ($P = 12.1 \pm 0.07^\circ\text{C}$; $C = 15.6 \pm 0.06^\circ\text{C}$; Figure 18.a) et de 3.1°C sur Marmanhac ($P = 9.99 \pm 0.05^\circ\text{C}$; $C = 13.1 \pm 0.1^\circ\text{C}$; Figure 18.b) par rapport à la zone sans influence des panneaux. De plus, l'humidité du sol sous les panneaux est plus faible qu'en contrôle ($P = 12.3 \pm 1.1\%$; $C = 17.5 \pm 1\%$; Figure 18.c) mais uniquement sur Braize (valeurs similaires sur Marmanhac : $P = 33.4 \pm 2.14\%$; $C = 35.8 \pm 1\%$; Figure 18.d).

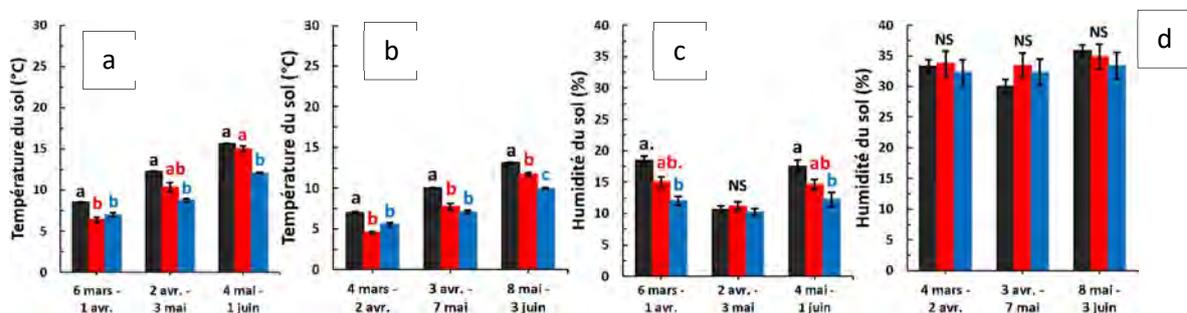


Figure 18 : Moyenne de la température (gauche) et de l'humidité (droite) du sol sur une période de repousse de la végétation sur le site de Braize (a ; c) et sur le site de Marmanhac (b ; d). Pour chaque période, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA (c) et le test post-hoc de Tukey ou le test de Kruskal-Wallis (a ; b ; d) et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$; un point après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

2) Réponse de la végétation (mai-juin)

Sur la période et pour les deux sites, la croissance en hauteur (moyenne journalière) continue d'augmenter (de 1.6 fois sous les panneaux et 9.6 fois en contrôle par rapport au début de la saison pour Br et 1.7 fois sous les panneaux et 57.7 fois en contrôle pour Ma). Celle-ci est toujours nettement plus importante sous les panneaux, quel que soit le site : 1.5 fois par rapport au contrôle sur Braize ($P = 0.60 \pm 0.03 \text{ cm j}^{-1}$; $I = 0.40 \pm 0.03 \text{ cm j}^{-1}$; $C = 0.40 \pm 0.04 \text{ cm j}^{-1}$; Figure 16.a) et 1.7 fois sur Marmanhac

($P = 0.60 \pm 0.06 \text{ cm j}^{-1}$; $I = 0.43 \pm 0.04 \text{ cm j}^{-1}$; $C = 0.35 \pm 0.02 \text{ cm j}^{-1}$; Figure 16.b). La croissance en inter-rangée est similaire au contrôle sur Braize et intermédiaire sur Marmanhac.

Lors de cette période de pleine croissance, l'indice de verdissement sur Braize est resté stable en inter-rangée et contrôle, cependant, il est sous les panneaux 23% plus grand depuis le début du printemps et 16% plus grand qu'en inter-rangée ($P = 0.55 \pm 0.02$; $I = 0.47 \pm 0.04$; $C = 0.51 \pm 0.02$; Figure 16.c). L'indice en contrôle est intermédiaire. Sur Marmanhac, l'indice a augmenté dans les trois traitements en étant 24% plus grand en contrôle, 15% en inter-rangée et 48% sous les panneaux par rapport au début de la saison. Le traitement contrôle et inter-rangée reste néanmoins respectivement 16 % et 22 % plus élevé qu'à l'ombre des panneaux ($P = 0.65 \pm 0.04$; $I = 0.79 \pm 0.01$; $C = 0.75 \pm 0.02$; Figure 16.d). Cette augmentation viendrait de la croissance supérieure à la sénescence des feuilles. En effet, le pourcentage de végétation sèche visible sur Braize a très légèrement diminué sous les panneaux (12.11% (-3%)). Ceci est le cas aussi sur Marmanhac où la végétation sèche est 1.7 fois moins présente sous les panneaux et 3.9 fois plus faible en inter-rangée par rapport au début de la saison ($P = 19.28 \%$; $I = 3.61 \%$; $C = 5.67 \%$).

C'est sur le site de Marmanhac, à la fin du printemps, durant la pleine croissance, que l'indice NDVI atteint les valeurs les plus hautes en étant à 0.75 en contrôle et à 0.79 en inter-rangée. Pour comparaison, l'indice NDVI, sur Braize, à la même période, est à 0.5 en contrôle et 0.47 en inter-rangée. Outre l'effet non négligeable du pourcentage de sol nu, sur Braize, 10 fois supérieur en inter-rangée et 3.5 fois supérieur en contrôle par rapport au site de Marmanhac, ces différences entre sites pourraient refléter les différences de fertilité des sols des deux sites, si on exclut l'effet diversité végétale. Effectivement, la teneur en azote total du sol est en moyenne 11 fois supérieure sur Marmanhac avec 0.6% de matière sèche contre 0.05 % de matière sèche sur Braize. L'azote étant un constituant majeur de la chlorophylle, ce taux plus élevé en azote du sol sur Marmanhac permet de contribuer à des feuilles et limbes plus verts. Ceci est aussi visible par la teneur en azote total de la végétation qui est pour cette période, sur Marmanhac, 1.53 fois plus élevé en contrôle, par rapport au site de Braize. Ce coefficient est de 1.86 fois en inter-rangée et 1.34 fois sous les panneaux (voir la partie qualité du fourrage).

Lors de la dernière coupe à la fin du printemps (fin mai et début juin), sur les deux sites, la quantité de biomasse sous les panneaux est augmentée de 1.6 fois (Braize) à 4.7 fois (Marmanhac) par rapport au début du printemps. Cependant, la biomasse est 38% (Braize) à 50% (Marmanhac) plus faible sous les panneaux comparés aux traitements contrôle (Braize : $P = 38.92 \pm 2.05 \text{ g.m}^{-2}$; $I = 51.31 \pm 5.59 \text{ g.m}^{-2}$; $C = 73.39 \pm 6.67 \text{ g.m}^{-2}$; Figure 19) et aussi l'inter-rang pour Marmanhac ($P = 33.46 \pm 5.18 \text{ g.m}^{-2}$; $I = 60.40 \pm 4.26 \text{ g.m}^{-2}$; $C = 72.25 \pm 6.59 \text{ g.m}^{-2}$; Figure 19). La production de biomasse mesurée sous les panneaux n'est donc pas corrélée à la croissance en hauteur journalière. Cet écart de réponse entre hauteur et biomasse pourrait s'expliquer par une baisse de la densité de végétation sous les panneaux, dont le sol nu est un proxy. En effet, il reste 2.2 fois plus important sous les panneaux qu'en contrôle sur Braize ($P = 40.67 \pm 4.08 \%$; $C = 18.11 \pm 1.65 \%$) et Marmanhac ($P = 11.44 \pm 1.25 \%$; $C = 5.22 \pm 2.45 \%$).

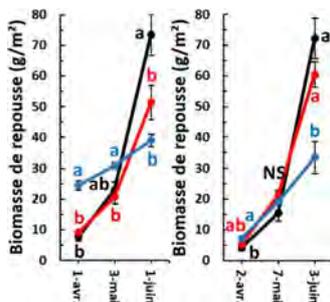


Figure 19 : Dynamique temporelle de la biomasse de repousse par traitement en exclos sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA et un test post-hoc de Tukey (gauche) ou le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn (droite) ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.



Illustration 6 : Photographies prises sur le site de Braize, début mai, montrant la différence de densité de la végétation sur les quadrats coupés à 5 cm sous panneaux (gauche) et en contrôle (droite)

La végétation, bien qu'elle ait une croissance en hauteur plus importante à l'ombre des panneaux grands, ne présente pas une biomasse plus élevée. Le traitement contrôle possède une végétation plus petite mais doit comporter une plus grande densité de végétation, des tissus à des stades phénologiques plus variés (tiges florales, ratio feuilles/tiges plus faible) et ce qui permet, à terme, d'avoir une production de biomasse plus importante.

Ces effets sont aussi dépendants de la biologie des espèces présentes et de la plasticité phénotypique et physiologique liée aux contraintes du microclimat.

3) Dans le parc, en présence d'ovins (mai-juin)

Dans le parc, en présence de moutons, l'indice de verdissement de la végétation sous les panneaux (0.60 ± 0.01 ; Figure 17) dans le parc de Braize est stable dans le temps depuis le début du printemps et présente la même réponse que l'exclos en ne différant pas du contrôle (0.59 ± 0.02). Cependant, sur Marmanhac, alors que le NDVI en exclos était plus faible sous les panneaux, il ne diffère pas non plus ($P : 0.62 \pm 0.01$; Figure 17) dans le parc par rapport au contrôle (0.64 ± 0.01). La différence avec l'exclos provient de la quantité de sol nu visible du fait des coupes sur le même transect. L'inter-rangée présente la même réponse qu'en exclos, sur Braize ($I = 0.49 \pm 0.01$), le NDVI est 18% plus faible que sous les panneaux alors que sur Marmanhac ($I = 0.67 \pm 0.01$), le NDVI est 8% plus grand.

Durant cette période de pleine croissance, uniquement le stock de biomasse sous les panneaux sur Marmanhac est statistiquement 100% plus élevé qu'au début du printemps. Cependant, en regardant depuis la fin de l'hiver, tous les traitements présentent une augmentation significative de leur stock en biomasse, on peut donc considérer qu'ils ont augmenté depuis le début du printemps car ils ne sont pas différents statistiquement entre le prélèvement de mars et avril. Tous les traitements sur

Marmanhac ont doublé leur stock de biomasse depuis le début du printemps ($P = 44.18 \pm 4.49 \text{ g.m}^{-2}$; $I = 23.23 \pm 2.59 \text{ g.m}^{-2}$; $C = 46.38 \pm 14.79 \text{ g.m}^{-2}$; Figure 20) alors que sur Braize, le contrôle est 144 % plus important, 26% plus important en inter-rangée et 27 % plus important sous les panneaux ($P = 66.09 \pm 8.17 \text{ g.m}^{-2}$; $I = 29.84 \pm 5.3 \text{ g.m}^{-2}$; $C = 96.76 \pm 28.93 \text{ g.m}^{-2}$; Figure 20). A la fin du printemps, le stock de biomasse sous les panneaux est 121% et 90% plus important qu'en inter-rangée respectivement sur Braize et Marmanhac. Le traitement contrôle est similaire au traitement panneaux sur Braize et Marmanhac.

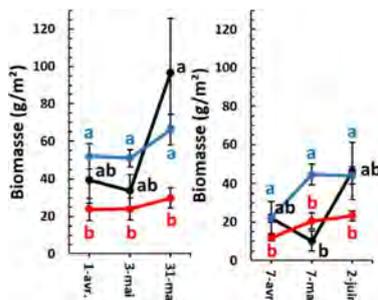


Figure 20 : Dynamique temporelle du stock de biomasse (droite) par traitement sur le parc, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$; un symbole après une lettre indique une p-value marginale. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle ; les pointillés délimitent la période sans coupe.

La production de biomasse dans l'exclos montre une production égale à plus importante à la fin du printemps en inter-rangée comparé à celles sous les panneaux. Cependant, le stock de biomasse présente une réponse inversée, le stock de biomasse est plus important sous les panneaux qu'en inter-rangée. Etant donné que les zones suivies en exclos sont représentatives du parc en lien avec la réponse du stock en absence d'ovins, cette différence de réponse entre les deux conditions serait dû à la consommation ovine. Sur le dernier mois de repousse de mai à juin, les ovins auraient consommé sous les panneaux, 24 g m^{-2} et 34 g m^{-2} , respectivement sur Braize et Marmanhac, et en inter-rangée 45 g m^{-2} et 58 g m^{-2} .

