

Projet OviVolt – OASIS (UNamur) – EtherEnergy

Octobre 2023-Janvier 2024



Table des matières

Introduction	3
Partenaires.....	3
Objectifs de l'étude.....	3
Matériel et méthodes	5
Sélection des animaux	5
Évaluation du bien-être	5
Évaluation des biomarqueurs de stress	5
Évaluation quantitative et qualitative des parcelles	6
Suivi des saillies.....	6
Détection des gestations par échographie	6
Analyses statistiques	7
Résultats	7
Constitution des lots de brebis	7
Testage de la semence des béliers	8
Analyse de sol et herbométrie	8
Évaluation initiale des paramètres sanguins.....	10
Suivi du bien-être des brebis	10
Suivi des saillies.....	10
Performances de reproduction des brebis	11
Biomarqueurs de stress et score corporel en fin d'étude.....	12
Discussion – conclusion	13
Références bibliographiques	15

Introduction

Partenaires

OASIS (Omnibus Animalibus Studia Sanitatis) – Groupe de recherche de l’institut NARILIS (Namur Research for Life Sciences) au sein de l’Université de Namur.

Les intervenants OASIS sont :

- Prof. Hontoir Fanny (DMV, MSc, PhD), et Prof. Vandeweerd Jean-Michel (DMV, MSc, PhD, Dipl ECVS), responsables du groupe OASIS : ils interviennent dans le design de l’étude, l’évaluation des animaux, la collecte de prélèvements, l’encodage, l’analyse des données, l’interprétation des résultats et la rédaction du rapport.
- Mr. Vincent Simon, Mr. Damien Houbotte, Mme Christine Baricalla: bio-techniciens de laboratoire, ils interviennent dans le suivi des animaux (suivi bien-être et reproducteur), la manipulation des animaux, la collecte de prélèvements, l’évaluation des capacités reproductrices des animaux, le transport des animaux

EtherEnergy – société de développement de champs agrivoltaïques, représentée par Violaine Carnoy, Florence Porcherelle, Lisa Mur, et Alex Houtart. La société a établi un partenariat avec Bee’gium pour la transformation de terre en parc agrivoltaïque, avec une visée apicole (pour le printemps 2024). Les terres situées à Wierde sont mises à dispositions pour réaliser du pâturage ovin sous panneaux photovoltaïques (solar grazing en Anglais).

Objectifs de l’étude

L’agrivoltaïsme est un système dans lequel une parcelle de terrain agricole est utilisée à deux fins, en synergie : la production d’énergie par les panneaux photovoltaïques (centrale avec panneaux et onduleurs) et l’exploitation agricole des terres sur lesquelles se trouvent les panneaux. L’utilisation agricole fait référence aux productions végétales et aux productions animales. L’agrivoltaïsme est considéré comme un moyen de concilier production d’énergies renouvelables et production agricole (Carraussee and de Sartre, 2023).

En Belgique, la part des sources d’énergie renouvelable visée pour 2030 est de 17,5%. Cependant, les nouveaux objectifs européens pourraient monter cette valeur à 21,7%. Actuellement, le pays a atteint un niveau de 13%, dont une part était, jusqu’il y a peu, fournie par l’achat d’énergie renouvelable aux autres états membres. L’objectif d’électricité renouvelable en Wallonie pour 2030 est d’environ 14 TWh (Térawattheure), soit une augmentation de 250% par rapport à la situation en 2020. Pour atteindre cet objectif, l’éolien et le photovoltaïque sont considérés comme les technologies les plus utiles.

La combinaison « élevage – production d’énergie renouvelable » semble d’intérêt économique pour le propriétaire terrien, qui bénéficierait alors des revenus agricoles (liés à l’exploitation des terres qu’il possède) et des revenus liés à la mise en location de ses terres pour des dispositifs de production d’énergies renouvelables.

Le secteur de l’élevage ovin et la production de viande ovine convient pour le développement de l’agrivoltaïsme. Aux Etats-Unis, les moutons sont utilisés pour nettoyer les parcelles de terrains couvertes de panneaux photovoltaïques car ces animaux ont la capacité de circuler sous et entre les panneaux, et autour des structures qui les supportent (Kampherbeek et al., 2023).

Pour son utilisation raisonnée, les effets de l'agrivoltaïsme sur les productions animales doivent être documentés. L'hypothèse d'effets bénéfiques a été posée par certains groupes de recherche, dont la protection des animaux contre la chaleur par la fourniture de zones d'ombre sous les panneaux, et la protection des productions herbagères contre l'excès d'ensoleillement (celles-ci étant la source d'énergie des moutons au pré) (Kampherbeek et al., 2023 ; Fonseca et al., 2023). Cependant, ces effets bénéfiques ne sont valables que pour les conditions météorologiques et climatiques spécifiques des zones où ces études ont été menées (aux USA, en l'occurrence). Les principales publications traitant de l'agrivoltaïsme concernent l'impact des panneaux sur le comportement de pâturage de brebis Dorper en Californie (Kampherbeek et al., 2023), ou sur la croissance d'agneaux Polypay, en Oregon (Andrews et al., 2021).

L'agrivoltaïsme ovien n'est pas documenté en Belgique. Il est donc nécessaire d'en décrire les effets potentiels sur le bien-être animal mais aussi sur les performances zootechniques.

