

Nous nous sommes concentrés sur un scénario « moyen » utilisant les données d'une année typique moyenne, les données du rapport issues des simulations ont donc une incertitude négligeable.

III. LE CENTRALE AGRIPV D'AURILLAC COMME SITE DE REFERENCE

Ce site a été expertisé par Salagro pour Arkolia.

Au sein de ce parc agriPV clôturé, la zone de panneaux occupe 3,6 hectares (rangs et inter-rangs) et, en périphérie, 1,7 hectare sont en herbe.

Il y a 74 brebis au pâturage dans le parc photovoltaïque du 15 avril au 15 novembre, ainsi que leurs 74 agneaux du 15 avril au 15 août.

A partir du 15 août, les agneaux sont transférés à la bergerie où ils seront vendus.

La zone hors des panneaux est principalement dédiée à la fauche.

Le parc photovoltaïque permet de couvrir 53 % des besoins fourragers du troupeau et selon l'éleveur : « la pousse de l'herbe sous les panneaux est bonne voire meilleure qu'ailleurs car l'eau y arrive quand même en passant entre les panneaux et la couverture permet de garder l'humidité en période sèche ».

Description détaillée du site

- Surface clôturée : 5,6 ha, dont 3,6 ha de parc PV pour 2,8 MWc
- Hauteur minimale des panneaux : 0,40 m
- Rendement : 9t MS/ha intégralement pour la pâture des brebis et la fauche hors zone panneaux
- 74 brebis au pâturage dans le parc photovoltaïque du 15 avril au 15 novembre, ainsi que leurs agneaux du 15 avril au 15 août, soit un chargement instantané 13 brebis/ha clôturé
- Le parc photovoltaïque permet de couvrir 53 % des besoins fourragers du troupeau
- Les zones hors panneau sont majoritairement dédiées à la fauche.

Les mesures de la production fourragère du site montrent un rendement moyen similaire ou supérieur à la moyenne départementale des prairies.

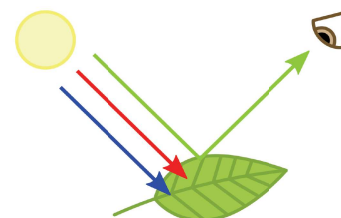
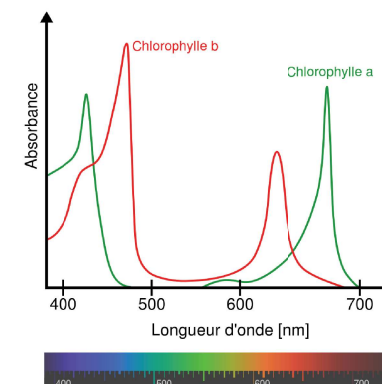


Figure 2. Cheptel ovin du site agriPV de référence

IV. PRECISIONS ECOPHYSIOLOGIQUES

IV. 1. A propos du PAR

Le rayonnement photosynthétiquement actif (RPA, ou PAR de l'anglais photosynthetically active radiation) est un rayonnement dont les longueurs d'onde s'étendent de 400 à 700 nm que les organismes photosynthétiques, dont les plantes, peuvent utiliser dans le processus de photosynthèse. La chlorophylle, le pigment végétal le plus abondant, est le plus efficace pour capturer la lumière rouge et bleue. Les pigments accessoires, tels que les carotènes et les xanthophylles, récoltent de la lumière verte et la transmettent au processus de la photosynthèse, mais suffisamment de longueurs d'onde vertes sont réfléchies pour donner aux feuilles leur couleur caractéristique.



La chlorophylle, le pigment végétal le plus abondant, est le plus efficace pour capturer la lumière rouge et bleue. Les pigments accessoires, tels que les carotènes et les xanthophylles, récoltent de la lumière verte et la transmettent au processus de la photosynthèse, mais suffisamment de longueurs d'onde vertes sont réfléchies pour donner aux feuilles leur couleur caractéristique.

IV. 2. Lien entre rayonnement solaire et production de biomasse

Deux pistes de réflexion ont été identifiées afin de s'assurer de la synergie entre production agricole et système photovoltaïque :

- Impact de la perte de rayonnement incident sur la production de biomasse
- Impact de la perte de rayonnement sur la diversité floristique.

Les graphiques ci-dessous (Figure 3) montrent des relations très linéaires entre la biomasse de fétuque élevée produite et le rayonnement intercepté (Lemaire, 1991¹). Au printemps, 1 MJ (ou 280 Wh) permet la production de 1,88 g de MS/m² ou 6,7 gMS/kWh/m². Produire 1 t MS/ha nécessite donc approximativement 149 254 kWh.

¹ G. Lemaire. (1991). Productivité des peuplements prairiaux : caractérisation et diagnostic. Station d'Ecophysiologie des Plantes Fourragères, I.N.R.A., F-86600 Lusignan. Fourrages 127, 259-272.

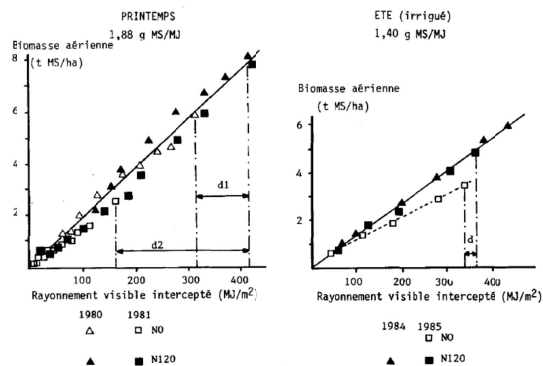


Figure 3. Relation entre accroissement de biomasse aérienne et quantité de rayonnement intercepté par un peuplement de fétuque élevée (Source : Lemaire, 1991)

La Figure 4 et la Figure 5 permettent d’observer la même conclusion en fonction du PAR pour une culture de luzerne et plusieurs cultures selon le type de photosynthèse². La production de biomasse est directement liée et proportionnelle ($r^3=0,98$) avec le PAR reçu.