Depuis avril, en cumulé, l'exclos a produit $+70 \text{ g m}^{-2}$ sous les panneaux et $+72 \text{ g m}^{-2}$ en inter-rangée sur Braize. L'écart du stock de biomasse entre avril et juin dans le parc est de $+14 \text{ g m}^{-2}$ sous les panneaux et $+6 \text{ g m}^{-2}$ en inter-rangée. La consommation sur Braize serait de 56 g m^{-2} sous les panneaux et 66 g m^{-2} en inter-rangée. Sur Marmanhac, pour une production de biomasse, en exclos de $+53 \text{ g m}^{-2}$ sous panneaux et $+82 \text{ g m}^{-2}$ en inter-rangée et un écart du stock du parc de $+22 \text{ g m}^{-2}$ et $+11 \text{ g m}^{-2}$ respectivement, la consommation serait de 30 g m^{-2} sous les panneaux et 70 g m^{-2} en inter-rangée sur 2 mois cumulés.

Durant cette période, la consommation des ovins semble plus importante en inter-rangée plutôt que sous les panneaux.

Une année de cumul de biomasse de repousse

En faisant le cumul de la quantité de biomasse produite après les huit prélèvements, sur les deux sites, la biomasse mesurée en contrôle, est intermédiaire aux deux autres traitements. Cependant, la réponse des deux autres traitements est variable entre les sites. Effectivement, sur Braize, la biomasse sous les panneaux ($1.94 \pm 0.04 \text{ t ha}^{-1}$; Figure 21) est 1.54 fois plus importante qu'en inter-rangée ($1.26 \pm 0.08 \text{ t ha}^{-1}$) alors qu'elle est 23% plus faible sur Marmanhac ($P = 1.54 \pm 0.14 \text{ t ha}^{-1}$; $I = 2.01 \pm 0.06 \text{ t ha}^{-1}$).

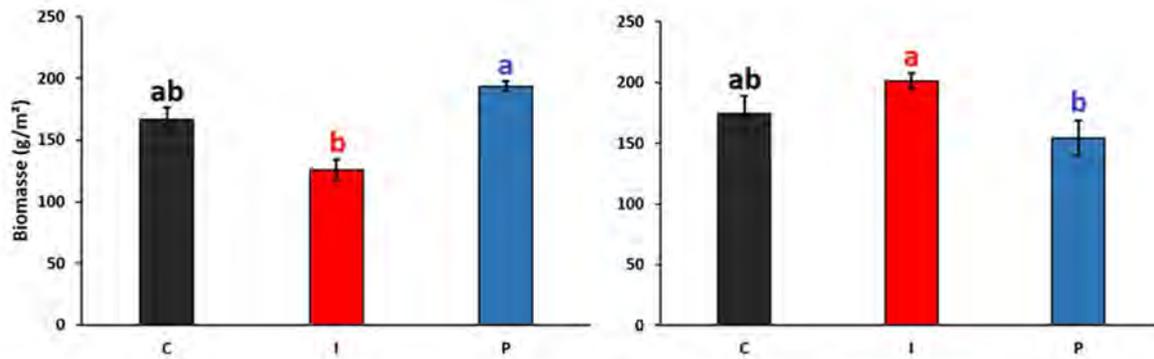


Figure 21 : Cumul de biomasse ($g\ m^{-2}$) mesurée de juillet 2020 à juin 2021, après huit coupes, en exclos, et pour chaque traitement, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après une ANOVA et un test post-hoc de Tukey ; NS : $P > 0.05$. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Bien que la croissance en hauteur puisse être favorisée sous les panneaux, la présence de sol nu et les contraintes liées aux conditions d'ombrage diminue la densité de végétation et modifie les stades phénologiques (absence de tiges florales, ratio feuilles/tiges élevé), ce qui contrebalance cet avantage sur la production de biomasse mesurée sans influence du pâturage. Cependant, ce résultat ne prend en compte qu'un cumul de la biomasse sur des quadrats. Pour calculer une équivalence des terres (LER), il faut prendre en compte l'empreinte des panneaux solaires au sol avec notamment les surfaces des structures (mât, socle de support...). De la même façon, les zones sans influences des panneaux solaires au sein d'un parc agrivoltaïque comportent aussi des chemins d'accès, des postes de transformations et potentiellement des zones de stockages. Il serait pertinent de connaître les niveaux de production de prairies similaires, en termes de gestion et de pédo-climat.

La qualité du fourrage au cours de l'année

La quantité de biomasse produite après chaque repousse peut varier en fonction des saisons et entre traitements sur les deux sites. Cependant, la biomasse totale produite sur une année montre peu d'effet lié à l'influence des panneaux solaires ce qui n'est pas le cas pour la qualité de la végétation. Effectivement, l'ombre provoquée par la présence des panneaux influence nettement les teneurs en azote total, en carbone total et en fibres totales présentes dans le fourrage.

En zone d'exclos, en moyenne sur l'année et pour les deux sites, la teneur en azote total de la végétation est 1.4 à 1.5 fois plus élevée sous les panneaux ($P_{Braize} = 2.55 \pm 0.07\%$ de MS ; $P_{Marmanhac} = 3.31 \pm 0.07\%$ de MS) qu'en contrôle ($C_{Braize} = 1.86 \pm 0.09\%$ de MS ; $C_{Marmanhac} = 2.17 \pm 0.07\%$ de MS) (Figure 22). La réponse de la teneur en azote en inter-rangée est variable entre les sites. Elle est similaire à celle du contrôle sur Braize ($I = 1.82 \pm 0.1\%$ de MS) et intermédiaire sur Marmanhac ($I = 2.83 \pm 0.09\%$ de MS). Ceci est cohérent avec les conclusions obtenues sur les autres variables de la végétation et renforce l'hypothèse d'un effet structure des panneaux sur la végétation.

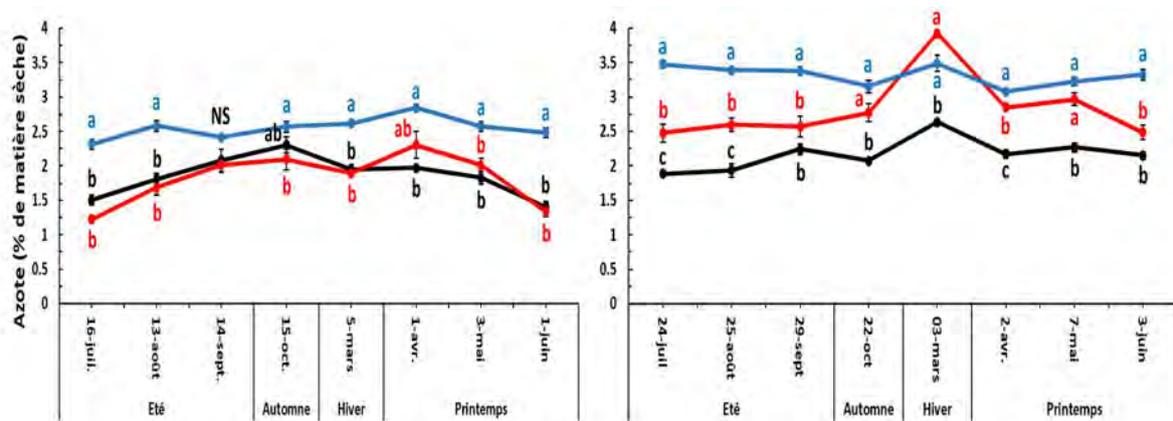


Figure 22 : Dynamique temporelle de la teneur en azote (%) mesurée en exclos, et pour chaque traitement, sur le site de Braize (gauche) et pour le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et un test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Sur les deux parcs (hors exclos), la teneur en N est inférieure d'environ 20% par rapport à celle mesurée en exclos, ce qui est lié à l'état de la végétation car la gestion a été différente entre les deux zones (pâturage aléatoire vs coupes régulières de la végétation). Cet état dépend de l'âge des tissus prélevés (plus âgé sur le parc), une baisse du rapport feuilles/tiges (les tiges contiennent moins d'azote que les feuilles) et enfin des différences entre espèces présentes dans les tris traitements.

Sur le site de Braize, l'effet observé sous les panneaux, comparé au contrôle, est plus marqué que dans la zone d'exclos, x 1.7 en moyenne et multiplié par 2 une grande partie de l'année, de juillet à mars, Figure 23). C'est lié aux faibles valeurs de N mesurées dans les traitements C et I (moyenne de 1.32%). Pour Marmanhac, la réponse est assez proche entre le parc (x 1.4) et l'exclos (x 1.5), avec des effets de l'ordre de x 1.8-1.9 en été et automne. Comme pour l'exclos, l'inter-rang présente une réponse plus ou moins similaire au contrôle (Braize) ou au traitement panneau (Marmanhac).

Ceci signifie que la végétation située sous les panneaux présente une proportion de protéines brutes (protéines vraies et azote d'origine non protéique) plus importantes que la végétation en pleine lumière.

Quelle que soit la zone étudiée et les traitements, la végétation du site de Marmanhac présente des teneurs en N 35% plus élevées que celles mesurées sur le site de Braize. Ceci est cohérent avec les mesures de teneur en azote total du sol, qui sont en moyenne 11 fois supérieures sur Marmanhac (0.6%) que sur Braize (0.05 %), réalisées en janvier.

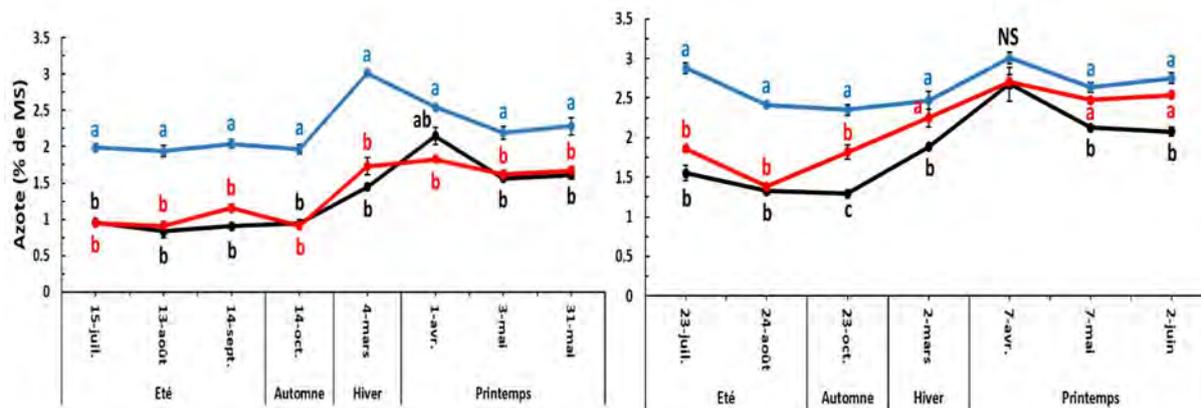


Figure 23 : Dynamique temporelle de la teneur en azote (%), mesurée dans le parc, et pour chaque traitement, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et un test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Il est attendu que l'indice NDVI, qui est une mesure indirecte des chlorophylles présentes dans les feuilles et réalisée au niveau du couvert (partie supérieure de la surface mesurée), soit corrélé à la teneur en azote des tissus végétaux. Ce qui n'est pas le cas dans notre étude, sauf lors des périodes de sécheresse. Plusieurs explications peuvent être avancées (1) la présence de sol nu et de mousse ayant des effets opposés sur les valeurs du NDVI ; (2) la précision de la mesure NDVI sur une partie de la végétation comparée à la mesure sur l'échantillon complet avec une méthode de chimie analytique.

En zone d'exclos et pour les deux sites, la végétation du traitement panneau présente des teneurs en C total quasiment toujours inférieures au traitement contrôle, en moyenne de 5 à 7% (Braize : $P = 41.2 \pm 0.61$ % de MS ; C = 44.2 ± 0.27 % de MS ; Marmanhac : $P = 42.5 \pm 0.35$ % de MS ; C = 44.9 ± 0.18 % de MS), à l'exception de la fin du printemps (fin mai-début juin) (Figure 24). La teneur en C mesurée en inter-rangé ressemble majoritairement à celle mesurée en contrôle ($I_{\text{Braize}} = 43.5 \pm 0.42$ % de MS ; $I_{\text{Marmanhac}} = 44.2 \pm 0.17$ % de MS).

