

PROJET DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE

Projet de construction d'ombrières agrivoltaïques pour grandes cultures et d'un bâtiment de stockage



EARL BELLOY
Lieu-dit « Fossillon »
37110 Autrèche

SOMMAIRE

1	Définition d'une installation agrivoltaïque	5
2	Présentation de l'exploitation	7
3	Appréciation du caractère agrivoltaïque des ombrières fixes sur grandes cultures (L.111-27 du code de l'urbanisme)	9
3.1	Parcelle agricole à considérer au titre de l'art. R. 314-108 du code l'énergie	9
3.2	Justification Technique de Conformité aux Services et Non-Atteinte Substantielle Selon le Code de l'Energie	10
3.2.1	Amélioration du potentiel et de l'impact agronomiques et adaptation au changement climatique	10
3.2.2	Protection contre les aléas	14
3.2.3	Conclusion générale	16
3.3	La production agricole doit rester l'activité principale (art. R314-118 du code de l'énergie)	17
3.3.1	Taux de couverture des ombrières agrivoltaïques fixes	17
3.3.2	Perte de surface agricole	17
3.3.3	Adaptabilité et intégration mécanique	18
3.3.4	Démantèlement et réversibilité des ombrières fixes	18
3.4	Justification Technique de la Production Agricole Significative et Durable selon les Articles R. 314-114 à R. 314-117 du Code de l'Energie	22
3.4.1	Analyse bibliographique et résultats de modélisation	22
3.4.2	Instabilité de la rentabilité des cultures sur les parcelles du projet	24
3.4.3	Rendements attendus	24
3.4.4	Revenu durable issu de la production agricole (art. R. 314-117 du code de l'énergie)	24
3.5	Obligation de disposer d'une zone témoin (art. R. 314-114, II. du code de l'énergie).	26
3.6	Justificatif prouvant que l'exploitant agricole est actif	27
4	Le suivi agronomique	28
5	Conclusion	30
6	Contacts	31

Cette note explicative du projet agricole, sur lequel l'EARL BELLOY, dirigée par Elodie et Aurélien COUVERCELLE (exploitants agricoles à titre principal résidant à Autrèche) travaille aux côtés de Technique Solaire depuis avril 2025, a pour objectif de démontrer le lien de nécessité entre le développement de sa production céréalière, les structures d'ombrières agrivoltaïques et le bâtiment de stockage pour s'adapter aux besoins de l'exploitation.

La propriétaire des parcelles du projet agrivoltaïque est l'EARL BELLOY qui est également l'exploitant agricole actuel des parcelles. Cela restera le cas après la mise en place des ombrières agrivoltaïques. Pour faciliter la lecture du document et plus particulièrement analyser la compatibilité du projet avec les critères de la loi APER, on utilisera « l'EARL BELLOY » pour décrire la propriétaire des parcelles et l'exploitant agricole.

Les ombrières agrivoltaïques ont été dimensionnées sur-mesure, en fonction de l'itinéraire technique, des engins agricoles de l'agricultrice.

Ce projet bénéficiera d'une Convention de Suivi Agronomique entre un organisme externe (par exemple la Chambre d'agriculture d'Indre-et-Loire ou un bureau d'études agricoles spécialisé), l'EARL BELLOY et Technique Solaire. Lors de ce suivi, les **performances agronomiques sont mesurées et comparées à une zone témoin se trouvant au Sud de la parcelle.**

Il est à noter que Technique Solaire **s'est dotée d'une équipe d'agronomes** : ingénieur agronome, docteur en agronomie, étudiants en école agronomique (AgroParisTech, etc.), permettant le **développement des projets à travers le prisme agricole et le bon suivi agronomique des projets agrivoltaïques.**

Commune d'implantation	Autrèche (37110)
Type de centrale	Ombrières agrivoltaïques fixes pour grandes cultures + bâtiment de stockage
Technologie utilisée	Ombrières agrivoltaïques: 11 164 modules de 710kWc Bâtiment photovoltaïque de stockage : 684 modules de 520kWc Structure réversible qui sera recyclée en fin de vie (durée de vie supérieure à 40 ans)
Puissance crête installée	Environ 8 282 kWc
Ressource solaire	Environ 1227 kWh/kWc/an
Production estimée	Environ 10 176 247 kWh soit la consommation annuelle d'environ 3 700 foyers (hors chauffage et eau chaude sanitaire)
Surface de la parcelle agricole au titre de l'article R.314-108 du code de l'énergie	96 528 m² soit 5% de la SAU totale de l'exploitation Une zone témoin d'environ 6 000 m² , indiquée dans les dessins techniques, est prévue pour comparer les rendements agricoles
Surface projetée au sol totale des modules photovoltaïques	30 776 m²
Taux de couverture des structures	31%

Pour rappel, la France est un acteur majeur de la production agricole en Europe, positionnée au 1er rang européen (soit 95 milliards d'euros par an en 2023) ; 46 % du territoire français est alloué à l'usage agricole. Or depuis des décennies, le secteur agricole traverse une profonde mutation socioéconomique, avec :

- une concentration des exploitations (hausse de formes sociétaires et grandes exploitations agricoles) ;
- une baisse des aides aux productions agricoles passant à un budget total de 7,69 Md€ en 2005 à 6,67 Md€ en 2019 ;
- une baisse de l'emploi salarié et non salarié, accompagnée d'une baisse de la part des personnes de moins de 40 ans travaillant dans le secteur agricole.