Plus précisément, il s'agit de répondre aux questions suivantes :

- **Le bien-être des animaux, qui pâturent dans des parcelles agrivoltaïques, est-il altéré ?** Outre l'évaluation du bien-être en suivant les grilles de score couramment utilisées en recherche (Kaler, 2008), des mesures sont effectuées sur prélèvements sanguin (cortisol, numération et formule sanguine) afin d'évaluer l'impact de la présence de panneaux photovoltaïques sur les animaux. En effet, le cortisol est un biomarqueur de stress chez le mouton. De plus, l'augmentation de cortisol sanguin lors de stress chronique est responsable d'altération de la numération et formule sanguine (taux de globules rouges et de globules blancs dans le sang) (Poudel et al., 2022).
- **La présence de panneaux photovoltaïques influence-t-elle la mise à la reproduction de brebis, en saison naturelle de reproduction ?** Pour répondre à cette question, des évaluations du comportement sexuel (comptage des saillies), de la fertilité, la fécondité et la prolificité anticipées sont réalisées.
- **La présence de panneaux photovoltaïques influence-t-elle la croissance des agneaux d'herbage sous la mère ?** Le gain quotidien moyen (GQM, en Kg/jour) et le poids au sevrage (càd en fin de pâturage sous la mère) sont déterminés par pesées régulières des agneaux. Le score corporel des brebis est aussi régulièrement évalué afin d'identifier si leurs besoins (de maintenance et de lactation) sont couverts par le pâturage.

Matériel et méthodes

Sélection des animaux

Après approbation par le comité éthique local de l'Université de Namur (#23/418), deux lots de 20 brebis Texel sont constitués : un lot pâture sous panneaux photovoltaïques à Wierde (site mis à disposition par EtherEnergy et Bee'gium), et un lot pâture dans des parcelles sans panneaux photovoltaïques choisies à proximité (3 km) pour être dans une même région naturelle de Belgique et s'affranchir des potentielles différences géologiques et météorologiques.

Des béliers non consanguins avec les brebis de l'étude sont utilisés. La qualité de leur semence est testée pour s'assurer de leur fertilité. L'aspect de la semence, la mobilité (massale et individuelle) des spermatozoïdes, le taux de spermatozoïdes vivants, morts et anormaux, ainsi que leur concentration, sont contrôlés (Baril et al., 1993 ; Moradi et al., 2022). Le descriptif précis du protocole d'analyse de semence (Standard Operating Procedure, SOP) se trouve dans les annexes.

Figure 1 : Prélèvement de la semence d'un bélier : la brebis est présentée au bélier qui l'approche (photo de gauche). Lorsque le bélier réalise le saut, l'opérateur dévie le pénis du bélier afin de collecter la semence vers un tube placé dans un vagin artificiel (photo du milieu). Le volume de semence est mesuré (photo de droite), et la semence est analysée dans les plus brefs délais.



Évaluation du bien-être

Le bien-être des animaux est évalué 3x/semaine par établissement d'un score de confort (0-4), d'un score de boiterie (0-10) et d'un score de comportement grégaire (0-3). La grille de score, couramment utilisée en recherche au sein du groupe OASIS, est adaptée de celle validée pour les moutons par Kaler et al. (2008). La grille détaillée est présentée dans les annexes.

Évaluation des biomarqueurs de stress

Les biomarqueurs sanguins de stress chronique sont mesurés en début et en fin d'étude : cortisol, numération et formule sanguine (Freitas-de-Melo et al., 2023).

Figure 2 : Brebis dans la zone de contention, lors de la réalisation des prises de sang.



Évaluation quantitative et qualitative des parcelles

Une herbométrie (20 à 30 mesures par parcelle pour évaluer la hauteur et la densité de l'herbe) et une analyse qualitative de l'herbe (analyse de fourrage qui évalue la matière sèche, l'apport énergétique, l'apport azoté ainsi que les minéraux) sont réalisées sur toutes les parcelles. Le but est de s'assurer que l'herbe est similaire pour le lot pâturant sous panneaux photovoltaïques et pour le lot contrôle (sans panneaux photovoltaïques).

Suivi des saillies

Chaque bélier est introduit dans son lot de brebis avec un harnais marqueur, ce qui permet de suivre les saillies qui ont lieu (toute brebis saillie est alors marquée de la couleur correspondante au niveau de la croupe). L'observateur compte le nombre de brebis marquées, et les identifie. Après 17 jours, la craie est changée afin d'identifier les saillies qui auraient lieu durant un deuxième cycle (on parle de « repasses »). Les béliers sont retirés des lots de brebis 35 jours après leur introduction.

Figure 3: Introduction du bélier dans les lots de brebis. Le bélier porte un harnais marqueur.



Détection des gestations par échographie

Trente-cinq jours après le retrait des béliers, les brebis sont échographiées afin de confirmer si les saillies ont été fécondantes. La présence de placentomes signe la gestation. Les agneaux sont dénombrés et l'échographiste estime leur âge, sur base leur taille.

