

II. 2. Évapotranspiration mensuelle

L'évapotranspiration mensuelle pour 3 points situés en zone témoin, sous-panneaux et inter-rang est calculée à partir des données d'ETP journalières.

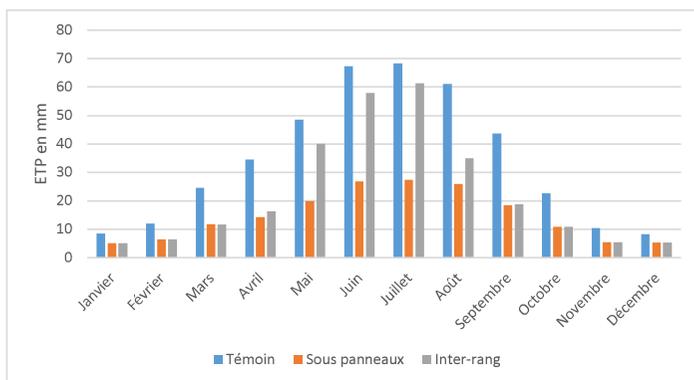


Figure 24. Simulation d'ETP mensuelle (mm/mois)

Tableau 17. Simulation d'ETP mensuelle (mm/mois)

ETP mensuelle	Témoin	Sous panneaux	%témoin	Inter-rang	%témoin
Janvier	9	5	-40%	5	-40%
Février	12	7	-46%	7	-46%
Mars	24	12	-52%	12	-52%
Avril	34	14	-59%	16	-53%
Mai	49	20	-59%	40	-17%
Juin	67	27	-60%	58	-14%
Juillet	68	27	-60%	61	-10%
Août	61	26	-58%	35	-43%
Septembre	44	19	-58%	19	-57%
Octobre	23	11	-52%	11	-52%
Novembre	10	6	-47%	6	-47%
Décembre	8	5	-38%	5	-38%
Total	410	178	-57%	274	-33%

Nous observons que la structure diminue fortement l'ETP, 57% en moyenne, et de manière homogène, surtout sur la période d'avril à octobre. De Mai à Juillet, nous pouvons observer une diminution plus faible de l'ETP en zone inter-rang, car le soleil est plus proche du zénith autour du solstice d'été.

II. 3. Évapotranspiration par stade de développement

L'évapotranspiration pour les 4 périodes correspondant à différents stades de développement des cultures est calculée à partir des données d'ETP journalière.

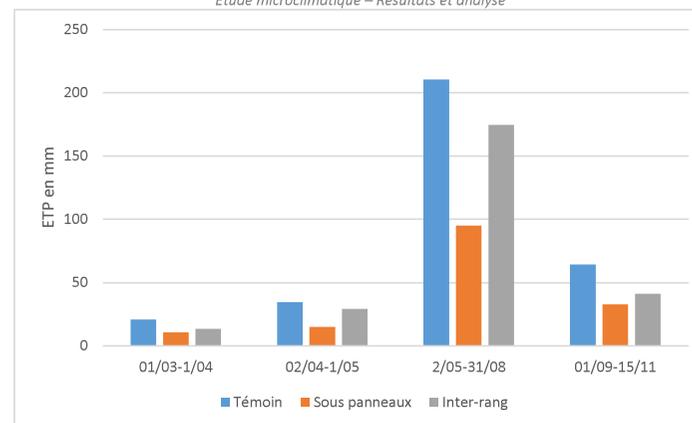


Figure 25. Simulation d'ETP par période de développement (mm/période)

Tableau 18. Simulation d'ETP par période de développement (mm/période)

ETP mensuelle	Témoin	Sous panneaux	%témoin/sous panneaux	Inter-rang	%témoin/Inter-rang
01/03-1/04	21	11	-48%	13	-36%
02/04-1/05	35	15	-56%	30	-15%
2/05-31/08	211	95	-55%	175	-17%
01/09-15/11	64	33	-49%	41	-36%

De la même manière, la structure photovoltaïque va fortement réduire l'ETP sur les 4 périodes étudiées. L'ETP, et donc la demande climatique, serait réduite de 176 mm, soit 176 L/m² sous panneaux. Sur l'année entière, c'est une baisse de 232 mm de l'ETP dans la zone des panneaux et de 136 mm en inter-rangs. Cela va donc permettre de réduire les besoins en eau de la prairie, ce qui est considérablement positif dans un contexte de changement climatique caractérisé par des pluies moins abondantes et des épisodes de sécheresse plus fréquents.

II. 4. L'évapotranspiration maximale (ETM)

L'évapotranspiration maximale (ETM) représente la consommation en eau des cultures. Elle se calcule grâce à la formule suivante $ETM = ETP \times Kc^{10}$.

Les valeurs de Kc mensuelles retenues pour les simulations sont basées sur les données diffusées par la BRL¹¹.