La quantité de matières MS est alors donnée par une relation linéaire :

$$MS \text{ en } g/m^2 = k \times PAR \text{ en } MJ/m^2$$

Avec k étant le coefficient d’ajustement spécifique à chaque culture.

Ce coefficient est 1,89 pour la fétuque et de 1,77 pour la luzerne

Grâce à cette équation, il est donc possible de prévoir la production de biomasse potentielle d’une culture en fonction du PAR.

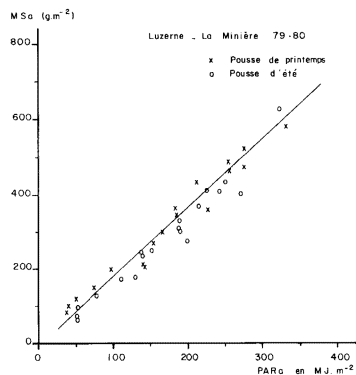


Figure 4. Évolution de la matière sèche aérienne de la luzerne en fonction du PAR.

² Ghislain Gosse, Claude Varlet-Grancher, Raymond Bonhomme, Michel Chartier, Jean-Michel Allir and, et al.. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. Agronomie, EDP Sciences, 1986, 6 (1), pp.47-56. hal-00884847

³ Le coefficient de corrélation r est une valeur sans unité comprise entre -1 et 1. Plus il est proche de 1, et plus la relation linéaire est forte.

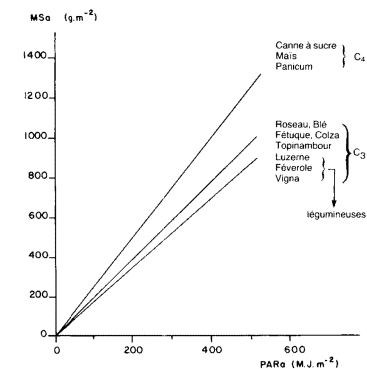


Figure 5. Évolution de la matière sèche aérienne d'une culture en fonction du PAR et du type de photosynthèse.

La quantité de rayonnement intercepté est directement liée à l’indice foliaire de la prairie. L’indice foliaire est calculé en divisant la somme des surfaces des feuilles actives d’un peuplement végétal par la surface de terrain occupée par ce peuplement. (Il exprime le potentiel de fixation d’énergie par la plante). Les variations d’interception pour un même indice dépendent de la saison (hauteur du soleil) et à la structure du peuplement, notamment l’angle des feuilles.

IV. 3. Relation entre Indice Foliaire et efficacité d’interception du rayonnement

Une relation entre Indice Foliaire et efficacité d’interception du rayonnement a été mise en évidence.

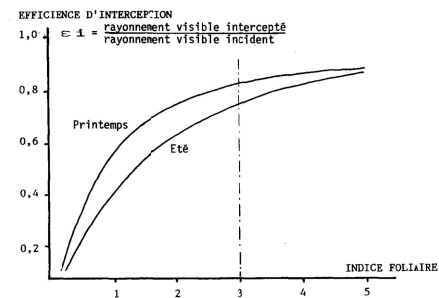


Figure 6. Évolution de l'efficacité d'interception du rayonnement visible par un peuplement de graminées en fonction de l'indice foliaire. (Lemaire, 1984)

A partir d’un indice foliaire de 3, le couvert végétal intercepte 80 % du rayonnement visible incident. Cette captation atteint ensuite un plafond (Figure 6).

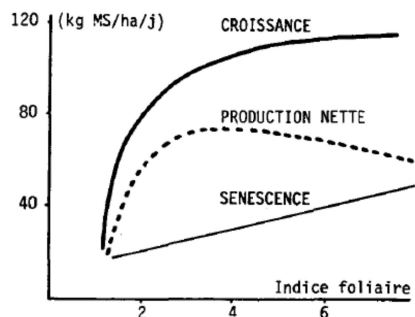


Figure 7. Vitesse de croissance et de sénescence d'une prairie maintenue à des niveaux d'indice foliaire différents (pâturage continu d'ovins). (Source : Bircham, 1981).

La captation de ce rayonnement conditionne la vitesse de croissance qui atteint aussi un plafond dès que l'indice foliaire dépasse 4,5. La production quotidienne de matière sèche est alors maximale bien que la production nette diminue du fait de l'accroissement de la sénescence du végétal (Figure 7).

IV. 4. Impact de la saisonnalité sur la production de biomasse

Différents modèles développés par l'INRA montrent que de nombreux paramètres influencent la pousse des végétaux. Trois facteurs primordiaux ont été identifiés :

- La température
- La disponibilité en eau
- La vitesse du vent

Le rayonnement n'est donc pas le facteur limitant et la quantité de biomasse varie en fonction de plusieurs facteurs climatiques.

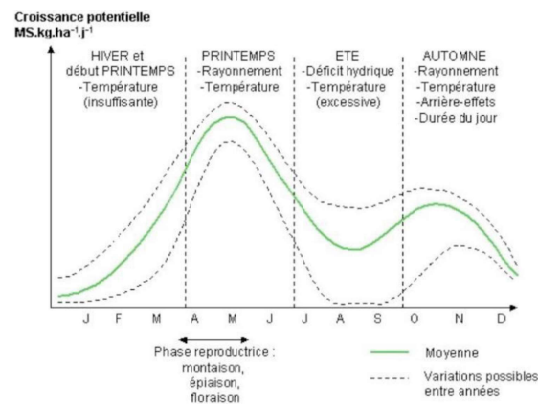


Figure 8. Courbe-type de croissance d'une prairie au cours du temps. (Source : INRA)

Le graphique ci-dessus (Figure 8) montre clairement que :

- La pousse de l'hiver et du début de printemps est limitée par des températures insuffisantes
- La sécheresse estivale ralentit la pousse, bien que ce soit la saison au cours de laquelle le rayonnement est maximal pour plusieurs raisons :
 - La durée des jours est maximale

- La couverture nuageuse est la plus faible, maximisant ainsi l'ensoleillement
- L'azimut du soleil est maximal

En condition naturelle, la première des conclusions à tirer est que le rayonnement n'est pas un facteur limitant de la production de biomasse en période estivale. Un lien de corrélation peut être établi entre cette période qui présente à la fois :

- Un rayonnement important,
- Des températures élevées conduisant à une Évapotranspiration potentielle⁴ (ETP) importante,
- Des pluviométries faibles.