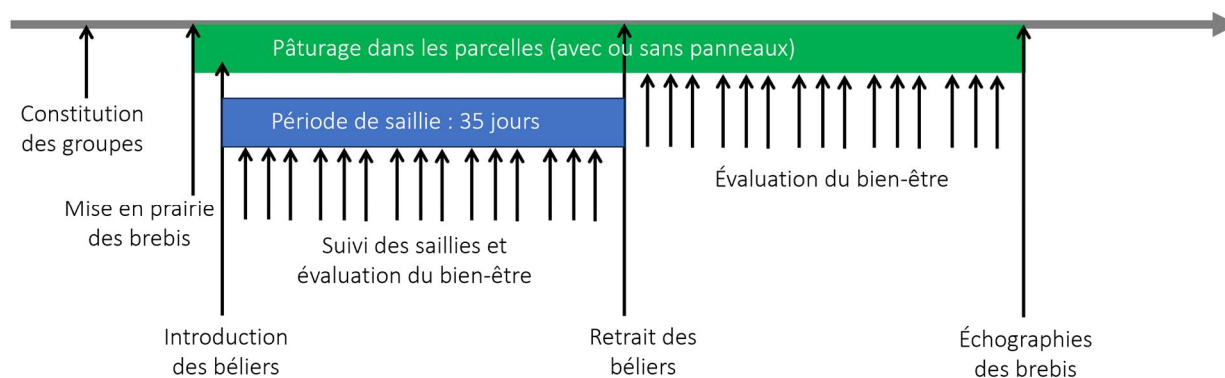
Figure 4 : échographie de gestation : La brebis est assise (à gauche) afin que l'échographiste ait accès au pli de l'aîne (milieu) et puisse ainsi réaliser le constat de gestation (à droite, cœur fléché).



Analyses statistiques

Les données collectées sont encodées dans un tableur. Les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel GraphPad Prism®. Les distributions des données sont analysées pour vérifier si ces dernières suivent une distribution normale. Ensuite, les données de chaque groupe sont comparées à l'aide du test t de Student, ou du test de Mann-Whitney. Le seuil de significativité est fixé à 0.05.

Figure 5 : Ligne du temps des différentes étapes et interventions réalisées sur les animaux durant l'étude.

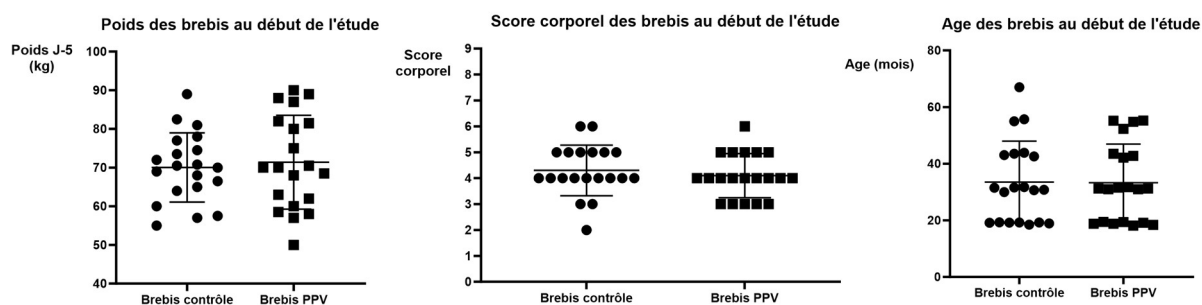


Résultats

Constitution des lots de brebis

Les lots de brebis sont réalisés en tenant compte des béliers utilisés pour la reproduction (éviter les problèmes de consanguinité). La constitution des lots mène à des lots homogènes en termes d'âge et de poids. La comparaison du lot de brebis sous panneaux photovoltaïques et du lot contrôle ne montre pas de différence significative en termes de poids ($P=0,34$), de score corporel ($P=0,21$) et d'âge ($P=0,48$).

Figure 6 : graphes représentant le poids (en kg), le score corporel (sur une échelle de 1 à 9) et l'âge (en mois) des brebis de chaque lot. Les brebis du lot contrôle (Brebis contrôle) ont un poids, un score corporel et un âge similaire à celui des brebis sous panneaux photovoltaïques (brebis PPV).



Le groupe contrôle (sans panneaux photovoltaïques) est réparti sur deux parcelles afin d'assurer les normes de superficie de pâturage par animal. On distingue donc un groupe contrôle 1 et un groupe contrôle 2.

Testage de la semence des béliers

Les béliers ont une semence de qualité, d'aspect blanc crémeux, avec une concentration en spermatozoïdes dans les normes et avec une très bonne motilité.

Tableau 1 : résultats du testage de la semence des béliers, réalisé avant la mise à la reproduction.

	Bélier 02006 (assigné au groupe contrôle 1)	Bélier 02141 (assigné au groupe contrôle 2)	Bélier 22144 (assigné au groupe panneaux photovoltaïques)
Volume d'éjaculat	0,6 ml	1,5 ml	1,4 ml
Aspect visuel	Blanc crémeux	Blanc crémeux	Blanc crémeux
Mobilité massale (0-5)	5	5	5
Motilité individuelle (0-5)	5	5	5
Coloration :			
% vivants	71	78	78
% morts	27	21	18
% anormaux	2	1	4
Concentration en spermatozoïdes	6,0 x10 ⁹ /ml	5,9 x10 ⁹ /ml	5,8 x10 ⁹ /ml

La présence des spermatozoïdes morts est un phénomène physiologique et acceptable jusqu'à 30%. La présence de spermatozoïdes anormaux ne doit pas excéder 15 à 20% (Baril et al., 1993 ; Maquivar et al., 2021).