Tableau 19. Valeurs de Kc mensuelles retenues pour les simulations

	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Kc	0,6	0,6	1,1	1,1	1,1	1,1	0,6	0,6	1,1	0,6	0,6	0,6

¹⁰ Le coefficient cultural (Kc) est défini par la FAO comme étant « le rapport entre l'évapotranspiration de la culture (ETM) et l'évapotranspiration potentielle (ETP), il intègre les effets des quatre caractéristiques primaires qui distinguent une culture de la culture de référence qui sont : la hauteur de la culture, la résistance de surface sol - végétation, l'albédo, l'évaporation de sol ». À cet effet, le Kc à un stade de développement donné sera une valeur caractéristique de chaque culture traduisant le rapport entre son évapotranspiration maximale et l'évapotranspiration potentielle. L'évolution de Kc se fait en fonction du stade de développement de la végétation, la nature du couvert végétal et les conditions climatiques locales.

¹¹ https://www.brl.fr/phototheque/photos/memento/memento_2019_web.pdf

Sur la base du Kc d'un couvert fourrage qui varie selon la période de production et de l'ETP estimée précédemment, l'ETM¹² a été calculée. Sous panneaux, l'ETM est diminuée de 203 mm soit un besoin en eau réduit de 203 L/m² (ou 2 030 m³/ha), dont 123 mm d'avril à juillet, mois où les précipitations sont les plus faibles. C'est également une baisse de 44 mm en inter-rang, ce qui va réduire le potentiel stress hydrique, et améliorer la productivité de la prairie.

Tableau 20. Estimation de l'ETM de la prairie dans la zone du projet

ETM	Témoïn	Panneaux	Inter-rang
Janvier	5,1	3,1	3,1
Février	7,2	3,9	3,9
Mars	26,9	12,9	12,9
Avril	37,9	15,7	17,9
Mai	53,5	22,0	44,2
Juin	74,1	29,5	63,8
Juillet	41,0	16,4	36,8
Août	36,6	15,5	21,0
Septembre	48,0	20,4	20,7
Octobre	13,6	6,5	6,5
Novembre	6,3	3,3	3,3
Décembre	5,0	3,1	3,1
Total	355,3	152,4	237,2
Delta		-203,0	-118,2

L'efficacité et la régularité des pluies mensuelles étant très difficiles à prévoir, le bilan hydrique prévisionnel simplifié de la prairie a été mensuellement appréhendé par zone et selon les données issues de la Base de Données Géographique des Sols de France pour la RFU. La RFU correspond à la part de la réserve utile que les plantes peuvent extraire sans réduire leur transpiration et sans subir de stress hydrique. Selon les données issues de la Base de Données Géographique des Sols de France, la RFU de la zone d'étude est dans la classe 3 soit de 100 à 150 mm. C'est donc une valeur théorique issue de la littérature scientifique.

$$\text{Bilan hydrique simplifié mensuel} = \text{RFU} + \text{Pluie} - \text{ETM}$$

La RU représente le stock d'eau utilisable par les plantes est composée de la réserve facilement utilisable (RFU) et de la réserve de survie (RS). Le rapport RFU/RU varie de 1/3 à 2/3. Le sol étant limono-sableux, nous prendrons comme hypothèse une réserve utile de 200 mm.

¹² ETM est déduite de l'ETP par le biais du coefficient cultural qui traduit l'influence de la phénologie de la culture considérée. L'évapotranspiration maximale (ETM) représente la consommation en eau des cultures. Elle se calcule grâce à la formule suivante $ETM = ETP \times Kc$.

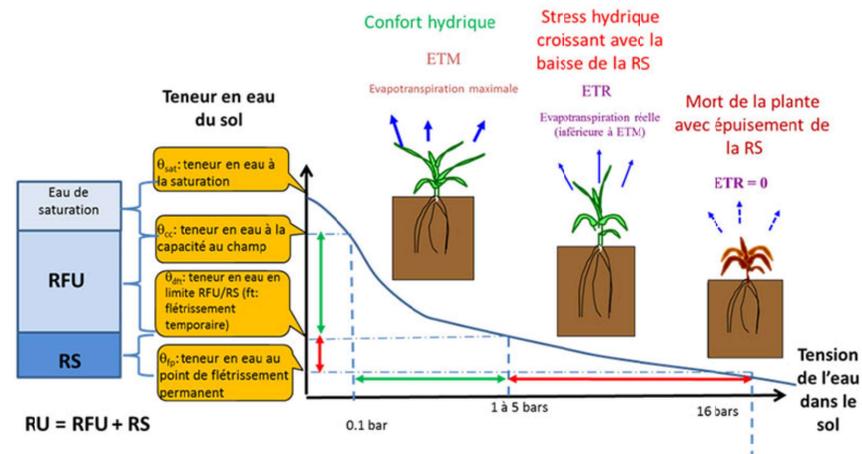


Figure 26. Relations entre la teneur en eau du sol, la tension de l'eau dans le sol et le statut hydrique d'une culture (cas d'un sol peu épais homogène avec un enracinement homogène où on aurait une tension identique en tous points). (Source : Arvalis Institut du Végétal, 2022)