Compte tenu du ralentissement de la pousse pendant l'été, la conduite fourragère nécessite une adaptation en termes de gestion d'exploitation selon deux axes complémentaires :

- Diminuer le nombre de têtes en période estivale pour adapter le cheptel aux capacités minimales de la prairie ;
- Compléter le potentiel alimentaire en période estivale par un apport extérieur. Le complément alimentaire pouvant être apporté par fauchage et stockage du surplus printanier, multiplication de la surface de pâture en été, achat de fourrage extérieur).

V. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION AGRIVOLTAÏQUE ACTUELLE

Le présent projet concerne une activité agricole d'élevage ovin de 25 ha situé à Guéméné en Loire-Atlantique (44) pour une structure de centrale solaire fixe surélevée, située au-dessus d'une prairie.

Le site de Guéméné est caractérisé par les données suivantes :

Site	
Localisation	47,65 N ; -1,82°E
Azimuth (deg)	0
Inclinaison du site, pente EW	3%
Inclinaison du site, pente NS	-2,50%
Type de structure	Fixe

Système fixe	
Distance du point bas depuis le sol (m)	1
Inclinaison des panneaux (deg)	23

Tables et rangées	
Nombre de modules par table, direction Y	54
Module orientation	Portrait
Nombre de modules par table, direction X	2
Période spatiale entre rangées (m)	9,43
Distance entre 2 tables (m)	5,15
Taux d'occupation au sol (TOS)	45%

Modules	
Modèle	540W
Longueur (mm)	226
Largeur (mm)	113
Transparence (%)	10% (bifacial)

⁴ Quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée par évapotranspiration sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol/substrat et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant le temps considéré.

VI. RESULTATS DES SIMULATIONS

VI. 1. Simulation de la configuration projetée

Paramétrage du simulateur

Simulation de PAR cumulée	Paramétrage
Date début simulation	1-janv.
Date fin simulation	31-déc.
Résolution (cm)	10
Surface simulée	Sol
Origine du fichier météo	METEONORM
Type de fichier météo	Année météorologique typique

Résultat de la simulation

Les résultats concernant le PAR cumulé reçu au sol pour les zones considérées sur la période sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1. PAR cumulé reçu au sol pour les zones considérées sur la période de l'installation actuelle

Paramètres	Zone témoin	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV	Hétérogénéité
Fraction d'irradiance (%)	100	45	63	54	16%
PAR journalier (Wh/m ²)	1 538	700	963	831	

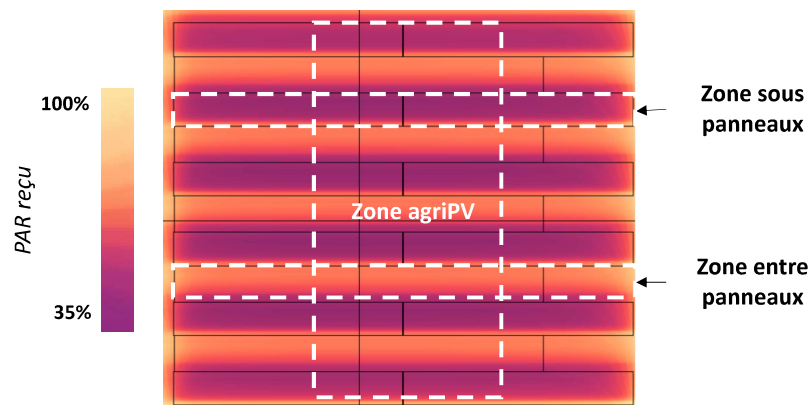


Figure 9. PAR reçu au sol pour les zones considérées sur la période de l'installation actuelle

Le facteur d'hétérogénéité est de 16%, ce qui est satisfaisant. Cela montre que le PAR reçu est relativement homogène et que l'ombrage induit par la structure PV est modéré. En zone agriPV, 54% du PAR serait intercepté par le couvert. Même sous panneaux, le PAR reçu serait de 45%.

Comparaison avec une installation de référence

Pour la centrale de référence, dont la prairie produit une quantité élevée de matière sèche (9 tonnes/ha), les simulations de partage lumineux indiquent que la quantité de rayonnement PAR reçu au sol est supérieure de 10% en inter-rang (soit 1 049 Wh/m²/jour) et inférieure de 20% sous les panneaux (513 Wh/m²/jour) par rapport au dimensionnement proposé pour le présent projet.

VI. 2. Analyse de sensibilité

Six simulations ont été réalisées dans le but d'évaluer la sensibilité de l'installation. Les paramétrages incluent une variation de la surélévation des panneaux et du taux d'occupation des panneaux.

Paramétrage des simulations

Les paramètres de simulation sont présentés ci-dessous, en précisant que les différents taux d'occupation varient selon la distance inter-rangs de 4,15 à 5,65 m. La SIM 0 correspondant aux caractéristiques actuelles de la centrale.

Tableau 2. Paramétrage de la simulation d'analyse de sensibilité.

Simulation	Surélévation panneaux	Distance entre 2 rangées	Taux d'occupation	Moyenne de PAR (Wh/m ²)	Hétérogénéité (%)
SIM 0	1 m	5,15 m	45%	831	16%
SIM 1	0,8m	5,15 m	45%	827	18%
SIM 2	1,2m	5,15 m	45%	835	14%
SIM 3	1,4m	5,15 m	45%	839	12%
SIM 4	1 m	4,15 m	51%	757	22%
SIM 5	1 m	4,65 m	48%	796	15%
SIM 6	1 m	5,65 m	43%	864	16%

La hauteur de surélévation des panneaux a un effet positif significatif sur l'hétérogénéité de l'ombrage et non sur la quantité de rayonnement reçue au sol. En effet, l'hétérogénéité diminue avec l'élévation des panneaux, mais sans avoir d'effet sur le niveau d'irradiance reçue. La surélévation des panneaux aurait donc un intérêt très limité.