Analyse de sol et herbométrie

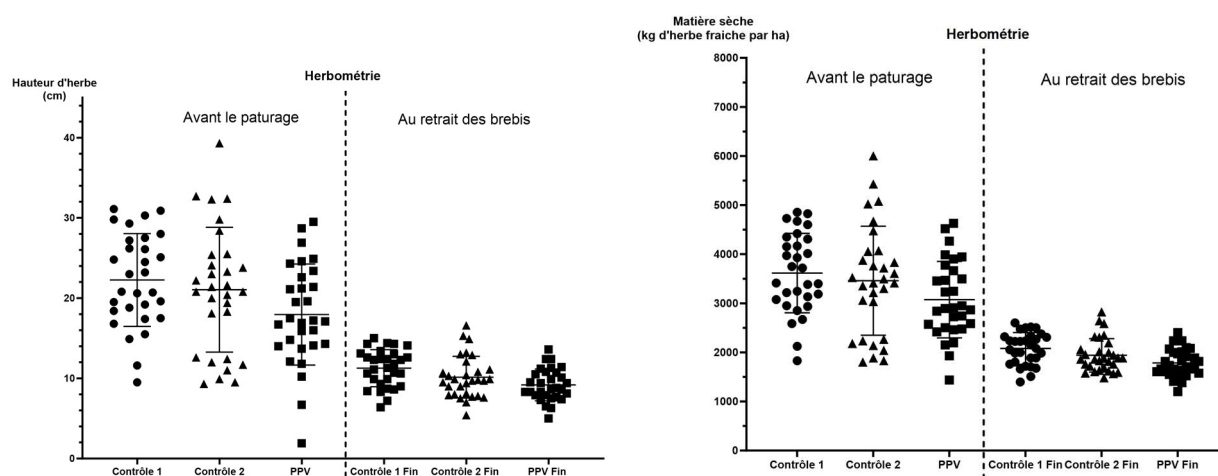
Les mesures d'herbométrie et l'analyse de l'herbe en début d'étude ne montrent pas de différence significative entre les parcelles (P=0,11 et P=0,07, respectivement) (Figure 7). Par rapport aux valeurs mesurées en début d'étude, la hauteur d'herbe et la valeur estimée de matière sèche sont significativement plus faibles pour chaque parcelle en fin d'étude (Paired t-test ; P<0.01 pour chaque comparaison 2 à 2).

Bien qu'en début d'étude les valeurs de hauteur et de matière sèche ne sont pas significativement différentes entre les parcelles (avec et sans panneaux photovoltaïques), en fin de période de pâturage, la parcelle contrôle 1 présente des valeurs significativement plus élevées de hauteur d'herbe (Ordinary One-way ANOVA ; P=0.003) et de matière sèche (Ordinary One-way ANOVA ; P=0.002), avec une différence moyenne de 2.1 +/- 0.6 cm pour la hauteur d'herbe et de 295 +/- 77 kg/ha pour la matière sèche. Cependant, cette différence reste modeste si l'on considère que la différence entre prairie à rendement modéré et prairie à rendement faible est de 3 tonnes de matière sèche/ha (Forton & Meniger, 2019-2020).

*Tableau 2 : Mesures d'herbométrie. Les différences avant-après pâturage sont significatives pour chaque parcelle, traduisant ainsi une évolution naturelle de la prairie pâturée par les brebis (consommation de l'herbe par les animaux et son non-renouvellement étant donné la saison lors du retrait des animaux). * différence statistiquement significative entre la parcelle contrôle 1 et la parcelle avec panneaux photovoltaïques.*

	Parcelle 1 sans panneaux	Parcelle 2 sans panneaux	Parcelle avec panneaux photovoltaïques
Herbométrie avant pâturage			
Hauteur (cm)	22,2 +/- 5.8	21,1 +/- 7.8	18,9 +/- 5.1
Matière sèche d'herbe fraîche (kg par ha)	3615 +/- 809	3460 +/- 1111	3074 +/- 779
Herbométrie au retrait des brebis			
Hauteur (cm)	11.3 +/- 2.3*	10.14 +/- 2.6	9.2 +/- 2.0*
Matière sèche d'herbe fraîche (kg par ha)	2079 +/- 324*	1940 +/- 341	1784 +/- 278*

Figure 7 : graphe représentant la hauteur moyenne d'herbe mesurée sur les différentes parcelles et les valeurs estimées de matière sèche d'herbe fraîche par hectare.



L'analyse d'herbe fraîche collectée sur les différentes parcelles en début d'étude montre que les parcelles présentent des caractéristiques similaires en termes d'apport en énergie et de protéines (Tableau 4). Ces résultats sont satisfaisants et se rapprochent des valeurs décrites dans la littérature pour une herbe produite en automne (Demarquilly et al., 1984 ; Mc Donald et al., 2011 ; Cugnon et al., 2023).

L'évaluation de la qualité de l'échantillon d'herbe pour chaque parcelle (Figure 8) montre que les valeurs de protéine (PBT), de cellulose et d'énergie (VEM) sont correctes, malgré qu'il s'agisse d'une herbe d'octobre, provenant de pâturages bio n'ayant pas été fertilisés. Le détail des analyses se trouve dans les annexes.

En fin de pâturage, les analyses d'herbe ont montré une diminution de la matière sèche, une augmentation de l'hémicellulose mais pas de la lignine (augmentation de l'ADF sans augmentation de l'ADL), et une diminution de la quantité de protéine brute. Ces modifications sont attendues dans l'évolution naturelle des pâtures en automne (Mc Donald et al., 2011 ; Cugnon et al., 2023). La diminution significative de hauteur d'herbe (10cm) et de matière sèche /ha (1500kg/ha) entre le début et la fin de l'étude reflètent la consommation de la biomasse végétale par les moutons, et le ralentissement de la repousse de l'herbe en automne.

Évaluation initiale des paramètres sanguins

Les valeurs moyennes sont dans les normes, et ne présentent pas de différence notable entre le lot de brebis sous panneaux photovoltaïques et le lot contrôle pour les valeurs érythrocytaires ($P=0.16$ à 0.70 selon le paramètre), leucocytaires ($P=0.10$ à 0.63 selon le paramètre) ainsi que pour le cortisol ($P=0.11$). Le détail des analyses se trouve dans les annexes.