Les besoins en eau augmentent avec la reprise végétative en sortie d'hiver (Mars). En été, la ressource en eau étant contrainte, il est envisagé une production restreinte avant une reprise en septembre en vue d'une nouvelle période de pâturage. Les apports pluviométriques pour le bilan hydrique sont les données de pluviométrie moyenne 1981-2020 de la Station Météo-France de Blain – 44 et celles issues de Météonorm et géolocalisées à la parcelle pour le stress hydrique.

L'objectif est ici de mesurer le déficit hydrique mensuel théorique.

Tableau 21. Bilan hydrique simplifié par mois dans les sols de la zone d'étude (en mm)

Mois	Pluviométrie moyenne 1981-2020 (Station Météo-France de Blain - 44)	Témoïn	Panneaux	Inter-rang
Janvier	95,5	215,4	217,4	217,4
Février	72,8	190,6	193,9	193,9
Mars	61,7	159,8	173,8	173,8
Avril	62,3	149,4	171,6	169,4
Mai	59,1	130,6	162,1	139,9
Juin	50,7	101,6	146,2	111,9
Juillet	42,2	126,2	150,8	130,4
Août	46,5	134,9	156,0	150,5
Septembre	61,9	138,9	166,5	166,2
Octobre	86,4	197,8	204,9	204,9
Novembre	95,9	214,6	217,6	217,6
Décembre	102,6	222,6	224,5	224,5
Total	837,6			



Figure 27. Remplissage de la réserve utile (R/RU %) – Seuil de stress hydrique

Les méthodes d'estimation du bilan hydrique simplifié montrent que la ressource en eau n'est pas un facteur limitant de la production de biomasse, car même dans la zone témoin, aucun stress hydrique n'est mis en évidence.

agneaux à la naissance.

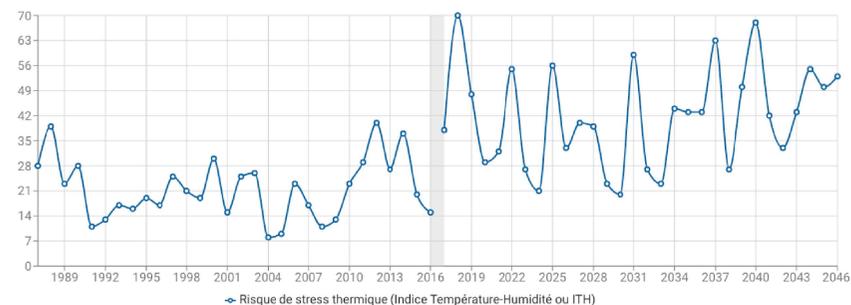


Figure 28. Risque de stress thermique (Indice Température-Humidité ou ITH) - Nombre de jours par an sous stress thermique (classes 2 à 5)

Autres effets positifs de la présence des panneaux plusieurs :

- Diminution de la température de l'air diurne → Ralentissement du développement
- Diminution des pertes thermiques du sol par rayonnement nocturne → Protection des gelées printanières et ont été observé des reprises de pousse plus précoces.
- Protection contre le stress thermique diurne alors que les prédictions climatiques montrent une claire augmentation des jours chauds. (données AgriAdapt décrites précédemment).

Tous ces effets vont contribuer à assurer des conditions de développement adaptées de la prairie lors des situations de stress qui vont s'intensifier au cours des années à venir et une productivité très satisfaisante, comme en témoigne les résultats obtenus sur le site d'Arkolia : irradiance similaire et productivité au moins équivalente aux références, même s'il y a une baisse de l'irradiance et une baisse de l'homogénéité des radiations reçues. La ressource fourragère sera préservée même en conditions climatiques stressantes.

En utilisant la relation linéaire suivante, il est possible de déterminer la quantité théorique, et sans facteur limitant, de matière sèche produite en fonction du PAR :

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

¹³ Le gain moyen quotidien représente la vitesse de croissance d'un animal et se définit comme la masse que gagnera ou perdra en moyenne chaque jour un animal sur une période donnée. Il s'exprime le plus souvent en g/jour ou en kg/jour.

¹⁴ VERMOREL M. (1982). Action du climat sur l'animal au pâturage. Commission agrométéorologie. Ed : INRA, P109- 113.