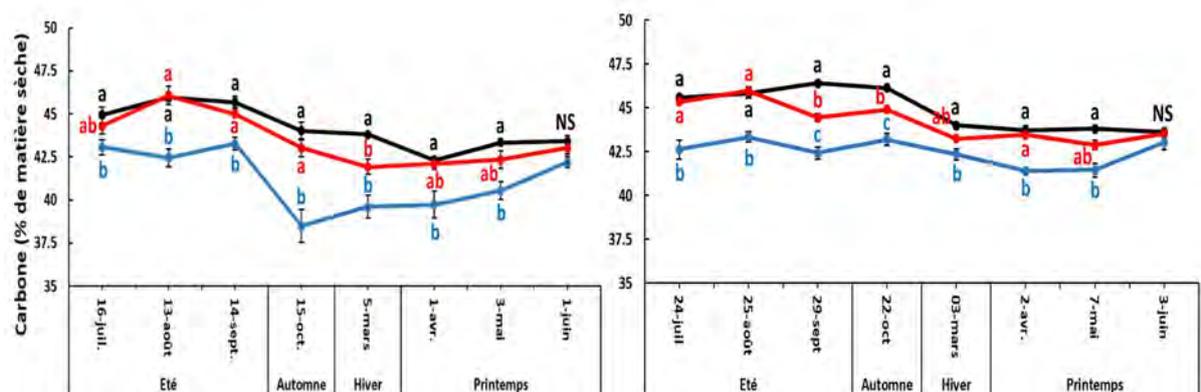


Figure 24 : Dynamique temporelle de la teneur en carbone total mesurée après repousse (%), en exclos, et pour chaque traitement, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et un test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Sur le parc, en conditions hors exclos, la teneur en carbone total de la végétation dans le parc des deux sites présente la même réponse qu'en exclos ainsi que la même teneur en carbone à chaque date (Figure 25). Uniquement en mai sur Braize, le contrôle présente une valeur plus faible dans le parc qu'en exclos, et avec une hétérogénéité plus importante. La baisse sous panneaux pourrait être liée

au stade phénologique des plantes (ratio feuilles/tiges), aux espèces présentes ainsi que probablement une plus faible concentration en sucres totaux, compte tenu des conditions de lumière très faibles.

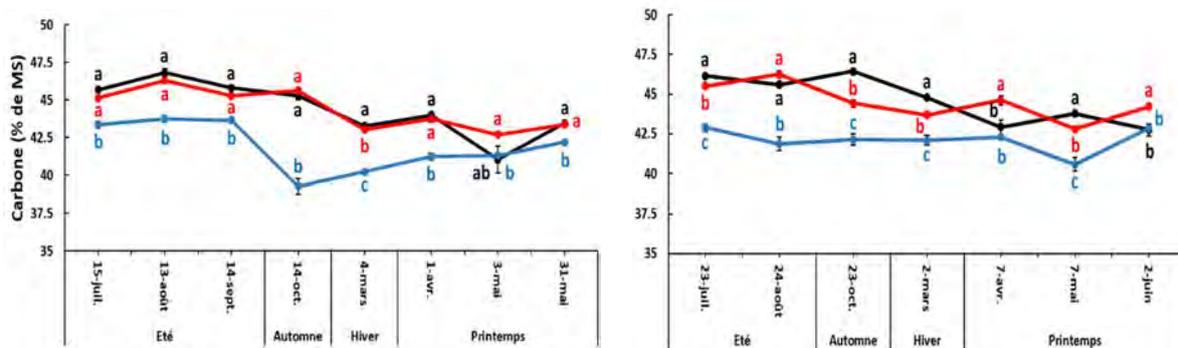


Figure 25 : Dynamique temporelle de la teneur en carbone total (%) mesurée dans le parc, et pour chaque traitement, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et un test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

En zone d'exclos, bien que, la végétation à l'ombre des panneaux ait une teneur en carbone total inférieure, la teneur en fibres totales (cellulose, hémicellulose, lignine) est 1.1 à 1.2 fois plus élevées sous les panneaux en moyenne sur l'année par rapport au contrôle (Braize : $P = 59.87 \pm 0.65$ % de MS ; C = 51.75 ± 1.27 % de MS ; Marmanhac : $P = 56.19 \pm 0.68$ % de MS ; C = 51.09 ± 0.80 % de MS) (Figure 26). Ce résultat est cohérent avec la composition botanique puisqu'il y a une majorité de poacées à l'ombre des panneaux et qui comportent plus de fibres que les dicotylédones et fabacées.

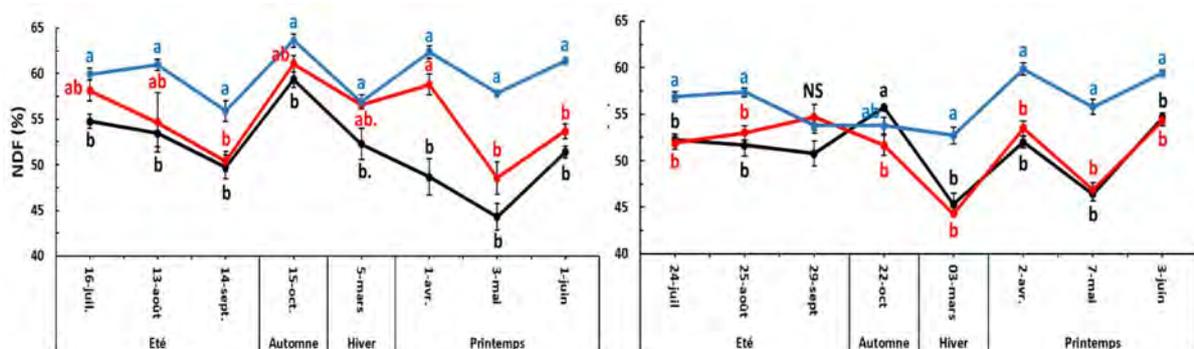


Figure 26 : Dynamique temporelle de la teneur en fibres totales mesurée après repousse (NDF, %) en exclos, et pour chaque traitement, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et un test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Sur le parc, hors exclos et pour les deux sites, la teneur en fibres totales (NDF) ne présente pas la même réponse qu'en exclos, notamment de l'été à la fin de l'hiver. Sur Braize, elle est supérieure en inter-rangée et en contrôle par rapport à la végétation sous les panneaux jusqu'à la fin de l'hiver (Figure 27). Sur Marmanhac, elle est plus élevée en inter-rangée et en contrôle en août et en mars, par rapport à l'exclos, amenant à des valeurs égales à celles mesurée sous les panneaux. De plus, la teneur en NDF sous les panneaux est similaire en exclos et dans le parc. Cette différence de réponse sur les deux sites par rapport à l'exclos en inter-rangée et en contrôle provient de la teneur en NDF qui est supérieure lors de ces périodes par rapport à l'exclos. Cette teneur en NDF supérieure peut provenir d'état de la végétation en termes de phénologie (stade reproducteur, rapport feuilles/tiges)

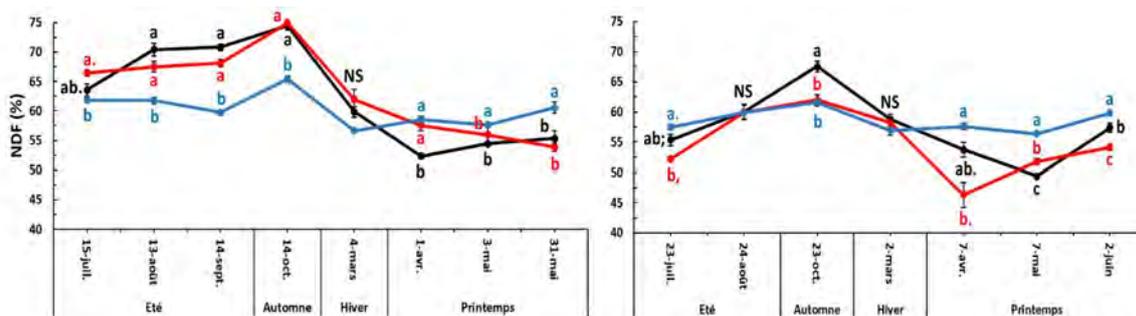


Figure 27 : Dynamique temporelle de la teneur en fibres totales (NDF, %), mesurée dans le parc, et pour chaque traitement, sur le site de Braize (gauche) et sur le site de Marmanhac (droite). Pour chaque date, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et un test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$. Moyenne \pm erreur standard. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Pour les deux sites et les deux zones étudiées (exclus et parc), la végétation présente sous les panneaux possède plus de matières azotées et moins de carbone total. Selon plusieurs études (Buxton et Fales 1994 ; Kephart 1987), l'augmentation de la teneur en N total serait liée à une concentration de l'azote dans des cellules de plus petits volumes. La diminution probable de la photosynthèse sous ombrage a des effets directs sur l'allocation du C fixé par photosynthèse et qui serait préférentiellement alloué à la formation de tissus de soutien (NDF) au détriment de la production de sucres solubles. Ceci est cohérent avec la croissance en hauteur plus importante (étiolement) comme observé sous les panneaux. La réponse pour les fibres totales est variable selon l'état de la végétation, mais cette réponse est essentiellement liée aux variations observées sur le témoin et l'inter-rang. En effet, la gestion de la végétation a des effets très marqués sur des déterminants majeurs de la qualité du fourrage, que sont le stade phénologique, le rapport feuilles/tiges, les espèces présentes.

Dans les parcs photovoltaïques, les modifications importantes du microclimat de la végétation induisent une diversité élevée de la quantité et de la qualité du fourrage qu'offrent peu ou pas les prairies sans ombrage.

Impact des ovins et comportement

Les ovins impactent logiquement la quantité de biomasse produite ainsi que le stock de fourrage dans le parc par leur piétinement et leur consommation. Cependant, il est observé que la consommation de fourrage n'avait pas la même intensité entre les traitements en fonction des périodes de l'année. Les moutons de septembre à octobre sur Marmanhac ainsi que d'avril à juin sur les deux parcs semblent présenter une intensité de pâturage plus importante en inter-rangée que sous les panneaux. La consommation en contrôle n'est pas estimable à cause de l'hétérogénéité trop importante masquant soit une productivité très hétérogène dans le parc soit des zones plus ou moins pâturées en contrôle. Une modification du protocole expérimental d'échantillonnage est à prévoir pour prendre en compte l'hétérogénéité en contrôle sur les deux parcs.

Botanique et diversité spécifique

La diversité gamma (γ) est l'ensemble des espèces présentes dans un lieu défini, ici la zone d'exclus. La diversité alpha (α) est le nombre d'espèces rencontrées dans un habitat au sein de l'exclus, ici les trois traitements.

Braize

Sur le site de Braize, en été 2020, la zone en exclos présente une diversité γ (gamma) de 35 espèces. La richesse spécifique moyenne par transect (1.5 m²) est similaire entre traitements (Figure 28). Elle varie de 14 espèces pour l'inter-rangée et sous les panneaux à 15 espèces en contrôle. Cependant, c'est sous les panneaux que la diversité α (alpha) du traitement est la plus grande avec 27 espèces correspondant à 77 % de la diversité γ . C'est aussi le traitement le plus variable spatialement avec 53 % d'espèces de la diversité α présents par transect. L'inter-rangée est le traitement le moins riche en espèces avec 54 % de la diversité γ (19 espèces). Le traitement est moins variable spatialement car 74 % de sa diversité α est présente par transect. En contrôle, 63 % de la diversité γ est présente (22 espèces). 68 % de la diversité α du traitement se retrouve par transect.

En automne 2020, la diversité γ de la zone en exclos est de 31 espèces. C'est essentiellement sous les panneaux que la diversité spécifique a diminué pour présenter 65 % de la diversité γ (20 espèces). La diversité α de l'inter-rangée (18 espèces) et du contrôle (19 espèces) sont similaires à celle sous les panneaux. La richesse spécifique par transect plus faible de 2 à 3 espèces qu'en été ne semble pas différer en moyenne entre traitement avec 12 espèces en contrôle et sous les panneaux et 13 en inter-rangée. Par transect, plus de la moitié de la diversité α par traitement est présente (C : 63% ; I : 72% ; P : 60%). Les espèces présentes sont moins variable entre transect de l'inter-rangée.

Au printemps 2021, la diversité γ de la zone en exclos est de 38 espèces. 74 % de ces espèces composent la diversité α du traitement Panneaux (28 espèces) contre 66 % en inter-rangée (25 espèces) et 55 % en Contrôle (21 espèces). En moyenne par transect, 65.7 % de la diversité α des traitements est présente. La moyenne de la richesse spécifique ne diffère pas entre traitements avec 18 espèces sous les panneaux, 17 en inter-rangée et 14 en contrôle. Ceci vient de la variabilité entre transect, effectivement, sous les panneaux la richesse spécifique par transect varie de 15 à 22 espèces et de 12 à 16 espèces en contrôle.

Conclusions Braize

Les espèces retrouvées sous les panneaux semblent être plus nombreuses entre transects notamment en été et automne 2020. A l'inverse, la végétation est plus homogène en inter-rangée notamment en été et automne 2020. La richesse spécifique par transect est équivalente entre les traitements quel que soit la saison, même si, au printemps, la richesse spécifique est plus variable entre transects.