Suivi du bien-être des brebis

Le suivi des brebis (lot avec panneaux et lot sans panneaux photovoltaïques) montre des scores de confort et de comportement grégaire de 0 (= comportement normal).

Un bélier de la parcelle sans panneau (bélier 'XP' 02006) a présenté une boiterie légère de l'antérieur droit le 12 octobre (score de boiterie 4/10), traitée par un soin des onglons (Cyclospray®). Cette boiterie, liée à une dermatite interdigitée, peut apparaître en prairie, où l'humidité des terres favorise la survie et le développement de certains pathogènes interdigités (*Fusobacterium necrophorum*, par exemple). Cette boiterie passagère n'a pas affecté sa capacité à saillir les brebis puisque des brebis fraîchement marquées ont été identifiées le 11 octobre, le 12 octobre, ainsi que les jours suivants.

Suivi des saillies

Les béliers ont réalisé des saillies dès le 1^{er} jour d'introduction dans le lot de brebis, que ce soit dans le lot avec ou dans le lot sans panneaux photovoltaïques. Les saillies se sont étalées sur une période de 15 jours suivant l'introduction du bélier pour l'ensemble des brebis (lot avec et lot sans panneaux). C'est une situation normale sachant que le cycle d'une brebis s'étend sur une période moyenne de 17 jours. Toutes les brebis sont donc bien venues en cycle sur les 15 premiers jours.

Après changement de la craie de chaque bélier, six brebis du lot contrôle et quatre brebis du lot sous panneaux photovoltaïques sont saillies en repasse.

Figure 8 : Graphe du nombre cumulé de saillies au cours du temps. Chaque parcelle contrôle contient 10 brebis. La parcelle avec panneaux photovoltaïques contient 20 brebis. L'ensemble des brebis est sailli sur les 15 premiers jours (entre le 11 octobre et le 26 octobre). A partir du 30 octobre, les brebis marquées sont considérées en 'repassé', c'est-à-dire que la 1^{ère} saillie (avant le 26 octobre) n'a pas été fécondante et que la brebis est revenue en cycle, a présenté des chaleurs et a été marquée par le male une seconde fois.

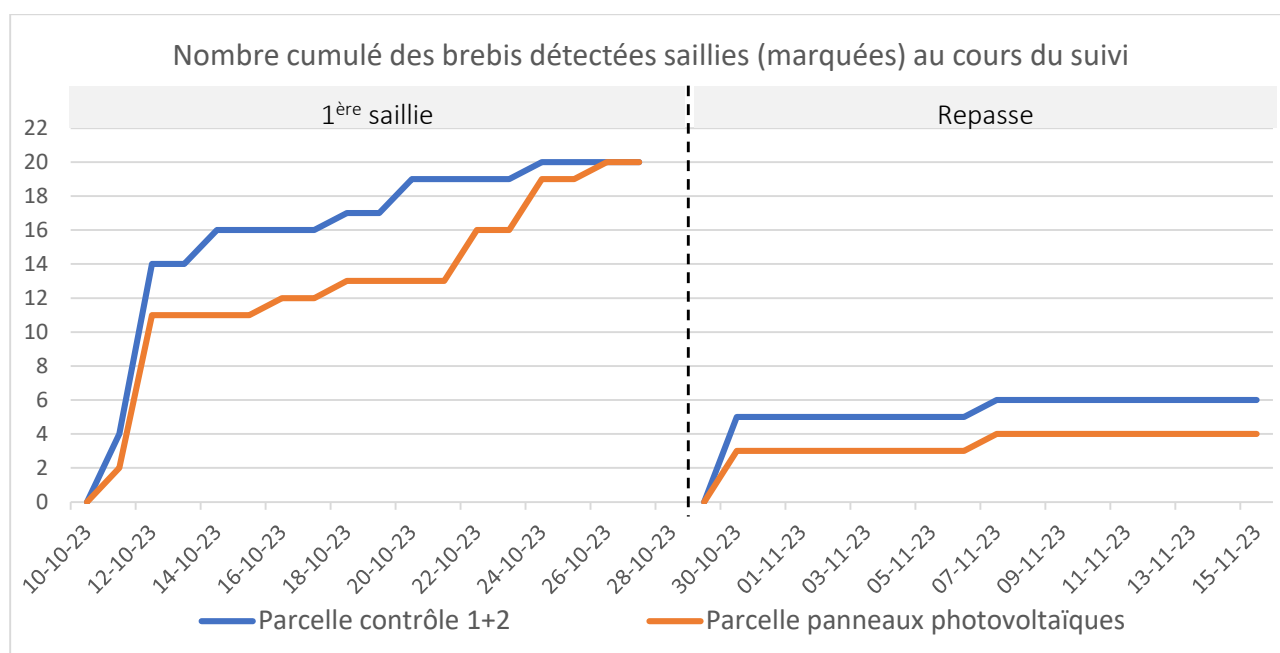


Figure 9 : Illustration des brebis en prairie, dans une des parcelles contrôle, sans panneaux (à gauche) et dans la parcelle avec panneaux photovoltaïques (à droite). On observe (à gauche) un marquage bleu sur l'arrière du dos. A droite, on observe un double marquage : deux des brebis initialement marquées par la couleur rouge (lors de la 1^{ère} saillie) ont été marquées une seconde fois par le bélier (= « repasse »), laissant alors une couleur verte sur l'arrière-train de la brebis (couleur verte couvrant de façon plus ou moins intense la couleur rouge de la saillie ayant eu lieu lors du cycle précédent).