Le résultat exprimé en tMS/ha de cette estimation est le suivant :

Tableau 22. Production de biomasse prévisionnel en tMS/ha/an

Période	Témoin	AgriPV
01/03-1/04	2,7	1,4
02/04-1/05	4,2	2,3
2/05-31/08	20,0	11,6
01/09-15/11	6,2	3,1
Total	33,1	18,4

Selon la relation linéaire et les simulations de PAR, la production de matière sèche d'un mélange graminées/légumineuses dans la zone du projet serait de 33,1 tMS/ha/an dans la zone témoin et de 18,4 tMS/ha/an. La structure affecte indéniablement la production de biomasse, baisse de près 50%. Néanmoins, sur le seul critère de l'irradiance, la productivité en zone agriPV est bien supérieure aux références régionales (7,7 tMS/ha/an sur la période 2000-2019¹⁵). Ce qui confirme que l'irradiance n'est un facteur limitant de la production de biomasse au sein de la zone du projet.

La production totale du site est alors estimée à 460 tMS/an.

En moyenne selon l'IDELE¹⁶, les besoins fourragers annuels d'un cheptel prévisionnel de 200 brebis, sont les suivants :

Tableau 23. Besoins fourragers annuels du cheptel

Stade	Brebis à l'entretien	Brebis en gestation	Brebis en lactation	Agnelles	Agneaux
Besoin en kgMS/j	2	1,3	2,5	1	0,19
Durée de la période en jours	215	45	105	258	105
Besoin par animal/période en kgMS	430	58,5	262,5	258	19,95
Besoin cheptel de 200 brebis en kg MS/an	86 000	11 700	52 500	8 256	5 187

Sur la base de ces résultats, un cheptel de 200 brebis nécessite la production de 164 tMS/an soit 0,82 tMS/brebis/an. Cela est bien inférieur à la production estimée et permet d'affirmer, que sur le seul critère de l'irradiance, la production de matière sèche sera amplement suffisante pour un cheptel minimum de 200 brebis. Cela est aussi en adéquation avec les conclusions de l'INRA indiquant que la pousse de l'herbe n'est pas limitée par l'irradiance, mais par le manque d'eau, le vent et la chaleur. Or la structure PV protégera la prairie de ces 3 facteurs climatiques limitants.

Pour une bonne gestion de la ressource, le pâturage tournant est le plus approprié dont les principes sont les suivants :

- La production de l'herbe en pâturage dépend de la manière dont l'éleveur gère son troupeau à la pâture.
- L'absence de rotation, et le chargement trop faible, laisse les animaux choisir la ressource prairiale la plus appétante, tandis que la surpâturage empêche la prairie de repousser correctement.
- Utiliser des sous-parcs permet aux animaux de mieux valoriser l'herbe produite.
- La rotation entre les sous-parcs permet de prélever toute la ressource, donc il y aura moins de refus à broyer, puis il s'agit de laisser repousser l'herbe.

¹⁵ https://pays-de-la-loire.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Pays_de_la_Loire/022_Inst-Pays-de-la-loire/Listes-affichage-FE/RetD/Vegetal/Bul-pousse-de-l-herbe/Synthese_des_annees_anterieures/SYNTHESE_2020_Bulletin_Pousse_herbe_no_18_20201110.pdf

¹⁶ <https://www.inn-ovin.fr/wp-content/uploads/2019/04/Fiche-alimentation-2019.pdf>

- Ne pas oublier la répartition des points d'abreuvement des animaux.
- Règles de gestion :
 - Repos hivernal des prairies : 60 jours minimum
 - Temps de séjour par parcelle : 7 jours maximum
 - Mise à l'herbe : lorsque le cumul de températures atteint 300°C (viser 8-12 cm à l'herbomètre), pas de pâturage en dessous de 5 cm à l'herbomètre
 - Temps de retour : 21 jours minimum

Les caractéristiques du projet photovoltaïque présenté permettent de créer des conditions agroclimatiques adaptées à la prairie dans ce contexte de changement climatique et de mettre en place une véritable synergie avec la production ovine.

Les différentes simulations et comparaisons de partage lumineux réalisées montrent que la configuration actuelle de la centrale agrivoltaïque permet une irradiance assez homogène et que l'ombrage est même modéré sous les panneaux.

Des résultats comparables sur une installation agrivoltaïque de référence permettent une production fourragère très satisfaisante.

Ces résultats mettent en évidence que la configuration actuelle de l'installation pourrait être mise en place en synergie avec une activité agricole de type pâturage ovine « productive ».



Contactez CETIAC

Une expertise dédiée à la réalisation d'études préalables agricoles
et de compensation agricole collective.

N'hésitez pas à nous contacter pour en savoir plus

CETIAC | 18 rue Pasteur 69007 Lyon France
04 81 13 19 50 | contact@cetiac.fr | www.compensation-agricole.fr
SARL au capital de 10 000 euros | SIRET : 832 736 649 000 19 - RCS LYON