Le taux d'occupation du sol a un effet significatif sur l'hétérogénéité de l'ombrage, mais significatif aussi sur la quantité de rayonnement reçue au sol qui serait diminuée avec l'augmentation du taux d'occupation. Le choix fait par ABOWIND d'augmenter la distance inter-rangés et de réduire le taux d'occupation à 45% améliore donc les conditions agroclimatiques de la centrale.

Résultats de la simulation

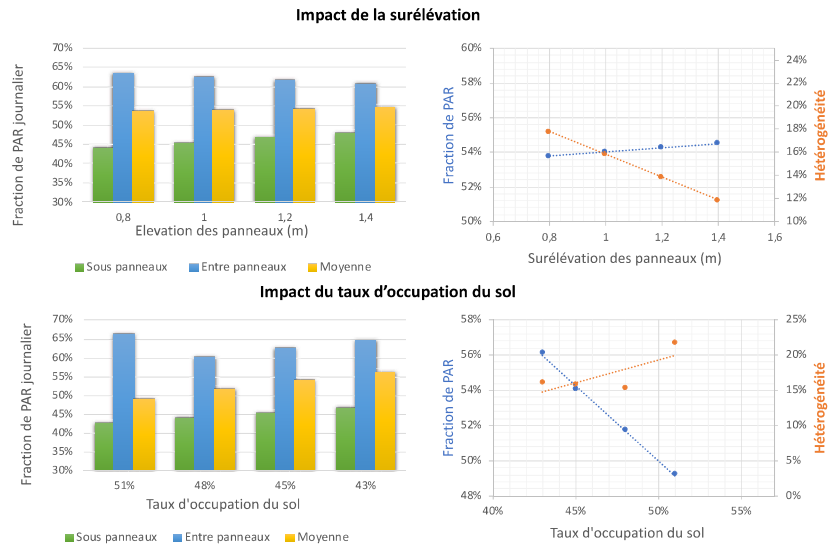


Figure 10. Résultats des simulations selon la surélévation et le taux d'occupation

Mission 2 : PAR CUMULE REÇU AU SOL PAR STADES PHENOLOGIQUES

I. DESCRIPTION

Les périodes de simulation sont calculées à partir de la date initiale du 1^{er} mars et une date de fin au 15 novembre.

Les degrés-jours ont été calculés en utilisant le fichier météo issu de METEONORM et géolocalisés à la parcelle pour une année typique moyenne.

Scénario de base

Le calcul des degrés-jour (DJ) s'est fait sur une base 0 avec un écrêtage à 18°C (Tableau 3)

Tableau 3. Périodes climatiques 2020

Périodes de simulation	Début	Fin	Résultat en DJ	Commentaire
Période 1	1 ^{er} Mars	1 Avril	360-630	Début pousse jusqu'au pic de production
Période 2	2 Avril	1 ^{er} Mai	630-960	Décroissance de production
Période 3	2 Mai	31 Août	960-2980	Peu de production
Période 4	1 ^{er} Septembre	15 Novembre	2980-4000	Reprise de la production

Scénario prédictif

Dans le second cas, les degrés-jour ont été calculés en utilisant le fichier météo issu de METEONORM et utilisant les prédictions d'évolution climatique suivant le scénario d'évolution moyen (A1B) du GIEC pour 2050 (Tableau 4).

Tableau 4. Périodes climatiques 2050

Périodes de simulation	Début	Fin	Résultat en DJ	Commentaire
Période 1	24 Février	27 Mars	360-630	Début pousse jusqu'au pic de production
Période 2	28 Mars	27 Avril	630-960	Décroissance de production
Période 3	28 Avril	25 Août	960-2980	Peu de production
Période 4	26 Août	28 Octobre	2980-4000	Reprise de la production

Selon ces données, les périodes des stades phénologiques seront plus précoces dans le temps, cela étant dû à l'évolution des températures.

Ceci est cohérent avec les prédictions issues du programme de recherche AgriAdapt⁵ pour la zone de Guéméné-Penfao.

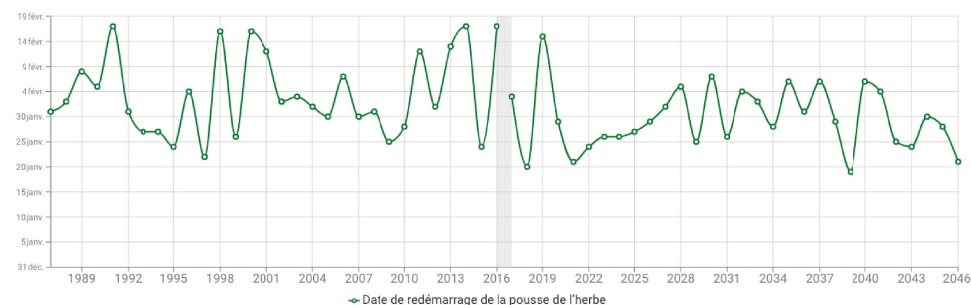


Figure 11. Date de redémarrage de la pousse de l'herbe - Date à laquelle est atteint le seuil de 200°DJ6 (base 0°C et borne 18°C) initialisé au 1er janvier