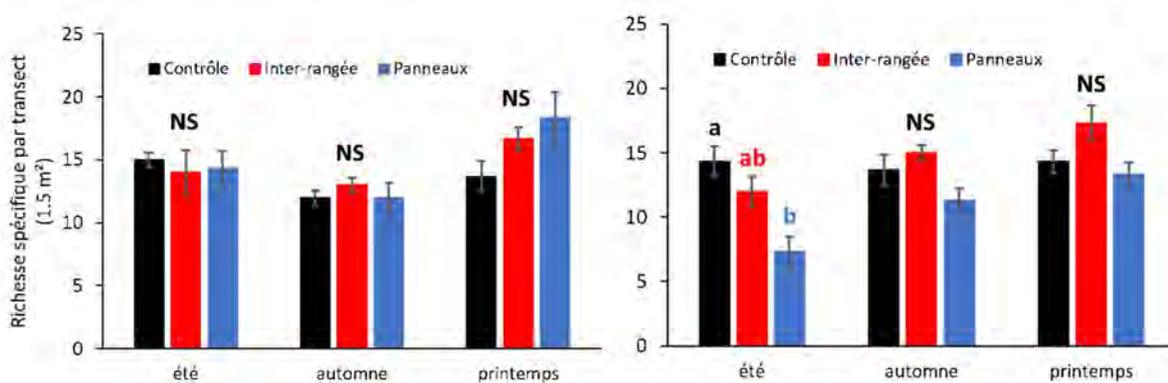


Figure 28 : Richesse spécifique moyenne par transect (\pm erreur standard) en fonction des sites (Gauche : Braize ; Droite : Marmanhac), des saisons et des traitements. Pour chaque saison, des lettres différentes indiquent des différences significatives ($P < 0.05$) d'après le test de Kruskal-Wallis et le test post-hoc de Dunn ; NS : $P > 0.05$. Légende : bleu : Panneaux ; rouge : Inter-rangée ; noir : Contrôle.

Marmanhac

Sur le site de Marmanhac, en été 2020, la zone en exclos présente une diversité γ (gamma) de 26 espèces. 77 % de la diversité γ compose la diversité α du traitement contrôle (20 espèces) (Figure 28). L'inter-rangée est composée de 62 % de la diversité γ (16 espèces) alors que sous les panneaux, le traitement possède une diversité α présentant 46 % des espèces de la diversité γ (12 espèces). Les traitements Contrôle et Inter-rangée, deux fois plus riches avec 14 et 12 espèces par transect (1.5 m²), sont moins variables spatialement (72 et 75 % de la diversité α) que le traitement panneaux qui a 61 % de sa diversité α présente par transect avec une richesse spécifique moyenne uniquement de 7 espèces et différente du traitement contrôle.

En automne 2020, la zone en exclos présente une diversité γ de 25 espèces. 80 % des espèces sont présentes en inter-rangée (20 espèces) contre 68 % en contrôle (17 espèces) et panneaux (17 espèces). Cependant, le traitement contrôle et inter-rangée semble avoir une richesse spécifique moyenne par transect semblable avec 14 et 15 espèces ce qui représente 80 et 75 % de leur diversité α . Sous les panneaux, la moyenne de la richesse spécifique ne diffère pas des autres traitements bien qu'elle soit de 11 espèces ce qui représente 67 % de la diversité α du traitement. La richesse spécifique par transect est variable au sein des traitements.

Au printemps 2021, la zone en exclos présente une diversité γ de 31 espèces. 71 % de cette diversité se retrouve dans la diversité α des traitements Inter-rangée et Panneaux avec 22 espèces. La diversité α en contrôle représente 58 % de la diversité γ (18 espèces). La variabilité de la richesse spécifique moyenne par transect ne permet pas d'affirmer de différence entre traitements. Le traitement inter-rangée avec une moyenne de 17 espèces est aussi peu variable spatialement entre transects qu'en contrôle qui comporte en moyenne 14 espèces avec 79 % de la diversité α retrouvé par transect. Sous les panneaux, la richesse spécifique moyenne est de 13 espèces et la composition botanique est la plus diversifiée par transect avec 61 % de la diversité α présente.

Conclusions Marmanhac

La diversité α la plus importante varie entre les traitements en fonction des saisons. Cependant, c'est sous les panneaux que la flore est la plus diversifiée entre les transects quelle que soit la saison bien qu'elle soit moins riche en été.

Conclusions sur la diversité végétale

La végétation présente par transect sous les panneaux semble être la plus hétérogène. Les espèces rencontrées sous les panneaux varient spatialement sur les deux sites. Cependant, la diversité α du traitement sous panneaux est variable entre les sites. Sur Marmanhac, la diversité α semble inférieure à équivalente par rapport aux autres traitements. Sur Braize, c'est l'inverse, la diversité α sous les panneaux semble équivalente à supérieure. Cette différence pourrait venir de l'ancienneté du site.

Effectivement, la présence des panneaux solaires pourrait impacter la dispersion et le recrutement de nouvelles graines. Les tables pourraient limiter voire empêcher la dispersion zoochore et anémochore. Ceci pourrait à terme diminuer la banque de graine des sols.

Rappel des effets marquants

- La quantité de lumière sous les panneaux est diminuée de 90 à 94 % selon les saisons
- Le taux d'humidité du sol entre les traitements varie en fonction de la texture du sol et des précipitations. Le gain en humidité lors de précipitations est amoindri sous les panneaux.
- La température du sol est plus fraîche sous les panneaux lors de forte chaleur et ensoleillement. En hiver, c'est en inter-rangée que la température du sol est plus fraîche. Les températures remontent plus lentement sous les panneaux.
- La croissance de la végétation est plus importante à l'abri des panneaux sauf en période d'arrêt de la croissance lié au climat.
- La reprise de la croissance est plus précoce et plus rapide sous les panneaux au début du printemps et celle-ci est prolongée d'un mois en automne sur le site de plaine sous les panneaux.
- Les panneaux permettent une protection de la végétation et une meilleure productivité durant des événements de sécheresse (observations faites en exclos).
- L'indice NDVI mesuré à l'ombre des panneaux est plus faible notamment en automne et hiver alors que la teneur en azote de la végétation est plus importante. Ceci s'explique par la présence de sol nu présent sous les panneaux quelle que soit la période de l'année
- Pour les deux sites, il y a un plus fort taux de recouvrement de mousse en inter-rangée quelle que soit la période de l'année.
- Sur l'année, le cumul de biomasse de repousse sans influence du pâturage est similaire entre la zone Contrôle et les zones avec influence de la présence des panneaux solaires (Panneaux et Inter-rangée), seule la réponse de l'inter-rang varie entre site.
- En exclos, la végétation sous les panneaux présente un taux d'azote plus élevé mais en même temps plus fibreuses, alors que la végétation qui pousse à la lumière est plus riche en carbone total. Dans le parc, la réponse change pour le NDF car le NDF mesuré en contrôle et inter-rang est plus grand. Ceci s'explique par la gestion appliquée sur la végétation dans les deux zones du parc qui modifie le stade phénologique, le ratio feuilles/tiges et les espèces présentes.
- La diversité α des traitements est variable entre site et entre saisons. Elle tend à être inférieure sous les panneaux sur Marmanhac mais supérieure sur Braize.
- La richesse spécifique moyenne par transect (1.5 m²) ne diffère pas entre traitements, sauf en été sur Marmanhac.
- Les espèces végétales rencontrées sous les panneaux sont plus diversifiées spatialement.

A surveiller

(Illustration 7)

- Evolution de la quantité de sol nu sous les panneaux pouvant être liée à la contrainte de la limitation en rayonnement mais aussi à l'effet splash lors de précipitations et des perturbations ovines (couchage).
- Evolution de la quantité de mousses en inter-rangée pouvant être liée à l'effet couloir entre les rangées de panneaux solaires sur l'état du sol mais aussi par rapport au microclimat (plus humide, moins venté).
- [Hors exclos] Evolution de la présence d'espèces telles que le jonc, les fougères, orties et ronces paraissant proliférantes notamment sous les panneaux solaires.
- Evolution à long terme de la diversité α qui pourrait diminuer sous les panneaux.



Illustration 7 : Photographies montrant les effets à surveiller. A) Sol nu lié à l'effet « splash » sous panneaux ; B) Sol nu lié aux perturbations ovines sous panneaux ; C) Mousse (vert clair) en inter-rangée ; D) Espèces proliférantes sous panneaux non désirés pour le pâturage (fougère et jonc)

Références

Buxton, D.R. et Fales, S.L. (1994). Plant Environment and Quality. Chapter 4 in Forage Quality, Evaluation, and Utilization, G.C. Fahey (Ed.). <https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c4>

Kephart, K. D. (1987). Irradiance level effects on plant growth, nutritive quality, and energy exchange of C3 and C4 grasses. *Retrospective Theses and Dissertations*. 8551. <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/8551>

Madej L. (2020). Dynamique végétale sous l'influence de panneaux photovoltaïques sur deux sites prairiaux pâturés. Rapport de stage, Master 2 PNB : Patrimoine Naturel et Biodiversité, Université de Rennes 1, 25pp.

Remerciements

Laurence Andanson (UREP VetAgro Sup) pour sa contribution aux analyses C et N, Sandrine Revaillet (UREP) pour ses conseils en analyses NDF, Isabelle Bosio pour ses conseils pour le traitement des échantillons de sol et l'ensemble des collègues de l'UREP pour les échanges fructueux.

N° 507

N° 137

ASSEMBLÉE NATIONALE

SÉNAT

CONSTITUTION DU 4 OCTOBRE 1958

SEIZIÈME LÉGISLATURE

SESSION ORDINAIRE DE 2021-2022

Enregistré à la Présidence de l'Assemblée nationale
le 22 novembre 2022.

Enregistré à la Présidence du Sénat le 22 novembre 2022.

PROJET DE LOI

de finances rectificative pour 2022,

TEXTE ÉLABORÉ PAR LA COMMISSION MIXTE PARITAIRE

Voir les numéros :

Assemblée nationale (16^{ème} législ.) : Première lecture : 393, 439 et T.A. 27

Sénat : Première lecture : 113, 124 et T.A. 22 (2022-2023)

Commission mixte paritaire : 136 (2022-2023)

Projet de loi de finances rectificative pour 2022

Article liminaire

La prévision de solde structurel et de solde effectif de l'ensemble des administrations publiques pour 2022 s'établit comme suit :

*Cadre potentiel LPFP 2018-2022 (en points de produit intérieur brut *)*

| | Exécution 2021 | Prévision 2022 |
|---|----------------|----------------|
| Solde structurel (1) | -4,5 | -3,7 |
| Solde conjoncturel (2) | -2,0 | -1,2 |
| Mesures ponctuelles et temporaires (3) | -0,1 | -0,1 |
| Solde effectif (1 + 2 + 3) | -6,5 | -5,0 |

** Les montants figurant dans le présent tableau sont arrondis au dixième de point le plus proche ; il résulte de l'application de ce principe que le montant arrondi du solde effectif peut ne pas être égal à la somme des montants entrant dans son calcul.*

PREMIÈRE PARTIE

CONDITIONS GÉNÉRALES DE L'ÉQUILIBRE FINANCIER

TITRE I^{ER}

DISPOSITIONS RELATIVES AUX RESSOURCES

Article 1^{er} A

Le 1 du V de l'article 151 *septies* A du code général des impôts est ainsi modifié :

1° Au *b*, les mots : « à la suite de » sont remplacés par les mots : « dans les deux années suivant » ;

2° À la fin du *c*, les mots : « d'un an » sont remplacés par les mots : « de deux ans ».

.....

Article 2 bis A

(Supprimé)

.....