Performances de reproduction des brebis

Les échographies confirment la gestation pour 16 brebis des 20 brebis du lot contrôle et 20 brebis du lot sous panneaux photovoltaïques. Les valeurs de fertilité, prolificité et fécondité anticipées sur base des échographies sont résumées pour chaque lot, dans le tableau.

Bien que la fécondité (nombre de jeune par brebis) est significativement différente entre les deux lots ($P=0,04$), la prolificité (nombre de jeunes par brebis gestante) ne montre pas de différence significative entre les brebis contrôle et les brebis sous panneaux photovoltaïques ($P= 0,35$).

Tableau 3 : Paramètres de reproduction des brebis contrôle et des brebis sous panneaux photovoltaïques. La fertilité (en %, = nombre de brebis gestantes/ nombre de brebis mise à la reproduction x 100), la fécondité anticipée (= nombre de jeunes par brebis mise à la reproduction), et la prolificité anticipée (=nombre de jeunes par femelle gestante) sont calculées sur base des échographies. Les valeurs de fécondité et de prolificité sont dites 'anticipées' puisque les brebis n'ont à ce jour pas encore mis bas.

	Lot de brebis contrôle	Lot de brebis avec panneaux photovoltaïques
Fertilité	80% (16/20)	100% (20/20)
Fécondité (Moyenne +/-écart-type)	1,5 +/- 0,9	2,1 +/- 0,7
Prolificité (Moyenne +/-écart-type)	1,9 +/- 0,5	2,1 +/- 0,7

Figure 10 : Graphes de la fécondité et de la prolificité anticipées sur base de l'échographie. Les lots ont présenté des valeurs normales pour des brebis Texel en saison de reproduction (Septembre à Décembre).

Tableau 4 : valeurs moyennes/médianes de poids, âge et score corporel pour les brebis contrôle et les brebis sous panneaux photovoltaïques en début et en fin d'étude.

	Lot de brebis contrôle	Lot de brebis sous panneaux photovoltaïques
Poids (moyenne +/- écart type)	70,0 kg+/-9,0	71,4kg+/-12,1
Score corporel initial (médiane ; minimum-maximum)	4 (2-6) *	4 (3-6) *
Age (moyenne +/- écart type)	33,5 mois +/- 14,4	33,3 mois +/- 13,6
Score corporel final (médiane ; minimum-maximum)	6 (4-7) *	5 (4-6) *

*Les scores corporels en début et en fin d'étude sont significativement différents ($P < 0.0001$) pour chaque lot, avec une augmentation moyenne de + 1 unité entre le début et la fin de l'étude.

Discussion – conclusion

Cette étude pilote vise à évaluer le bien-être et la reproduction de brebis pâturant sous panneaux photovoltaïques et de la comparer à des brebis contrôle (sans panneaux photovoltaïques).

La constitution des lots permet de démarrer l'étude avec des lots homogènes et similaires en termes de poids et d'âge. Les béliers utilisés pour la reproduction montrent un comportement sexuel normal (monte lors du testage) et une semence de qualité. Il est important que ces paramètres soient normaux et similaires entre les lots avant de démarrer l'étude puisque les performances zootechniques des brebis sont influencées par la fertilité du bélier, mais aussi leur propre score corporel (Dobson et al., 2012 ; Maquivar et al., 2021).

Les parcelles pâturées présentent des caractéristiques similaires en début d'étude. L'herbométrie est utilisée en pratique pour planifier l'utilisation des pâtures. Par exemple, au printemps, elle permet de décider le moment où les animaux pourront entrer dans la prairie (hauteur minimale d'herbe en deçà de laquelle il n'y a pas d'intérêt de lâcher les animaux). En période de pâturage, elle permet d'estimer si l'éleveur doit envisager le retrait des animaux (éviter le surpâturage), ou la complémentation de leur ration alimentaire (Umberger, 2009 ; Lefevre et al., 2022). La diminution des valeurs d'herbométrie en fin de parcelle correspond à des valeurs de sortie de pâture (Charpentier, 2015).

Dans cette étude, au niveau de la reproduction, l'introduction des béliers mène rapidement à des saillies, qui sont détectées par le marquage à la craie. Toutes les brebis viennent en cycle et sont saillies durant leur 1^{er} cycle œstral suivant l'introduction du bélier. Cela signifie qu'aucune brebis ne présente de chaleurs silencieuses (ovulation sans manifestation comportementale de la brebis et donc sans saillie). Les valeurs de performance reproductives des brebis sont des valeurs acceptables en saison de reproduction avec 80% de fertilité, et une prolificité de 1.5 (Gerard et al., 2021 – brochure de l'Institut d'Elevage, France). Les valeurs de prolificité observées dans l'étude ci-présente sont très satisfaisantes (1.9 pour le lot contrôle et 2.1 pour le lot sous panneaux photovoltaïques), sachant que la prolificité moyenne de brebis Texel en œstrus naturel est de 1.48 +/-0.3 (Janssens et al., 2004 ; Dawson et al., 2002).

Le suivi des animaux durant l'étude ne montre pas d'altération du bien-être (score de confort et de comportement grégaire de 0 tout au long de l'étude), ni d'apparition de marqueur de stress chronique (valeurs d'hématologie et de cortisol sanguin correctes en début et en fin d'étude). Les valeurs de cortisol observées en début d'étude correspondent à des valeurs normales chez le mouton lors de manipulation et lors de transport (Fell et al., 1985 ; Andanson et al., 2020). Les valeurs observées en début et en fin d'étude, dans les deux lots de brebis, peuvent être considérées comme basses (càd < 80 ng/ml, valeur de référence

selon Caroprese et al., 2010) et inférieures à des valeurs observées lors de stress chronique chez le mouton (Weaver et al., 2021).