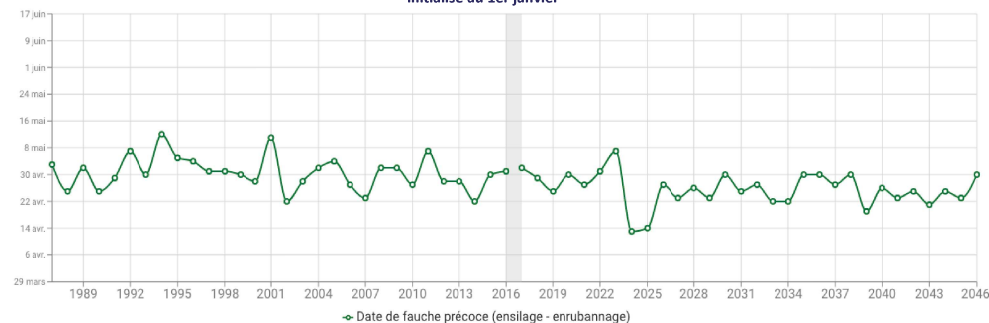


Figure 12. Date de fauche précoce (ensilage - enrubannage) - Date à laquelle est atteint le seuil de 750°DJ (base 0°C et borne 18°C) initialisé au 1er février

La date à laquelle va redémarrer la pousse de l'herbe serait un peu plus précoce, mais surtout moins variable. Sur la période 1988-2015, elle était de +/- 15 jours autour du 5 février. Elle est, et sera, de +/- 5 jours autour du 30 janvier, soit près d'une semaine plus précoce, d'aujourd'hui à 2050. La date de fauche précoce sera sensiblement plus tôt, vers le 22 avril dans les années à venir contre le 30 avril actuellement, et plus stable.

⁵ Le projet LIFE AgriAdapt s'est concentré sur les mesures d'adaptation au changement climatique qui maintiennent ou améliorent la compétitivité des exploitations agricoles et qui répondent à d'autres défis environnementaux. <https://agriadapt.eu/?lang=fr>

⁶ Seuil a été établi par une étude scientifique (ZIEGLER D., Peronne M.C. (1987) : « L'azote à la sortie de l'hiver sur graminées pérennes : étude de la date d'apport », Perspectives Agricoles, 111, p 17-33, février 1987) puis confirmé par des expérimentations d'Arvalis (PROTIN P.V., Corre-Hellou G., Naudin C., Trochard R. (2009) : « Impact des pratiques de fertilisation sur la productivité des prairies et mélanges céréales - protéagineux et la qualité du fourrage », Fourrages, 198, p 115-130.) Il correspond au meilleur compromis pour réaliser le premier apport d'azote sur une prairie de graminées afin d'assurer une alimentation suffisante des plantes depuis le démarrage de la végétation jusqu'à la récolte du cycle de croissance concerné.

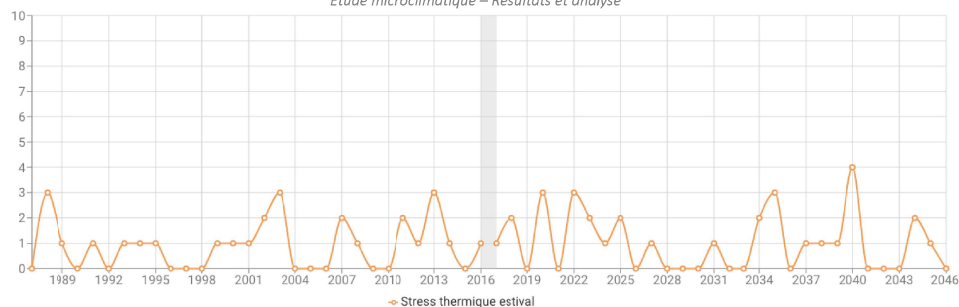


Figure 13. Stress thermique estival - Nombre de jours avec des températures maximales Tx strictement supérieures à 32°C de juin à septembre

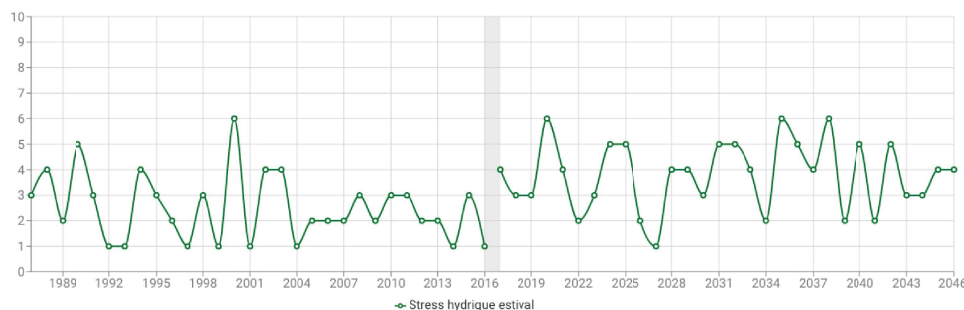


Figure 14. Stress hydrique estival - Nombre de séquences de 10 jours consécutifs sans pluie de mai à août

Des indicateurs agro-climatiques pertinents liés à la température ne montrent pas une augmentation significative du stress thermique estival pour la culture due au changement climatique, mais une nette augmentation du risque de stress hydrique avec une augmentation moyenne du nombre de séquences de 10 jours consécutifs sans pluie de mai à août.

La sécheresse, mais aussi la chaleur, affectent beaucoup les prairies. Les espèces prairiales sont adaptées à des climats tempérés et ont un optimum physiologique autour de 25° C. Au-delà de 30°C, la photosynthèse s'arrête et la croissance végétale est stoppée⁷. Des travaux expérimentaux montrent qu'une sécheresse extrême peut avoir des effets négatifs sur la quantité de fourrages pendant deux ans. Bien que cela soit moins étudié, les sécheresses sévères pourraient affecter aussi la qualité des fourrages, leurs teneurs en protéines, en fibres ou en sucre.

⁷ Seuil de référence utilisé par le projet Life AgriAdapt pour déterminer l'indice de stress thermique.

⁸ Pascal Carrère et Catherine Picon-Cochard. (2020). Sécheresse : focus sur les prairies permanentes. Inrae Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes.