TITRE II

DISPOSITIONS RELATIVES À L'ÉQUILIBRE DES RESSOURCES ET DES CHARGES

Article 3

I. – Pour 2022, l'ajustement des ressources tel qu'il résulte des évaluations révisées figurant à l'état A annexé à la présente loi et la variation des charges du budget de l'État sont fixés aux montants suivants :

(En millions d'euros *)

| | Ressources | Charges | Solde |
|--|-------------------|----------------|---------------|
| Budget général | | | |
| Recettes fiscales brutes / dépenses brutes | 6 769 | 6 846 | |
| À déduire : Remboursements et dégrèvements..... | 2 579 | 2 579 | |
| Recettes fiscales nettes / dépenses nettes..... | 4 189 | 4 267 | |
| Recettes non fiscales | 990 | | |
| Recettes totales nettes / dépenses nettes..... | 5 179 | 4 267 | |
| À déduire : Prélèvements sur recettes au profit des collectivités territoriales et de l'Union européenne | -2 253 | | |
| Montants nets pour le budget général | 7 432 | 4 267 | +3 165 |
| Évaluation des fonds de concours et crédits correspondants | 0 | 0 | |
| Montants nets pour le budget général, y compris fonds de concours..... | 7 432 | 4 267 | |
| Budgets annexes | | | |
| Contrôle et exploitation aériens..... | 281 | -13 | +294 |
| Publications officielles et information administrative | 10 | -2 | +12 |
| Totaux pour les budgets annexes | 291 | -15 | +306 |
| Évaluation des fonds de concours et crédits correspondants : | | | |
| Contrôle et exploitation aériens..... | 0 | 0 | |
| Publications officielles et information administrative | 0 | 0 | |
| Totaux pour les budgets annexes, y compris fonds de concours..... | 291 | -15 | |
| Comptes spéciaux | | | |
| Comptes d'affectation spéciale..... | 101 | -1 839 | +1 940 |
| Comptes de concours financiers..... | 1 129 | 442 | +687 |

| | | | |
|---|--|--|---------------|
| Comptes de commerce (solde) | | | - |
| Comptes d'opérations monétaires (solde)..... | | | - |
| Solde pour les comptes spéciaux..... | | | 2 627 |
| Solde général | | | +6 099 |

** Les montants figurant dans le présent tableau sont arrondis au million d'euros le plus proche ; il résulte de l'application de ce principe que le montant arrondi des totaux et sous-totaux peut ne pas être égal à la somme des montants arrondis entrant dans son calcul.*

II. – Pour 2022 :

1° Les ressources et les charges de trésorerie qui concourent à la réalisation de l'équilibre financier sont évaluées comme suit :

(En milliards d'euros)

| | |
|---|--------------|
| Besoin de financement | |
| Amortissement de la dette à moyen et long termes | 145,8 |
| <i>Dont remboursement du nominal à valeur faciale.....</i> | <i>140,8</i> |
| <i>Dont suppléments d'indexation versés à l'échéance (titres indexés).....</i> | <i>5,0</i> |
| Amortissement de la dette reprise de SNCF Réseau | 3,0 |
| Amortissement des autres dettes reprises..... | 0 |
| Déficit budgétaire | 170,9 |
| Autres besoins de trésorerie..... | -15,4 |
| Total..... | 304,3 |
| Ressources de financement | |
| Émission de dette à moyen et long termes, nette des rachats..... | 260 |
| Ressources affectées à la Caisse de la dette publique et consacrées au désendettement | 1,9 |
| Variation nette de l'encours des titres d'État à court terme | 0 |
| Variation des dépôts des correspondants..... | 3,0 |
| Variation des disponibilités du Trésor à la banque de France et des placements de trésorerie de l'État..... | 50,4 |
| Autres ressources de trésorerie..... | -11,0 |
| Total..... | 304,3 |

;

2° Le plafond de la variation nette, appréciée en fin d'année et en valeur nominale, de la dette négociable de l'État d'une durée supérieure à un an demeure inchangé.

III. – Pour 2022, le plafond d'autorisation des emplois rémunérés par l'État, exprimé en équivalents temps plein travaillé, est porté à 1 942 377.

SECONDE PARTIE

MOYENS DES POLITIQUES PUBLIQUES ET DISPOSITIONS SPÉCIALES

TITRE I^{ER}

AUTORISATIONS BUDGÉTAIRES POUR 2022. – CRÉDITS DES MISSIONS

I. – AUTORISATION DES CRÉDITS DES MISSIONS

Article 4

I. – Il est ouvert aux ministres, pour 2022, au titre du budget général, des autorisations d'engagement et des crédits de paiement supplémentaires s'élevant respectivement aux montants de 13 059 528 298 € et de 12 891 005 071 € conformément à la répartition par mission donnée à l'état B annexé à la présente loi.

II. – Il est annulé pour 2022, au titre du budget général, des autorisations d'engagement et des crédits de paiement s'élevant respectivement aux montants de 6 283 347 086 € et de 6 045 121 815 €, conformément à la répartition par mission donnée à l'état B annexé à la présente loi.

.....

Article 6

I. – Il est annulé pour 2022, au titre des comptes d'affectation spéciale, des autorisations d'engagement et des crédits de paiement s'élevant respectivement aux montants de 2 007 000 000 € et de 2 007 000 000 €, conformément à la répartition par mission donnée à l'état D annexé à la présente loi.

II. – Il est ouvert aux ministres, pour 2022, au titre des comptes d'affectation spéciale, des autorisations d'engagement et des crédits de paiement supplémentaires s'élevant respectivement aux montants de 208 218 617 € et de 168 218 617 €, conformément à la répartition par mission donnée à l'état D annexé à la présente loi.

III. – Il est annulé pour 2022, au titre des comptes de concours financiers, des autorisations d'engagement et des crédits de paiement s'élevant respectivement aux montants de 174 558 810 € et de 171 878 810 €, conformément à la répartition par mission donnée à l'état D annexé à la présente loi.

IV. – Il est ouvert aux ministres, pour 2022, au titre des comptes de concours financiers, des autorisations d'engagement et des crédits de paiement supplémentaires s'élevant respectivement aux montants de 613 757 192 € et de 613 757 192 €, conformément à la répartition par mission donnée à l'état D annexé à la présente loi.

II. – PLAFONDS DES AUTORISATIONS D'EMPLOIS

.....

TITRE II

AUTRES DISPOSITIONS

I. – MESURES FISCALES ET MESURES BUDGÉTAIRES NON RATTACHÉES

.....

Article 9 C

I. – Le code général des impôts est ainsi modifié :

1° Le I de l'article 1586 est ainsi modifié :

a) Au 3°, les mots : « qui n'est pas affectée » sont remplacés par les mots : « ainsi que la part de la composante de l'imposition forfaitaire sur les entreprises de réseaux relative aux centrales de production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque prévue à l'article 1519 F qui ne sont pas affectées » ;

b) Au 4°, les mots : « photovoltaïque ou » sont supprimés ;

2° Le I *bis* de l'article 1609 *nonies* C est ainsi modifié :

a) Au *c* du 1, les mots : « photovoltaïque ou » sont remplacés par les mots : « photovoltaïque installées avant le 1^{er} janvier 2023, ou d'origine » ;

b) Le même *c* est complété par un alinéa ainsi rédigé :

« Pour les centrales de production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque installées à compter du 1^{er} janvier 2023, les établissements publics de coopération intercommunale mentionnés au I de l'article 1379-0 *bis* sont substitués aux communes membres à hauteur de 60 % du produit de la composante de l'imposition forfaitaire sur les entreprises de réseaux perçu par ces dernières. Ils perçoivent également 20 % du produit total de la même composante ; » ;

c) Après le 1 *bis*, il est inséré un 1 *ter* ainsi rédigé :

« 1 *ter* Sur délibération de la commune d'implantation des installations prise dans les conditions prévues au I de l'article 1639 A *bis*, d'une fraction du produit perçu par la commune des composantes de l'imposition forfaitaire sur les entreprises de réseaux relatives aux centrales de production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque installées à compter du 1^{er} janvier 2023, prévue à l'article 1519 F ; ».

II. – Le I s'applique aux centrales de production d'énergie électrique d'origine photovoltaïque installées à compter du 1^{er} janvier 2023.

Article 9 DA

I. – À la seconde phrase du 16° du I et à la seconde phrase du 5° du II de l'article 1379 du code général des impôts, le mot : « reverse » est remplacé par les mots : « peut reverser ».

II. – Les délibérations prévoyant les modalités de reversement, au titre de 2022, de tout ou partie de la taxe perçue par la commune à l'établissement public de coopération intercommunale ou au groupement de collectivités dont elle est membre demeurent applicables tant qu'elles n'ont pas été rapportées ou modifiées par une délibération prise dans un délai de deux mois à compter de la publication de la présente loi.

III. – La perte de recettes résultant pour les collectivités territoriales des I et II est compensée, à due concurrence, par une majoration de la dotation globale de fonctionnement.

IV. – La perte de recettes résultant pour l'État du III est compensée, à due concurrence, par la création d'une taxe additionnelle à l'accise sur les tabacs prévue au chapitre IV du titre I^{er} du livre III du code des impositions sur les biens et services.

Article 9 D

Après le mot : « régissent », la fin du premier alinéa du *b* du 6^o de l'article 1382 du code général des impôts est ainsi rédigée : « , par les groupements d'intérêt économique constitués entre exploitations agricoles ou par les sociétés exclusivement constituées entre associés exploitants agricoles à condition que ces bâtiments ne soient utilisés qu'au titre des exploitations agricoles de ces mêmes associés. »

Article 9 E

I. – L'article 1635 *quater* J du code général des impôts est ainsi modifié :

1^o Au 3^o, le montant : « 200 € » est remplacé par le montant : « 250 € » ;

2^o Il est ajouté un alinéa ainsi rédigé :

« Le montant prévu au 3^o du présent article est actualisé le 1^{er} janvier de chaque année en fonction du dernier indice du coût de la construction publié par l'Institut national de la statistique et des études économiques. Ce montant est arrondi, s'il y a lieu, à l'euro inférieur. »

II. – Par dérogation à l'article 14 de l'ordonnance n° 2022-883 du 14 juin 2022 relative au transfert à la direction générale des finances publiques de la gestion de la taxe d'aménagement et de la part logement de la redevance d'archéologie préventive, le 1° du I du présent article s'applique aux opérations afférentes aux autorisations d'urbanisme délivrées à compter du 1^{er} janvier 2023, à l'issue d'une demande de permis déposée avant le 1^{er} septembre 2022 ou consécutives à une demande de permis modificatif déposée à compter du 1^{er} septembre 2022 et rattachée à une autorisation d'urbanisme initiale résultant d'une demande déposée avant cette date, de même qu'aux procès-verbaux émis à compter du 1^{er} janvier 2023 constatant l'achèvement de constructions ou d'aménagements en infraction aux obligations résultant d'une autorisation d'urbanisme.

III. – A. – Le 1° du I entre en vigueur le 1^{er} janvier 2023 et s'applique aux opérations pour lesquelles le fait générateur de la taxe d'aménagement intervient à compter de cette date.

B. – Le 2° du I entre en vigueur le 1^{er} janvier 2024.

.....

Article 9 G

I. – Le code de la sécurité sociale est ainsi modifié :

1° Le troisième alinéa de l'article L. 122-2 est supprimé ;

2° L'article L. 122-4 est abrogé ;

3° Au début de l'article L. 122-5, les mots : « les dispositions des articles L. 122-2 à L. 122-4 sont applicables » sont remplacés par les mots : « L'article L. 122-2 est applicable ».

II. – Le I est applicable à compter du 1^{er} janvier 2023.

II. – AUTRES MESURES

Écologie, développement et mobilité durables

.....

Relations avec les collectivités territoriales

Article 10

La dotation de 120 000 000 euros instituée à l'article 12 de la loi n° 2022-1157 du 16 août 2022 de finances rectificative pour 2022 au profit des départements au titre de la compensation de la revalorisation anticipée du montant forfaitaire des allocations mentionnées aux articles L. 262-2 et L. 522-14 du code de l'action sociale et des familles et résultant de l'application de l'article 9 de la loi n° 2022-1158 du 16 août 2022 portant mesures d'urgence pour la protection du pouvoir d'achat est ainsi répartie :

1° Sont exclus du bénéfice de cette dotation la collectivité territoriale de Guyane, les départements de Mayotte et de La Réunion ainsi que ceux bénéficiant de l'expérimentation prévue à l'article 43 de la loi n° 2021-1900 du 30 décembre 2021 de finances pour 2022 depuis le 1^{er} janvier 2022. Sont inclus au bénéfice de cette dotation les collectivités de Saint-Martin, de Saint-Barthélemy et de Saint-Pierre-et-Miquelon ;

2° La part de la dotation versée à chaque département éligible est égale au produit entre, d'une part, le montant de la dotation mentionné au premier alinéa du présent article et, d'autre part, le rapport entre les deux termes suivants :

a) Le montant de la dépense afférente aux allocations mentionnées au même premier alinéa prise en charge par le département au titre de l'exercice 2021, tel qu'il figure dans le compte de gestion ;

b) Le montant de la dépense afférente aux allocations mentionnées audit premier alinéa prise en charge par l'ensemble des départements au titre de l'exercice 2021, tel qu'il figure dans les comptes de gestion, à l'exclusion de celle exposée par l'État dans les départements dont la compétence d'attribution et de financement du revenu de solidarité active lui a été transférée et par les départements participant à l'expérimentation prévue à l'article 43 de la loi n° 2021-1900 du 30 décembre 2021 précitée depuis le 1^{er} janvier 2022.

Prêts à des États étrangers

.....