Les performances zootechniques des brebis sont un élément positif en termes de bien-être. En effet, chez le mouton, les effets du stress sont, entre-autre, la modification de comportement sexuel (diminution de la réceptivité de la brebis lors de l'approche du mâle) (Papargiris et al., 2009), ou encore l'altération des sécrétions hormonales, qui entraînent un décalage conséquent entre le comportement sexuel de la brebis et le moment d'ovulation, ce qui peut mener à une diminution de la fertilité (Breen & Karsch, 2006 ; Dobson et al., 2012).

Dans cette étude, aucune pesée n'est réalisée en fin d'étude sur les brebis, sachant que l'évolution de poids peut être influencée par la gestation et le nombre de agneaux. Le score corporel est donc privilégié comme méthode d'évaluation de la prise de masse.

Dans cette étude pilote, nous ne mettons pas en évidence d'effet néfaste de la présence de panneaux photovoltaïques sur la reproduction de brebis Texel, en saison naturelle de saillie.

Il faut cependant garder à l'esprit que cette étude ne s'est étendue que sur une période restreinte de reproduction (mise au bélier et suivi jusqu'à l'échographie de gestation). La taille des parcelles disponibles (avec ou sans panneaux) ne permet pas de réaliser un suivi sur un nombre plus élevé d'animaux ou sur une période plus longue. Il est donc important de garder à l'esprit que des études complémentaires sur des lots de taille plus importante, avec un suivi sur un plus long terme des productions animales mais aussi fourragères (impact des panneaux sur le sol d'années en années) sont nécessaires pour continuer de documenter l'agrivoltaïsme ovin et d'envisager son impact sur le long terme.

Références bibliographiques

- Adjou, K., Autef, P. 2013. Guide pratique de médecine et de chirurgie ovines. Ed. Les éditions du Point Vétérinaire - Collection Sine Qua Non, Paris, France, p.37.
- Andanson, S., Boissy, A., & Veissier, I. (2020). Conditions for assessing cortisol in sheep: the total form in blood v. the free form in saliva. *Animal*, 14(9), 1916-1922.
- Andrew, A. C., Higgins, C. W., Smallman, M. A., Graham, M., & Ates, S. (2021). Herbage yield, lamb growth and foraging behavior in agrivoltaic production system. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 126.
- Baril, G., Chemineau, P., Cognie, Y., Guérin, Y., Leboeuf, B., Orgeur, P., Vallet, J-C. 1993. Manuel de formation pour l'insémination artificielle chez les ovins et les caprins (fao.org) : Chapitre 4 - Collecte et conservation de la semence. Ed. Food and Agriculture Organization (FAO), Roma, Italia.
- Caroprese, M., Albenzio, M., Marzano, A., Schena, L., Annicchiarico, G., & Sevi, A. (2010). Relationship between cortisol response to stress and behavior, immune profile, and production performance of dairy ewes. *Journal of dairy science*, 93(6), 2395-2403.
- Carrausse, R., Arnould de Sartre, X. (2023). Does agrivoltaism reconcile energy and agriculture? Lessons from a French case study. *Energ Sustain Soc* 13, 8.
- Charpentier, A. Effet de la conduite du pâturage sur la production laitière et le comportement alimentaire des chèvres. Sciences du Vivant [q-bio]. 2015. ffdumas-01256864f
- Cugnon, E, Decruyenaere V., Ferber, F. 2023. Qualité des fourrages en région wallonne : 2^{ème} synthèse de la base de données fourrages de REQUASUD. Ed. Requasud, Gembloux, Belgique.
- Dawson, L. E. R., Carson, A. F., & McClinton, L. O. W. (2002). Comparison of the productivity of Texel and Rouge de l'Ouest ewes and their crosses. *Animal Science*, 75(3), 459-468.
- Demarquilly, C., Jarrige, R., Boisseau, J.-M. VALEUR ALIMENTAIRE DE L'HERBE DES PRAIRIES TEMPORAIRES AUX STADES D'EXPLOITATION POUR LE PATURAGE. I. - COMPOSITION CHIMIQUE ET DIGESTIBILITÉ. *Annales de zootechnie*, 1964, 13 (4), pp.301-339.
- Dereux, C. 2019. Production d'énergies renouvelables par les agriculteurs wallons : Etat de la situation et perspectives de développement. Travail de fin de cycle de Master en Bioingénieur, Gembloux Agro-bio Tech, <http://hdl.handle.net/2268.2/8671>
- Dethine, C. 07/01/2022. [Wierde: feu vert de la Ville pour le champ de panneaux photovoltaïques.](https://www.lavenir.net/regions/namur/namur/2022/01/07/wierde-feu-vert-de-la-ville-pour-le-champ-de-panneaux-photovoltaïques-7YVN3SKVVJEWBIOW3OQO6SJHNU/) L'Avenir, <https://www.lavenir.net/regions/namur/namur/2022/01/07/wierde-feu-vert-de-la-ville-pour-le-champ-de-panneaux-photovoltaïques-7YVN3SKVVJEWBIOW3OQO6SJHNU/>
- Dobson H, Fergani C, Routly JE, Smith RF. (2012). Effects of stress on reproduction in ewes. *Anim Reprod Sci.* 130(3-4):135-40.
- Dobson H, Routly JE, Smith RF. (2020). Understanding the trade-off between the environment and fertility in cows and ewes. *Anim Reprod* 21;17(3):e20200017.
- Fell, L. R., Shutt, D. A., & Bentley, C. J. (1985). Development of a salivary cortisol method for detecting changes in plasma "free" cortisol arising from acute stress in sheep. *Australian Veterinary Journal*, 62(12), 403-406.
- Feuerbacher, A., Herrmann, T., Neuenfeldt, S., Laub, M., & Gocht, A. (2022). Estimating the economics and adoption potential of agrivoltaics in Germany using a farm-level bottom-up approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112784.