II. SIMULATIONS DE PAR

II. 1. Simulations de PAR pour une année typique moyenne, actuelle et futur proche

Les simulations de rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) au sein des 4 zones et au cours des 4 périodes, exprimées en Wh/m² et associées au facteur d'hétérogénéité, sont présentées ci-dessous pour une année typique en 2020 et une année typique en 2050.

Pour rappel, la zone AgriPV désigne toute la zone sous panneaux et entre panneaux mais sans effet bordure.

Résultat pour une année typique en 2020

Tableau 5. Simulations de PAR cumulé pour une année typique moyenne 2020 (Wh/m²)

Période	Zone témoin	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV	Hétérogénéité
1 : 01/03-1/04	41 655	21 070	22 135	21 602	2%
2 : 02/04-1/05	63 033	27 486	41 302	34 394	20%
3 : 2/05-31/08	303 376	136 006	215 731	175 869	23%
4 : 01/09-15/11	94 214	49 889	45 233	47 561	5%

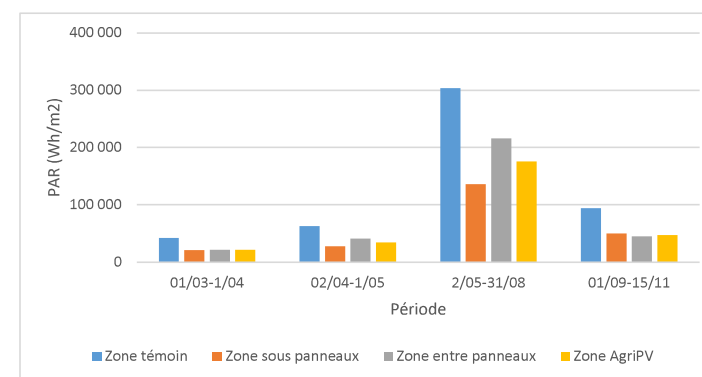


Figure 15. Simulations de PAR cumulé pour une année typique moyenne 2020 (Wh/m²)

Tableau 6. PAR cumulé en % de la zone témoin

Année moyenne en 2050	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV
1 : 24/02-27/03	-49%	-47%	-48%
2 : 28/03-27/04	-56%	-34%	-45%
3 : 28/04-25/08	-55%	-29%	-42%
4 : 26/08-28/10	-47%	-52%	-50%

Pour une année typique actuelle, le PAR est en moyenne 46% plus élevée dans la zone témoin que dans les autres zones. Dans les 3 autres zones, aucune différence significative en période hivernale, mais il y a une différence en période estivale où l'irradiance dans la zone entre panneaux est d'environ 40% plus élevée que sous les panneaux. Cela se traduit aussi par une plus grande hétérogénéité du rayonnement à mesure que la durée du jour augmente. Le rayonnement utilisable par la plante est donc plus élevé de 46% en zone témoin. La structure PV affecte plus le PAR en période estivale qu'en période hivernale.

Résultats pour une année typique en 2050

Tableau 7. Simulations de PAR cumulé pour une année typique moyenne 2050 (Wh/m²)

Année moyenne en 2050	Zone témoin	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV	Hétérogénéité
1 : 24/02-27/03	37 637	19 456	18 740	19 098	2%
2 : 28/03-27/04	64 497	27 729	41 736	34 733	20%
3 : 28/04-25/08	300 184	134 771	213 980	174 376	23%
4 : 26/08-28/10	94 338	49 915	47 168	48 541	3%

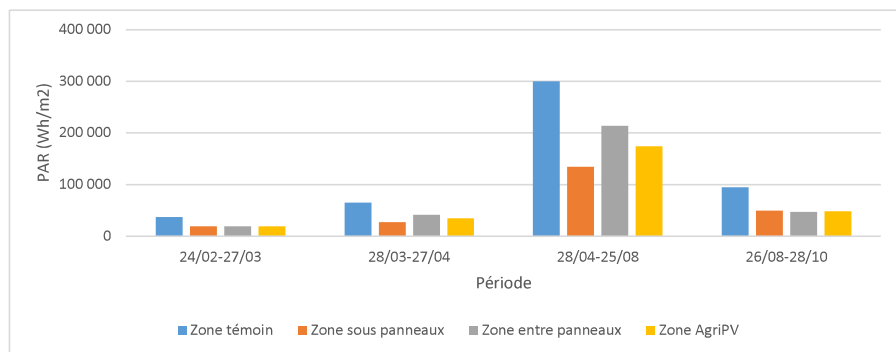


Figure 16. Simulations de PAR cumulé pour une année typique moyenne 2050 (Wh/m²)

Tableau 8. PAR cumulé en % de la zone témoin

Année moyenne en 2050	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV
1 : 24/02-27/03	-48%	-50%	-49%
2 : 28/03-27/04	-57%	-35%	-46%
3 : 28/04-25/08	-55%	-29%	-42%
4 : 26/08-28/10	-47%	-50%	-49%

Pour une année typique en 2050, le PAR sera toujours en moyenne 50% plus élevée dans la zone témoin que dans les autres zones. La différence est plus faible en période estivale. Dans les 3 autres zones, aucune différence significative du PAR en période hivernale, une différence existera aussi en période estivale où le PAR dans la zone entre panneaux serait d'environ 40% plus élevé que sous les panneaux. Cela se traduit aussi par une plus grande hétérogénéité du rayonnement.

II. 2. Les simulations de PAR journalier pour une année typique moyenne, actuelle et future proche

Les simulations de rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) journalier au sein des 4 zones et au cours des 4 périodes, exprimées en W/m² et associées au facteur d'hétérogénéité, sont présentées ci-dessous pour une année typique en 2020 et une année typique en 2050.