ÉTATS LÉGISLATIFS ANNEXÉS

ÉTAT A
(ARTICLE 3 DE LA LOI)

VOIES ET MOYENS POUR 2022 RÉVISÉS

I. – BUDGET GÉNÉRAL

(En euros)

| Numéro de ligne | Intitulé de la recette | Révision des évaluations pour 2022 |
|-----------------|--|------------------------------------|
| | 1. Recettes fiscales | |
| | 11. Impôt sur le revenu | +2 802 122 918 |
| 1101 | Impôt sur le revenu | +2 802 122 918 |
| | 12. Autres impôts directs perçus par voie d'émission de rôles | -112 467 836 |
| 1201 | Autres impôts directs perçus par voie d'émission de rôles..... | -112 467 836 |
| | 13. Impôt sur les sociétés | +2 257 321 198 |
| 1301 | Impôt sur les sociétés | +2 257 321 198 |
| | 13 bis. Contribution sociale sur les bénéfiques des sociétés | +11 263 128 |
| 1302 | Contribution sociale sur les bénéfiques des sociétés..... | +11 263 128 |
| | 13 ter. Contribution de la Caisse des dépôts et consignations représentative de l'impôt sur les sociétés | -104 000 000 |
| 1303 | Contribution de la Caisse des dépôts et consignations représentative de l'impôt sur les sociétés..... | -104 000 000 |
| | 14. Autres impôts directs et taxes assimilées | +303 134 191 |
| 1402 | Retenues à la source et prélèvements sur les revenus de capitaux mobiliers et le prélèvement sur les bons anonymes | -600 345 350 |
| 1406 | Impôt sur la fortune immobilière | +100 000 000 |
| 1408 | Prélèvements sur les entreprises d'assurance..... | -209 887 |
| 1410 | Cotisation minimale de taxe professionnelle | -508 013 |
| 1411 | Cotisations perçues au titre de la participation des employeurs à l'effort de construction | +659 191 |
| 1421 | Cotisation nationale de péréquation de taxe professionnelle..... | +442 371 |

| | | |
|------|---|-----------------------|
| 1427 | Prélèvements de solidarité | +833 617 402 |
| 1431 | Taxe d'habitation sur les résidences principales | +15 500 |
| 1498 | Cotisation foncière des entreprises (affectation temporaire à l'État en 2010) | -1 030 000 |
| 1499 | Recettes diverses | -29 507 023 |
| | 15. Taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques nette | -291 599 |
| 1501 | Taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques | -291 599 |
| | 16. Taxe sur la valeur ajoutée nette | +1 231 846 503 |
| 1601 | Taxe sur la valeur ajoutée | +1 231 846 503 |
| | 17. Enregistrement, timbre, autres contributions et taxes indirectes | +379 710 855 |
| 1701 | Mutations à titre onéreux de créances, rentes, prix d'offices | -143 910 |
| 1703 | Mutations à titre onéreux de meubles corporels..... | -199 980 |
| 1704 | Mutations à titre onéreux d'immeubles et droits immobiliers..... | +28 968 924 |
| 1706 | Mutations à titre gratuit par décès..... | +300 000 000 |
| 1721 | Timbre unique | -109 639 |
| 1753 | Autres taxes intérieures | -45 207 813 |
| 1754 | Autres droits et recettes accessoires.... | -4 035 |
| 1755 | Amendes et confiscations..... | -33 787 |
| 1756 | Taxe générale sur les activités polluantes | +19 083 |
| 1774 | Taxe spéciale sur la publicité télévisée | -163 062 |
| 1785 | Produits des jeux exploités par la Française des jeux (hors paris sportifs) | +109 215 |
| 1786 | Prélèvements sur le produit des jeux dans les casinos | +276 452 535 |
| 1787 | Prélèvement sur le produit brut des paris hippiques | -5 841 508 |
| 1788 | Prélèvement sur les paris sportifs..... | -73 380 875 |

| | | |
|--|---|---------------------|
| 1789 | Prélèvement sur les jeux de cercle en ligne..... | -554 293 |
| 1797 | Taxe sur les transactions financières... | -100 200 000 |
| 2. Recettes non fiscales | | |
| 21. Dividendes et recettes assimilées | | +581 309 668 |
| 2110 | Produits des participations de l'État dans des entreprises financières | +380 200 000 |
| 2116 | Produits des participations de l'État dans des entreprises non financières et bénéfiques des établissements publics non financiers..... | +57 000 000 |
| 2199 | Autres dividendes et recettes assimilées | +144 109 668 |
| 22. Produits du domaine de l'État | | +216 009 500 |
| 2201 | Revenus du domaine public non militaire | +216 000 000 |
| 2212 | Autres produits de cessions d'actifs.... | +9 500 |
| 23. Produits de la vente de biens et services | | +308 990 000 |
| 2301 | Remboursement par l'Union européenne des frais d'assiette et de perception des impôts et taxes perçus au profit de son budget..... | +117 500 000 |
| 2304 | Rémunération des prestations assurées par les services du Trésor public au titre de la collecte de l'épargne | +31 490 000 |
| 2399 | Autres recettes diverses..... | +160 000 000 |
| 24. Remboursements et intérêts des prêts, avances et autres immobilisations financières | | +405 133 230 |
| 2401 | Intérêts des prêts à des banques et à des États étrangers..... | +31 412 586 |
| 2402 | Intérêts des prêts du fonds de développement économique et social.. | +5 000 000 |
| 2403 | Intérêts des avances à divers services de l'État ou organismes gérant des services publics | +11 350 000 |
| 2409 | Intérêts des autres prêts et avances..... | +274 000 000 |

| | | |
|------|---|---------------------|
| 2499 | Autres remboursements d'avances, de prêts et d'autres créances immobilisées | +83 370 644 |
| | 25. Amendes, sanctions, pénalités et frais de poursuites | + 55 864 270 |
| 2501 | Produits des amendes de la police de la circulation et du stationnement routiers | +15 262 750 |
| 2503 | Produits des amendes prononcées par les autres autorités administratives indépendantes..... | +33 000 000 |
| 2513 | Pénalités | +7 601 520 |
| | 26. Divers | -577 713 260 |
| 2604 | Divers produits de la rémunération de la garantie de l'État | -391 973 056 |
| 2611 | Produits des chancelleries diplomatiques et consulaires | +53 180 492 |
| 2612 | Redevances et divers produits pour frais de contrôle et de gestion | +8 214 885 |
| 2613 | Prélèvement effectué sur les salaires des conservateurs des hypothèques..... | +769 |
| 2618 | Remboursement des frais de scolarité et accessoires..... | +654 283 |
| 2622 | Divers versements de l'Union européenne | -57 237 764 |
| 2623 | Reversements de fonds sur les dépenses des ministères ne donnant pas lieu à rétablissement de crédits | +83 447 131 |
| 2698 | Produits divers | -274 000 000 |
| | 3. Prélèvements sur les recettes de l'État | |
| | 31. Prélèvements sur les recettes de l'État au profit des collectivités territoriales | -183 678 335 |
| 3101 | Prélèvement sur les recettes de l'État au titre de la dotation globale de fonctionnement..... | -202 448 164 |

| | | |
|------|---|-----------------------|
| 3107 | Prélèvement sur les recettes de l'État au titre de la compensation d'exonérations relatives à la fiscalité locale | +19 951 144 |
| 3109 | Prélèvement sur les recettes de l'État au profit de la collectivité de Corse..... | -15 802 147 |
| 3111 | Fonds de mobilisation départementale pour l'insertion..... | -6 608 527 |
| 3130 | Dotation de compensation de la réforme de la taxe sur les logements vacants pour les communes et les établissements publics de coopération intercommunale percevant la taxe d'habitation sur les logements vacants | -572 964 |
| 3136 | Prélèvement sur les recettes de l'État au profit de la collectivité territoriale de Guyane | +27 000 000 |
| 3141 | Soutien exceptionnel de l'État au profit des collectivités du bloc communal confrontées à des pertes de recettes fiscales et domaniales du fait de la crise sanitaire..... | -46 000 000 |
| 3145 | Prélèvement sur les recettes de l'État au titre de la compensation de la réduction de 50 % des valeurs locatives de taxe foncière sur les propriétés bâties et de cotisation foncière des entreprises des locaux industriels..... | +40 802 323 |
| | 32. Prélèvement sur les recettes de l'État au profit de l'Union européenne | -2 068 854 413 |
| 3201 | Prélèvement sur les recettes de l'État au profit du budget de l'Union européenne | -2 068 854 413 |

RÉCAPITULATION DES RECETTES DU BUDGET GÉNÉRAL

(En euros)

| Numéro de ligne | Intitulé de la recette | Révision des évaluations pour 2022 |
|-----------------|--|------------------------------------|
| | 1. Recettes fiscales | +6 768 639 358 |
| 11 | Impôt sur le revenu..... | +2 802 122 918 |
| 12 | Autres impôts directs perçus par voie d'émission de rôles..... | -112 467 836 |
| 13 | Impôt sur les sociétés | +2 257 321 198 |
| 13 bis | Contribution sociale sur les bénéfices des sociétés..... | +11 263 128 |
| 13 ter | Contribution de la Caisse des dépôts et consignations représentative de l'impôt sur les sociétés | -104 000 000 |
| 14 | Autres impôts directs et taxes assimilées..... | +303 134 191 |
| 15 | Taxe intérieure de consommation sur les produits énergétiques nette..... | -291 599 |
| 16 | Taxe sur la valeur ajoutée nette | +1 231 846 503 |
| 17 | Enregistrement, timbre, autres contributions et taxes indirectes | +379 710 855 |
| | 2. Recettes non fiscales | +989 593 408 |
| 21 | Dividendes et recettes assimilées | +581 309 668 |
| 22 | Produits du domaine de l'État | +216 009 500 |
| 23 | Produits de la vente de biens et services | +308 990 000 |
| 24 | Remboursements et intérêts des prêts, avances et autres immobilisations financières | +405 133 230 |
| 25 | Amendes, sanctions, pénalités et frais de poursuites..... | + 55 864 270 |
| 26 | Divers | -577 713 260 |
| | Total des recettes brutes (1 + 2) | +7 758 232 766 |
| | 3. Prélèvements sur les recettes de l'État | -2 252 532 748 |
| 31 | Prélèvements sur les recettes de l'État au profit des collectivités territoriales . | -183 678 335 |
| 32 | Prélèvement sur les recettes de l'État au profit de l'Union européenne..... | -2 068 854 413 |

| | | |
|--|--|------------------------|
| | Total des recettes, nettes des prélèvements (1 + 2 - 3) | +10 010 765 514 |
|--|--|------------------------|

II. – BUDGETS ANNEXES

(En euros)

| Numéro de ligne | Intitulé de la recette | Révision des évaluations pour 2022 |
|-----------------|--|------------------------------------|
| | Contrôle et exploitation aériens | +281 321 928 |
| 7061 | Redevances de route | +178 800 000 |
| 7063 | Redevances pour services terminaux de la circulation aérienne pour la métropole | -6 000 000 |
| 7064 | Redevances pour services terminaux de la circulation aérienne pour l'outre-mer | +8 200 000 |
| 7067 | Redevances de surveillance et de certification . | -2 724 206 |
| 7080 | Autres recettes d'exploitation... | +34 729 509 |
| 7501 | Taxe de l'aviation civile | +70 316 625 |
| 7782 | Produit de cession des immobilisations affectées à la dette (art. 61 de la loi de finances pour 2011)..... | -2 000 000 |
| | Publications officielles et information administrative | +10 000 000 |
| A701 | Ventes de produits | +10 000 000 |
| | Total | +291 321 928 |

III. – COMPTES D’AFFECTATION SPÉCIALE

(En euros)

| Numéro de ligne | Intitulé de la recette | Révision des évaluations pour 2022 |
|-----------------|---|------------------------------------|
| | Contrôle de la circulation et du stationnement routiers | +121 218 617 |
| | Section : Contrôle automatisé | -7 000 000 |
| 01 | Amendes perçues par la voie du système de contrôle-sanction automatisé | -7 000 000 |
| | Section : Circulation et stationnement routiers | +128 218 617 |
| 04 | Amendes forfaitaires de la police de la circulation et amendes forfaitaires majorées issues des infractions constatées par la voie du système de contrôle-sanction automatisé et des infractions aux règles de la police de la circulation..... | +128 218 617 |
| | Gestion du patrimoine immobilier de l’État | -20 000 000 |
| 01 | Produits des cessions immobilières..... | -20 000 000 |
| | Total | +101 218 617 |

IV. – COMPTES DE CONCOURS FINANCIERS

(En euros)

| Numéro de ligne | Intitulé de la recette | Révision des évaluations pour 2022 |
|-----------------|---|------------------------------------|
| | Avances à divers services de l'État ou organismes gérant des services publics | -19 438 505 |
| 03 | Remboursement des avances octroyées à des organismes distincts de l'État et gérant des services publics | -29 627 091 |
| 04 | Remboursement des avances octroyées à des services de l'État | +10 057 524 |
| 06 | Remboursement des avances octroyées aux exploitants d'aéroports touchés par la crise de covid-19 au titre des dépenses de sûreté-sécurité.... | +131 062 |
| | Avances aux collectivités territoriales | +493 508 448 |
| | Section : Avances sur le montant des impositions revenant aux régions, départements, communes, établissements et divers organismes | +493 508 448 |
| 05 | Recettes diverses | +70 182 861 |
| 09 | Taxe d'habitation et taxes annexes..... | +606 780 839 |
| 10 | Taxes foncières et taxes annexes..... | -23 662 266 |
| 11 | Cotisation sur la valeur ajoutée des entreprises..... | -171 374 080 |
| 12 | Cotisation foncière des entreprises et taxes annexes..... | +11 581 094 |
| | Prêts à des États étrangers | +624 489 025 |
| | Section : Prêts à des États étrangers en vue de faciliter la vente de biens et de services concourant au développement du commerce extérieur de la France | +23 375 253 |
| 01 | Remboursement des prêts accordés à des États étrangers en vue de faciliter la vente de biens et de services concourant au développement du commerce extérieur de la France..... | +23 375 253 |

| | | |
|----|--|-----------------------|
| | Section : Prêts à des États étrangers pour consolidation de dettes envers la France | +30 871 525 |
| 02 | Remboursement de prêts du Trésor..... | +30 871 525 |
| | Section : Prêts aux États membres de la zone euro | +570 242 247 |
| 04 | Remboursement des prêts consentis aux États membres de l'Union européenne dont la monnaie est l'euro | +570 242 247 |
| | Prêts et avances à des particuliers ou à des organismes privés | +30 811 155 |
| | Section : Prêts pour le développement économique et social | +30 811 155 |
| 06 | Prêts pour le développement économique et social | +53 311 155 |
| 09 | Prêts aux petites et moyennes entreprises..... | -131 500 000 |
| 12 | Prêts octroyés dans le cadre des programmes d'investissement d'avenir..... | +109 000 000 |
| | Total..... | +1 129 370 123 |