Fobe, G. 23/03/2023. [Namur : le premier champ agrivoltaïque bientôt en activité](https://www.rtb.be/article/namur-le-premier-champ-agrivoltaïque-bientôt-en-activité), RTBF, <https://www.rtb.be/article/namur-le-premier-champ-agrivoltaïque-bientôt-en-activité-11172097>

Fonsêca, V. D. F. C., de Andrade Culhari, E., Moura, G. A. B., Nascimento, S. T., Milan, H. M., Neto, M. C., & Maia, A. S. C. (2023). Shade of solar panels relieves heat load of sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 265, 105998.

Forton, F., Meniger, G., 2019-2020. Prairies. Fourrage-Mieux. https://www.fourragesmieux.be/Documents_telechargeables/Cours%20A%20et%20B%202019-2020.pdf

Freitas-de-Melo, A., Sánchez-Dávila, F., Ungerfeld, R. (2023). Progressive weaning alters behaviour and biomarkers of stress in weaned lambs subjected to social isolation, *Applied Animal Behaviour Science*, 265, 106001.

Gupta, A., Yadav, U., Bansal, K. N., Bishnoi, M. B., Bala, R., Verma, N., ... & Yadav, P. S. (2023). Hair Cortisol: A Biomarker of Chronic Stress in Animals and its Association with Reproduction. *Animal Reproduction Update*, 3(2), 43-58.

Gerard, A., Rainon, C., Solas, L., Bonin, C., Legroux, L., Miquel, M. *Référentiel technico-économique ovin viande*. Edition : Institut de l'Élevage, Paris, France.

Janssens, S., Vandepitte, W., & Bodin, L. (2004). Genetic parameters for litter size in sheep: natural versus hormone-induced oestrus. *Genetics Selection Evolution*, 36(5), 543-562.

Kaler, J., Wassink, G. J., & Green, L. E. (2009). The inter-and intra-observer reliability of a locomotion scoring scale for sheep. *The Veterinary Journal*, 180(2), 189-194.

Kampherbeek, E.W., Webb, L.E., Reynolds, B.J., Sistla, S.A., Horney, M.R., Ripoll-Bosch, R., Dubowsky, J.P., McFarlane, Z.D. (2023). A preliminary investigation of the effect of solar panels and rotation frequency on the grazing behavior of sheep (*Ovis aries*) grazing dormant pasture, *Applied Animal Behaviour Science*, 258, 105799

Lefevre, A., Glesner, N., Mertens, A., Lorant, N., Curnel, Y., Battheu-Noirfalise, C. 2022. Une première calibration pour adapter l'herbomètre aux conditions wallonnes. *Sillon Belge* 05/05/2022

Mc Donald, P., Edwards, R., Greenhalgh, JFD, Morgan C, Sinclair, L, Wilkinson, R. 2011. *Animal Nutrition* 7th edition, Pearson Education, 712 pages.

Maquivar MG, Smith SM, Busboom JR. (2021) Reproductive Management of Rams and Ram Lambs during the Pre-Breeding Season in US Sheep Farms. *Animals (Basel)* 11(9):2503.

Moore, S., Graff, H., Ouellet, C., Leslie, S., Olweean, D. (2022). Can we have clean energy and grow our crops too? Solar siting on agricultural land in the United States, *Energy Research & Social Science*, 91, 102731.

Moradi M, Hajarian H, Karamishabankareh H, Soltani L, Soleymani B. 2022. Pre-treatment of ram semen extender with magnetic nanoparticles on freeze-thawed spermatozoa. *Vet Med Sci*. 8(2):792-798

PNEC : [le Plan National Energie Climat](https://www.plannationalenergieclimat.be/admin/storage/nekp/be-pnec-projet-actualisation.pdf), <https://www.plannationalenergieclimat.be/admin/storage/nekp/be-pnec-projet-actualisation.pdf>

Poudel, S., Fike, J. H., & Pent, G. J. (2022). Hair cortisol as a measure of chronic stress in ewes grazing either hardwood silvopastures or open pastures. *Agronomy*, 12(7), 1566.

SPF Economie : [Part des sources d'énergie renouvelables \(SER\) dans la consommation finale d'énergie](https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/suivi-des-objectifs-europeens/part-des-sources-denergie), <https://economie.fgov.be/fr/themes/energie/suivi-des-objectifs-europeens/part-des-sources-denergie>

Umberger, S. 2009. *Sheep Grazing Management*. College of Agriculture and Life Sciences.

Vollprecht, J., Trommsdorff, M., & Hermann, C. (2021, June). Legal framework of agrivoltaics in Germany. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2361, No. 1). AIP Publishing.

Weaver, S. J., Hynd, P. I., Ralph, C. R., Edwards, J. H., Burnard, C. L., Narayan, E., & Tilbrook, A. J. (2021). Chronic elevation of plasma cortisol causes differential expression of predominating glucocorticoid in plasma, saliva, fecal, and wool matrices in sheep. *Domestic Animal Endocrinology*, 74, 106503.

Zaplata, M. K. (2023). Solar parks as livestock enclosures can become key to linking energy, biodiversity and society. *People and Nature*.