Résultats pour une année moyenne en 2020

Tableau 9. Simulations de PAR journalier pour une année typique moyenne 2020 (Wh/m²)

Période	Zone témoin	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV	Hétérogénéité
1 : 01/03-1/04	1 302	658	692	675	2%
2 : 02/04-1/05	2 101	916	1 377	1 146	20%
3 : 2/05-31/08	2 487	1 115	1 768	1 442	23%
4 : 01/09-15/11	1 240	656	595	626	5%

Tableau 10. Comparaison des simulations de PAR journalier pour une année typique moyenne 2020

Année moyenne en 2020	Différence/zone témoin		
	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV
1 : 01/03-1/04	-49%	-47%	-48%
2 : 02/04-1/05	-56%	-34%	-45%
3 : 2/05-31/08	-55%	-29%	-42%
4 : 01/09-15/11	-47%	-52%	-50%

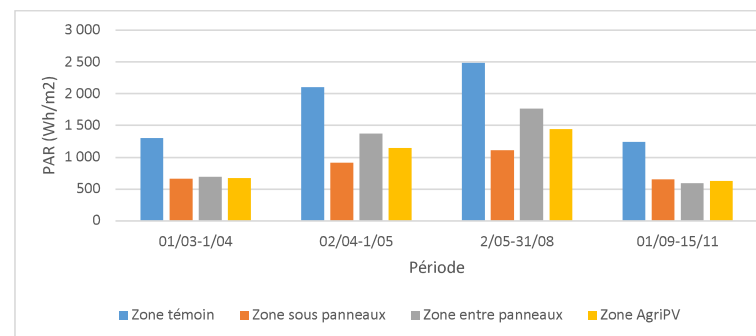


Figure 17. Simulations de PAR journalier pour une année typique moyenne 2020 (Wh/m²)

Pour une année moyenne actuelle, l'irradiance journalière est en moyenne toujours 46% plus élevée dans la zone témoin que dans les autres zones. Cette différence est plus faible entre les panneaux. Entre les 3 autres zones, aucune différence significative de PAR journalier en période hivernale, mais une différence existe en période estivale où le PAR dans la zone entre panneaux est d'environ 40% plus élevée que sous les panneaux. Cela se traduit aussi par une plus grande hétérogénéité du rayonnement journalier à mesure que la durée du jour augmente.

Résultats pour une année moyenne en 2050

Tableau 11. Simulations de PAR journalier pour une année typique moyenne 2050 (Wh/m²)

Année moyenne en 2050	Zone témoin	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV	Hétérogénéité
1 :24/02-27/03	1 176	608	586	597	2%
2 :28/03-27/04	2 081	894	1 346	1 120	20%
3 :28/04-25/08	2 502	1 123	1 783	1 453	23%
4 :26/08-28/10	1 474	780	737	758	3%

Tableau 12. Comparaison des simulations de PAR journalier pour une année typique moyenne 2050

Année moyenne en 2050	Différence/zone témoin		
	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV
1 :24/02-27/03	-48%	-50%	-49%
2 :28/03-27/04	-57%	-35%	-46%
3 :28/04-25/08	-55%	-29%	-42%
4 :26/08-28/10	-47%	-50%	-49%

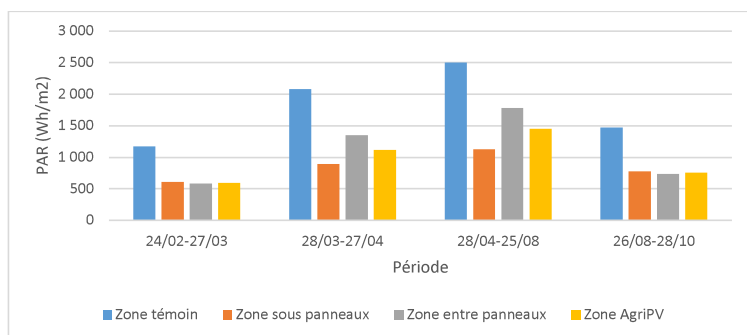


Figure 18. Simulations de PAR journalier pour une année typique moyenne 2050 (Wh/m²)

Pour une année typique en 2050, le PAR restera toujours en moyenne 46% plus élevée dans la zone témoin que dans les autres zones. La différence est plus faible en période estivale. Dans les 3 autres zones, aucune différence significative d'irradiance en période hivernale, une différence existera aussi en période estivale où l'irradiance dans la zone entre panneaux est d'environ 40% plus élevée que sous les panneaux. Cela se traduit aussi par une plus grande hétérogénéité du rayonnement journalier en été. Il est important de signaler la grande homogénéité en début et fin de cycle au sein la zone agriPV.

II. 3. PAR reçu au sol pour les différents stades phénologiques pour une année typique moyenne actuelle

L'irradiance reçue au sol pour les différents stades phénologiques pour une année typique moyenne actuelle est visuellement présentée ci-dessous.

Pendant la période du 1^{er} mars au 1^{er} avril, mais du 1^{er} septembre au 15 novembre, nous pouvons observer que l'irradiance est relativement homogène, mais à mesure que la durée du jour s'élève, c'est-à-dire période printemps-été, nous pouvons observer que la différence d'irradiance s'accroît entre la zone entre panneaux et les autres zones. Il y aura également un effet bordure des panneaux.