ÉTAT B
(ARTICLE 4 DE LA LOI)

*RÉPARTITION DES CRÉDITS POUR 2022 OUVERTS ET ANNULÉS,
PAR MISSION ET PROGRAMME, AU TITRE DU BUDGET GÉNÉRAL*

BUDGET GÉNÉRAL

| | | | | |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Aide publique au développement | 31 485 455 | 22 719 919 | 82 648 689 | 24 637 717 |
| Aide économique et financière au développement | | | 82 648 689 | 24 637 717 |
| Solidarité à l'égard des pays en développement | 31 485 455 | 22 719 919 | | |
| Anciens combattants, mémoire et liens avec la Nation | | | 26 774 719 | 26 814 496 |
| Reconnaissance et réparation en faveur du monde combattant, mémoire et liens avec la Nation | | | 19 759 919 | 19 759 919 |
| Indemnisation des victimes des persécutions antisémites et des actes de barbarie pendant la seconde guerre mondiale | | | 7 014 800 | 7 054 577 |
| Cohésion des territoires | 45 071 358 | 32 897 502 | 13 868 478 | 16 923 022 |
| Urbanisme, territoires et amélioration de l'habitat | | | 9 931 653 | 12 681 653 |
| Impulsion et coordination de la politique d'aménagement du territoire | 45 071 358 | 32 897 502 | | |
| Interventions territoriales de l'État | | | 3 936 825 | 4 241 369 |
| Conseil et contrôle de l'État | | | 2 940 256 | 4 494 469 |
| Conseil d'État et autres juridictions administratives | | | 2 557 882 | 4 131 228 |

| | | | | |
|---|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Conseil économique, social et environnemental | | | 362 415 | 362 415 |
| Haut Conseil des finances publiques | | | 19 959 | 826 |
| Crédits non répartis | | | 500 000 000 | 500 000 000 |
| Dépenses accidentelles et imprévisibles | | | 500 000 000 | 500 000 000 |
| Culture | 70 731 087 | 75 731 087 | 1 654 311 | 1 654 311 |
| Patrimoines | 15 320 907 | 15 320 907 | | |
| Création | 42 383 592 | 47 383 592 | | |
| Transmission des savoirs et démocratisation de la culture | 13 026 588 | 13 026 588 | | |
| Soutien aux politiques du ministère de la culture | | | 1 654 311 | 1 654 311 |
| Défense | 1 450 500 000 | 1 325 600 000 | 149 600 000 | 149 600 000 |
| Environnement et prospective de la politique de défense | | | 25 812 717 | 25 812 717 |
| Préparation et emploi des forces | 1 450 500 000 | 1 325 600 000 | | |
| Soutien de la politique de la défense | | | 31 359 538 | 31 359 538 |
| Équipement des forces | | | 92 427 745 | 92 427 745 |
| Direction de l'action du Gouvernement | | | 64 042 069 | 58 914 813 |
| Coordination du travail gouvernemental | | | 24 069 144 | 18 663 697 |
| Protection des droits et libertés | | | 1 004 122 | 1 022 514 |

| | | | | |
|--|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Présidence française du Conseil de l'Union européenne en 2022 | | | 38 968 803 | 39 228 602 |
| Écologie, développement et mobilité durables | 2 473 684 758 | 1 913 874 262 | 195 334 330 | 167 543 242 |
| Infrastructures et services de transports | 133 287 157 | 83 998 902 | | |
| Affaires maritimes | | | 10 039 375 | 10 067 076 |
| Paysages, eau et biodiversité | 83 235 153 | 79 234 442 | | |
| Expertise, information géographique et météorologie | | 500 000 | | |
| Prévention des risques | | | 15 294 955 | 15 560 483 |
| Énergie, climat et après-mines | 2 255 162 548 | 1 748 141 018 | | |
| Conduite et pilotage des politiques de l'écologie, du développement et de la mobilité durables | | | 170 000 000 | 141 915 683 |
| Charge de la dette de SNCF Réseau reprise par l'État (crédits évaluatifs) | 1 999 900 | 1 999 900 | | |
| Soutien exceptionnel à la rénovation thermique des logements résidentiels (ligne supprimée) | | | | |
| Soutien à l'achat de pellets et de bûches de bois (ligne supprimée) | | | | |
| Économie | 7 670 868 | | 268 217 106 | 371 356 882 |

| | | | | |
|--|------------------|------------------|----------------------|----------------------|
| Développement des entreprises et régulations | | | 242 311 878 | 244 539 361 |
| Plan “France Très haut débit” | | | 22 364 795 | 111 980 044 |
| Statistiques et études économiques | 7 670 868 | | | 2 001 517 |
| Stratégies économiques | | | 3 540 433 | 12 835 960 |
| Financement des opérations patrimoniales en 2021 et en 2022 sur le compte d’affectation spéciale “Participations financières de l’État” (ligne nouvelle) | | | | |
| Engagements financiers de l’État | 2 000 000 | 2 000 000 | 2 033 124 721 | 2 014 552 724 |
| Charge de la dette et trésorerie de l’État (crédits évaluatifs) | 2 000 000 | 2 000 000 | | |
| Appels en garantie de l’État (crédits évaluatifs) | | | 2 028 049 832 | 2 002 049 832 |
| Épargne | | | 2 408 337 | 2 408 337 |
| Dotations du Mécanisme européen de stabilité | | | 2 666 552 | 2 666 552 |
| Fonds de soutien relatif aux prêts et contrats financiers structurés à risque | | | | 7 428 003 |
| Enseignement scolaire | | | 37 708 092 | 39 778 773 |

| | | | | |
|--|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Enseignement scolaire public du premier degré | | | 1 603 003 | 1 603 003 |
| Enseignement scolaire public du second degré | | | 4 481 846 | 4 481 846 |
| Vie de l'élève | | | 13 484 678 | 15 555 359 |
| Enseignement privé du premier et du second degrés | | | 5 850 639 | 5 850 639 |
| Enseignement technique agricole | | | 12 287 926 | 12 287 926 |
| Gestion des finances publiques | 98 657 204 | 7 848 117 | | 5 805 064 |
| Gestion fiscale et financière de l'État et du secteur public local | 47 408 247 | 6 267 135 | | |
| Conduite et pilotage des politiques économiques et financières | 42 529 512 | | | 5 805 064 |
| Facilitation et sécurisation des échanges | 8 719 445 | 1 580 982 | | |
| Immigration, asile et intégration | 19 498 369 | 19 500 822 | 18 685 781 | 18 688 234 |
| Immigration et asile | 19 498 369 | 19 500 822 | | |
| Intégration et accès à la nationalité française | | | 18 685 781 | 18 688 234 |
| Justice | 18 184 597 | 17 967 929 | 238 678 049 | 161 854 708 |
| Justice judiciaire | | | 33 591 341 | 49 947 503 |
| Administration pénitentiaire | | | 178 435 311 | 74 857 224 |
| Protection judiciaire de la jeunesse | | | 7 169 517 | 20 082 622 |
| Accès au droit et à la justice | 18 184 597 | 17 967 929 | | |

| | | | | |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Conduite et pilotage de la politique de la justice | | | 18 432 087 | 16 344 150 |
| Conseil supérieur de la magistrature | | | 1 049 793 | 623 209 |
| Médias, livre et industries culturelles | 7 000 000 | 7 000 000 | 865 836 | 15 862 777 |
| Presse et médias | | | 865 836 | 15 862 777 |
| Livre et industries culturelles | 7 000 000 | 7 000 000 | | |
| Outre-mer | 237 422 951 | 241 662 541 | | 65 185 100 |
| Emploi outre-mer | 236 724 978 | 241 662 541 | | |
| Conditions de vie outre-mer | 697 973 | | | 65 185 100 |
| Plan de relance | 298 500 000 | | 298 500 000 | |
| Écologie | 298 500 000 | | | |
| Compétitivité | | | 222 991 491 | |
| Cohésion | | | 75 508 509 | |
| Plan d'urgence face à la crise sanitaire | 1 250 000 000 | 1 250 000 000 | 1 070 074 317 | 1 094 968 488 |
| Prise en charge du chômage partiel et financement des aides d'urgence aux employeurs et aux actifs précaires à la suite de la crise sanitaire | | | 405 258 628 | 405 258 628 |
| Fonds de solidarité pour les entreprises à la suite de la crise sanitaire | | | 52 297 084 | 77 200 887 |
| Renforcement exceptionnel des participations financières de l'État dans le cadre de la crise sanitaire | | | 296 978 021 | 296 978 021 |

| | | | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Compensation à la sécurité sociale des allègements de prélèvements pour les entreprises les plus touchées par la crise sanitaire | 1 250 000 000 | 1 250 000 000 | | |
| Matériels sanitaires pour faire face à la crise de la covid-19 | | | 315 540 584 | 315 530 952 |
| Recherche et enseignement supérieur | 153 851 151 | 151 671 150 | 168 797 083 | 193 348 169 |
| Formations supérieures et recherche universitaire | 153 851 151 | 151 671 150 | | |
| Vie étudiante | | | 63 278 657 | 63 097 657 |
| Recherches scientifiques et technologiques pluridisciplinaires | | | 69 898 575 | 61 061 701 |
| Recherche spatiale | | | 11 981 885 | 11 981 885 |
| Recherche dans les domaines de l'énergie, du développement et de la mobilité durables | | | 15 966 535 | 15 966 535 |
| Recherche et enseignement supérieur en matière économique et industrielle | | | 6 929 664 | 40 498 623 |
| Enseignement supérieur et recherche agricoles | | | 741 767 | 741 768 |
| Régimes sociaux et de retraite | | | 61 244 474 | 60 392 474 |
| Régimes sociaux et de retraite des transports terrestres | | | 60 919 874 | 60 067 874 |

| | | | | |
|--|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| Régimes de retraite des mines, de la SEITA et divers | | | 324 600 | 324 600 |
| Relations avec les collectivités territoriales | 41 000 000 | 41 000 000 | 80 000 000 | |
| Concours financiers aux collectivités territoriales et à leurs groupements | | | 80 000 000 | |
| Concours spécifiques et administration | 41 000 000 | 41 000 000 | | |
| Remboursements et dégrèvements | 2 721 241 020 | 2 721 241 020 | 142 000 000 | 142 000 000 |
| Remboursements et dégrèvements d'impôts d'État (crédits évaluatifs) | 2 721 241 020 | 2 721 241 020 | | |
| Remboursements et dégrèvements d'impôts locaux (crédits évaluatifs) | | | 142 000 000 | 142 000 000 |
| Santé | 1 358 457 945 | 1 358 457 945 | 71 925 746 | 70 244 278 |
| Prévention, sécurité sanitaire et offre de soins | | | 7 458 935 | 5 777 467 |
| Protection maladie | | | 64 466 811 | 64 466 811 |
| Compensation à la Sécurité sociale du coût des dons de vaccins à des pays tiers et reversement des recettes de la Facilité pour la Relance et la Résilience (FRR) européenne au titre du volet "Séjour investissement" du plan national de relance et de résilience (PNRR) | 1 358 457 945 | 1 358 457 945 | | |
| Sécurités | 18 116 960 | 47 624 793 | 60 969 502 | 36 508 539 |

| | | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Police nationale | | | 56 272 499 | 34 521 907 |
| Gendarmerie nationale | | 21 370 458 | 2 674 571 | |
| Sécurité et éducation routières | | | 2 022 432 | 1 986 632 |
| Sécurité civile | 18 116 960 | 26 254 335 | | |
| Solidarité, insertion et égalité des chances | 658 160 938 | 658 184 841 | 12 100 000 | 3 000 000 |
| Inclusion sociale et protection des personnes | 428 160 938 | 428 184 841 | | |
| Conduite et soutien des politiques sanitaires et sociales | | | 12 100 000 | 3 000 000 |
| Prise en charge par l'État du financement de l'indemnité inflation | 230 000 000 | 230 000 000 | | |
| Aide exceptionnelle aux communes en vue de contribuer à un complément de rémunération des personnels de leurs centres municipaux de santé (ligne supprimée) | | | | |
| Sport, jeunesse et vie associative | | | 125 274 716 | 140 074 039 |
| Sport | | | | 24 864 900 |
| Jeunesse et vie associative | | | 114 174 716 | 115 209 139 |
| Jeux olympiques et paralympiques 2024 | | | 11 100 000 | |
| Transformation et fonction publiques | 40 000 000 | 40 000 000 | 200 149 129 | 38 828 527 |

| | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| Rénovation des cités administratives et autres sites domaniaux multi-occupants | 40 000 000 | 40 000 000 | | |
| Transformation publique | | | 196 000 000 | 33 000 000 |
| Innovation et transformation numériques | | | 304 000 | 1 789 156 |
| Fonction publique | | | 3 845 129 | 4 039 371 |
| Travail et emploi | 1 627 000 000 | 2 502 000 000 | 283 413 109 | 535 964 247 |
| Accès et retour à l'emploi | | | 273 000 000 | 524 000 000 |
| Accompagnement des mutations économiques et développement de l'emploi | 1 627 000 000 | 2 502 000 000 | | |
| Amélioration de la qualité de l'emploi et des relations du travail | | | 5 413 109 | 6 964 247 |
| Conception, gestion et évaluation des politiques de l'emploi et du travail | | | 5 000 000 | 5 000 000 |
| Total | 13 059 528 298 | 12 891 005 071 | 6 283 347 086 | 6 045 121 815 |
| | | | | |

ÉTAT C
(ARTICLE 5 DE LA LOI)

.....