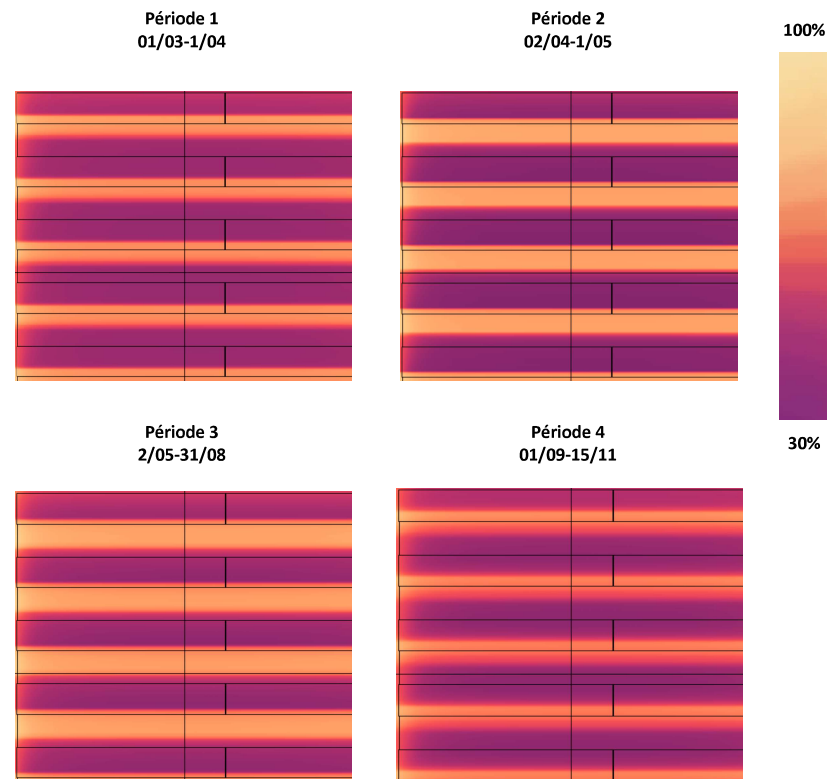


Figure 19. Irradiance simulée pour les 4 périodes de l'année 2020

II. 4. PAR reçu pendant une journée d'hiver et d'été

Les 3 points sont situés en zone témoin et les deux autres points au centre des zones sous-panneaux et inter-rang.

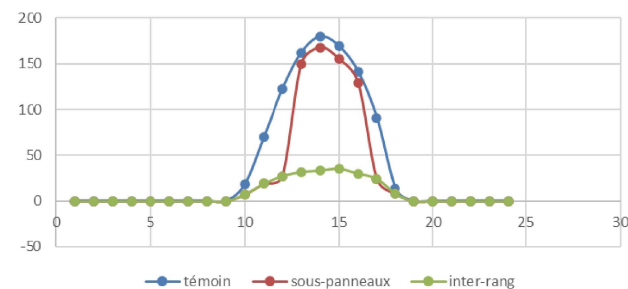


Figure 20. PAR reçu le 28 janvier sur 24h en Wh/m²

Il y a plus de rayonnement reçu sous panneaux lors une journée ensoleillée le 28 Janvier. Ceci est dû à la position basse du soleil en hiver.

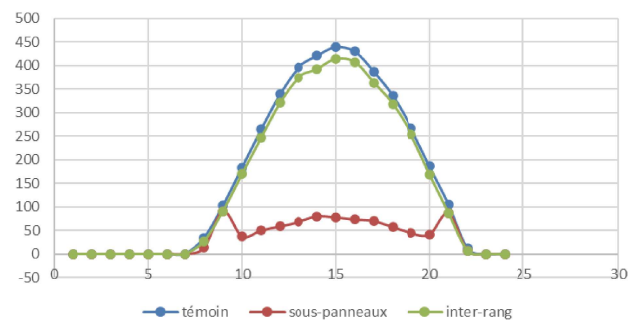


Figure 21. PAR reçu le 2 juin sur 24h en W/m²

Le point en zone sous-panneaux reçoit de la lumière directe en début et fin de journée. Le point au centre de la zone inter-rang reçoit un rayonnement un peu plus faible qu'en zone témoin à cause des panneaux adjacents.

III. COMPARAISON DES RESULTATS AVEC UN PROJET AGRIPV DE REFERENCE EN PATURAGE OVIN TOURNANT

A titre de comparaison, les simulations de PAR journalier sur le site d'Arkolia sont présentées ci-dessous selon 4 périodes et au sein de 4 mêmes zones.

Tableau 13. Périodes de simulation pour le site de référence

Périodes de simulation	Début	Fin	Commentaire
Période 1	1 ^{er} Janvier	30 Avril	30 Avril : date de 1 ^{ère} fauche dans la région
Période 2	1 ^{er} Mai	15 Juin	15 Juin : date de 2 ^{ème} fauche dans la région
Période 3	16 Juin	31 Juillet	Peu de production
Période 4	1 ^{er} Août	30 Octobre	Reprise progressive de la production jusque 3 ^{ème} fauche dans la région

Tableau 14. Simulations de PAR cumulé pour une année typique moyenne 2020 du site de référence (Wh/m²)

	Zone témoin	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV	Hétérogénéité
01/01-30/04	155 865	51 227	92 755	71 991	29%
01/05-15/06	121 370	42 042	97 774	69 908	40%
16/06-30/07	139 352	47 360	113 930	80 645	41%
01/08-31/10	176 736	54 319	123 115	88 714	39%

Tableau 15. Comparaison de PAR cumulé pour une année typique moyenne 2020 du site de référence

Année moyenne en 2020	Différence/zone témoin		
	Zone sous panneaux	Zone entre panneaux	Zone AgriPV
01/01-30/04	-67%	-40%	-54%
01/05-15/06	-65%	-19%	-42%
16/06-30/07	-66%	-18%	-42%
01/08-31/10	-69%	-30%	-50%

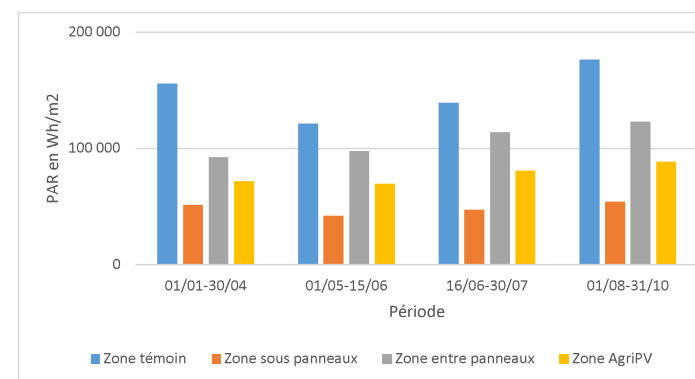


Figure 22. Simulations de PAR cumulé pour une année typique moyenne 2020 du site de référence (Wh/m²)