ÉTAT D
(ARTICLE 6 DE LA LOI)

*RÉPARTITION DES CRÉDITS POUR 2022 OUVERTS ET ANNULÉS,
PAR MISSION ET PROGRAMME, AU TITRE DES COMPTES SPÉCIAUX*

I. – COMPTES D’AFFECTATION SPÉCIALE

(En euros)

| Mission / Programme | Autorisations d'engagement supplémentaires ouvertes | Crédits de paiement supplémentaires ouverts | Autorisations d'engagement annulées | Crédits de paiement annulés |
|--|--|--|--|------------------------------------|
| Contrôle de la circulation et du stationnement routiers | 128 218 617 | 128 218 617 | 7 000 000 | 7 000 000 |
| Structures et dispositifs de sécurité routière | | | 7 000 000 | 7 000 000 |
| Contribution à l'équipement des collectivités territoriales pour l'amélioration des transports en commun, de la sécurité et de la circulation routières..... | 67 955 867 | 67 955 867 | | |
| Désendettement de l'État | 60 262 750 | 60 262 750 | | |
| Gestion du patrimoine immobilier de l'État | 80 000 000 | 40 000 000 | | |
| Opérations immobilières et entretien des bâtiments de l'État..... | 80 000 000 | 40 000 000 | | |
| Participations financières de l'État | | | 2 000 000 000 | 2 000 000 000 |
| Opérations en capital intéressant les participations financières de l'État..... | | | 2 000 000 000 | 2 000 000 000 |
| Total..... | 208 218 617 | 168 218 617 | 2 007 000 000 | 2 007 000 000 |

II. – COMPTES DE CONCOURS FINANCIERS

(En euros)

| Mission / Programme | Autorisations d'engagement supplémentaires ouvertes | Crédits de paiement supplémentaires ouverts | Autorisations d'engagement annulées | Crédits de paiement annulés |
|---|--|--|--|--|
| <p>Avances à divers services de l'État ou organismes gérant des services publics</p> <p>Avances à des organismes distincts de l'État et gérant des services publics...</p> | | | <p>636 542</p> <p>636 542</p> | <p>11 436 542</p> <p>11 436 542</p> |
| <p>Avances aux collectivités territoriales</p> <p>Avances sur le montant des impositions revenant aux régions, départements, communes, établissements et divers organismes</p> | <p>513 757 192</p> <p>513 757 192</p> | <p>513 757 192</p> <p>513 757 192</p> | | |
| <p>Prêts à des États étrangers</p> <p>Prêts du Trésor à des États étrangers en vue de faciliter la vente de biens et de services concourant au développement du commerce extérieur de la France</p> <p>Prêts à des États étrangers pour consolidation de dettes envers la France</p> | <p>100 000 000</p> | <p>100 000 000</p> | <p>173 922 268</p> <p>13 480 000</p> <p>160 442 268</p> | <p>160 442 268</p> <p>160 442 268</p> |

| | | | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Prêts à l'Agence française de développement en vue de favoriser le développement économique et social dans des États étrangers | 100 000 000 | 100 000 000 | | |
| Total..... | 613 757 192 | 613 757 192 | 174 558 810 | 171 878 810 |

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 POSSIBILITÉS 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) (©Volitalia)

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).
- **Zootechnie :** 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)

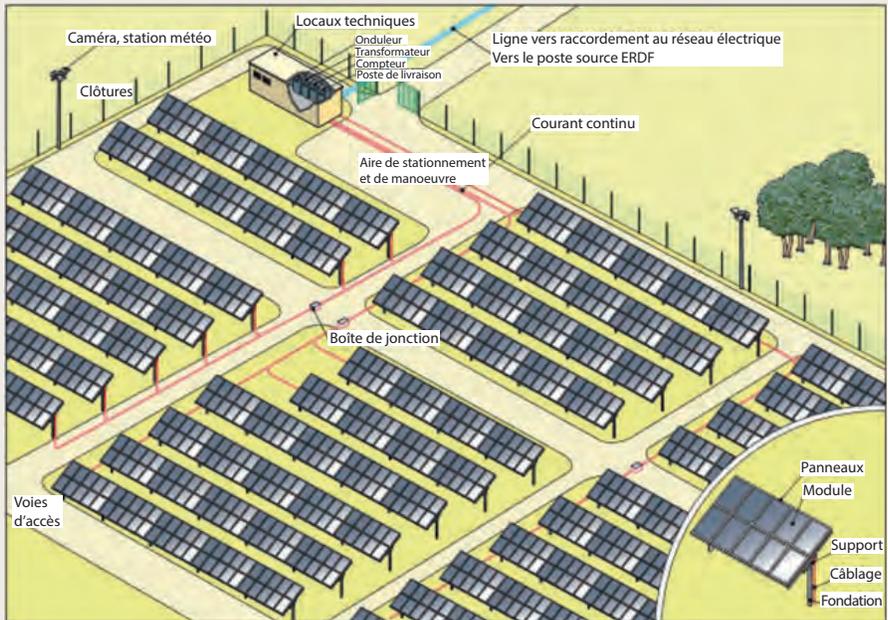


Photo 17 : Ombrières photovoltaïques au Cabanon (© Voltalia)

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)

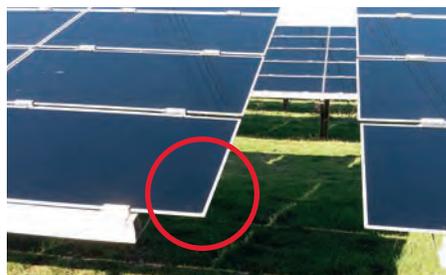


Photo 22 : Des ânes pâturent dans une centrale photovoltaïque avec des tables à plus de 1 mètre (© Jeson_AdobeStock)

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 États-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)

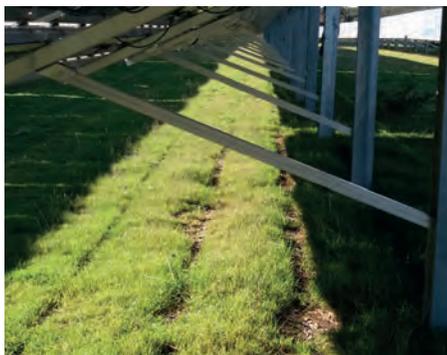


Photo 32 : Table fixe sur mono-pieu battu (© Idele)

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 FIABLES 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 pâurant 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.

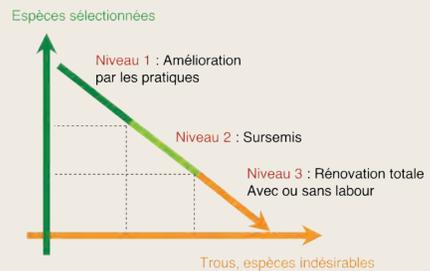
Selon les conditions pédoclimatiques et les résultats du diagnostic agronomique évaluant le potentiel fourrager du couvert végétal initial, plusieurs stratégies de gestion sont possibles.

- 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.

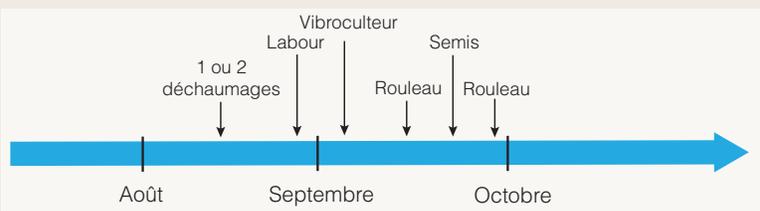
Concernant l'itinéraire technique de l'implantation de la prairie, les opérations réalisées vont différer selon que le sol soit superficiel ou sans contrainte particulière, faisant intervenir ou non un labour (figure 4). Dans tous les cas, un travail superficiel du sol doit quand même être opéré en amont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



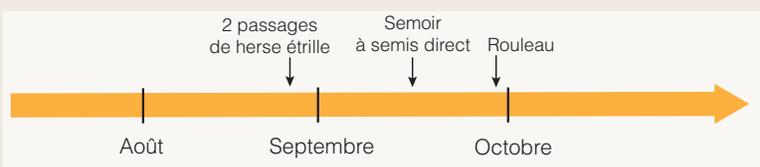
Photo 56 : Prairie semée dans un parc photovoltaïque
(© E. Mortelmans)

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 INDICUÉES 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.

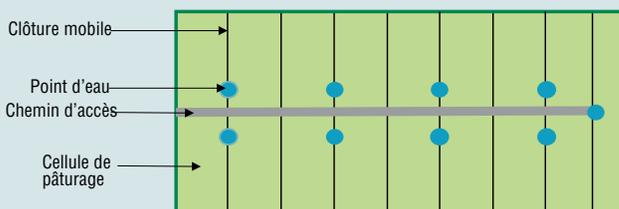
Résultats attendus

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)

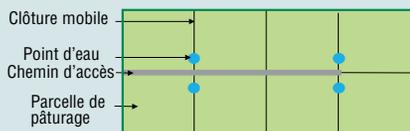


Le pâturage tournant classique

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).

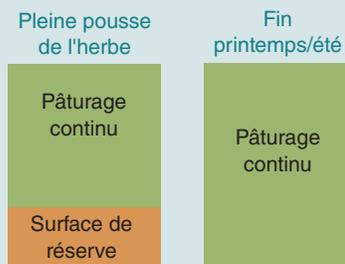
Le pâturage continu

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, enrouleurs, passages d'homme, etc.
- Prévoir davantage de clôtures et de portes que dans une prairie classique pour laisser un passage au gestionnaire de la centrale.
- Utiliser des auxiliaires de travail : VTT, quad, chien de troupeau.
- En amont de tout découpage, bien définir et calibrer le chargement animal.
- Tenir compte des caractéristiques de la centrale 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.
- Implanter de solides piquets d'angle.
- Penser aux passages d'hommes, notamment afin de faciliter le passage pour les personnes assurant la maintenance du parc.

À SAVOIR !

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



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

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.

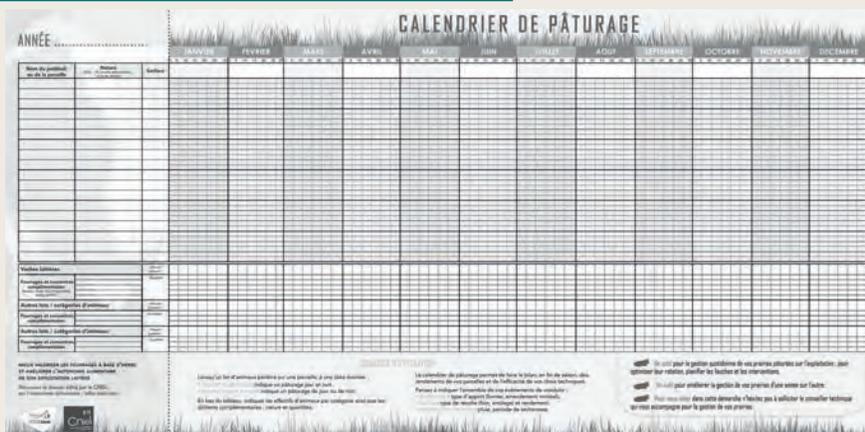
Le calendrier de pâturage

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.