De plus, face au dérèglement climatique, la vulnérabilité des exploitations agricoles s'accroît avec une dégradation potentielle des débouchés agricoles (baisse des rendements, perte de qualité des produits) et une augmentation des coûts d'exploitation pour la mise en place de moyens de luttés contre les aléas météorologiques et biologiques délétères comme par exemple la sécheresse, le gel « tardif », les bioagresseurs ou encore les maladies.

Dans un contexte de transition énergétique et écologique, l'agriculture est appelée à lutter contre le réchauffement climatique ou encore la surexploitation de l'eau. En effet, la Stratégie Nationale Bas Carbone préconise, d'ici 2050, une réduction de 50% des émissions de gaz à effet de serre issues de l'agriculture, soit environ 40 Mt de CO₂ (10% de la part totale nationale) . Cette transition agricole reste un défi important pour les propriétaires et les exploitants dont les principales problématiques concernent leur capacité d'investissement, le risque de perte de chiffre d'affaires ou encore le besoin de nouvelles solutions techniques.

Dans ce contexte, la recherche de solutions techniques et financières a mené à une réflexion vers une synergie entre l'agriculture et le développement de projets photovoltaïques : pan primordial de la transition écologique. Les développeurs photovoltaïques, en partenariat avec leurs partenaires agricoles, se sont intéressés au développement de projets dits « agrivoltaïques », pour venir répondre aux enjeux de la transition agricole et énergétique.

1 Définition d'une installation agrivoltaïque¹

Est considérée comme agrivoltaïque une installation qui apporte directement à la parcelle agricole au moins l'un des services suivants, en garantissant à un agriculteur actif une production agricole significative et un revenu durable en étant issu :

- **L'amélioration du potentiel et de l'impact agronomiques** qui « consiste, d'une part, en une amélioration des qualités agronomiques du sol et, d'autre part, en une augmentation du rendement de la production agricole ou, à défaut, au maintien de ce rendement ou au moins à la réduction de la baisse tendancielle du rendement qui est observée au niveau local. Peut également être considérée comme améliorant le potentiel agronomique des sols toute installation qui permet une remise en activité agricole ou pastorale d'un terrain agricole inexploité depuis plus de cinq années. »
- **L'adaptation au changement climatique** qui « consiste en une limitation des effets néfastes du changement climatique se traduisant par une augmentation du rendement de la production agricole ou, à défaut, à la réduction, voire au maintien, du taux de la réduction tendancielle du rendement qui est observée au niveau local, ou par une amélioration de la qualité de la production agricole.
La limitation des effets néfastes du changement climatique s'apprécie notamment par l'observation de l'un des effets adaptatifs suivants:
1/ En termes d'impact thermique, par la fonction de régulation thermique de la structure en cas de canicule ou de gel précoce ou tardif;
2/ En termes d'impact hydrique, par la limitation du stress hydrique des cultures ou des prairies, l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau par irrigation ou la diminution de l'évapotranspiration des plantes ou de l'évaporation des sols, et par un confort hydrique amélioré;
3/ En termes d'impact radiatif, par la limitation des excès de rayonnement direct conduisant notamment à une protection contre les brûlures foliaires.
- **La protection contre les aléas** qui « s'apprécie au regard de la protection apportée par les modules agrivoltaïques contre au moins une forme d'aléa météorologique, ponctuel et exogène à la conduite de l'exploitation et qui fait peser un risque sur la quantité ou la qualité de la production agricole, à l'exclusion des aléas strictement économiques et financiers. »
- **L'amélioration du bien-être animal** qui « s'apprécie au regard de l'amélioration du confort thermique des animaux, démontrable par l'observation d'une diminution des températures dans les espaces accessibles aux animaux à l'abri des modules photovoltaïques et par l'apport de services ou de structures améliorant les conditions de vie des animaux. »

Une installation **ne pourra pas être considérée comme agrivoltaïque** si elle :

- « **Porte atteinte substantielle à l'un des services** » mentionnés ci-dessus « **ou une atteinte limitée à deux de ces services** »
- **Ne comporte pas une zone témoin d'une superficie** d'au moins 5% de la surface agrivoltaïque installée, dans une limite d'un hectare ;
- **Ne permet pas une production agricole significative** soit si la moyenne du rendement par hectare observé sur la parcelle est supérieure à 90% de la moyenne du rendement par hectare observé sur une zone témoin ;

¹ Selon l'Article L314-36 du Code de l'Energie et précisée par le décret n° 2024-318 du 8 avril 2024 relatif au développement de l'agrivoltaïsme et aux conditions d'implantation des installations photovoltaïques sur des terrains agricoles, naturels ou forestiers.

- **Ne permet pas à la production agricole d'être l'activité principale de la parcelle agricole** soit si plus de 10% de la superficie de la parcelle agricole n'est plus exploitable du fait de l'installation agrivoltaïque ; si la hauteur de l'installation agrivoltaïque ainsi que l'espacement inter-rangées ne permettent une exploitation normale (sécurité physique, abri des animaux, passage des engins agricoles) ;
- **Ne permet pas des opérations de démantèlement et de remise en état d'un site** après exploitation comprenant (1) le démantèlement des installations de production, y compris l'excavation de toutes les fondations et installations enterrées ; (2) la remise en état des terrains, en garantissant notamment le maintien de leur vocation initiale ; (3) la réutilisation, le recyclage, la valorisation ou à défaut l'élimination des déchets de démolition ou de démantèlement dans les filières dûment autorisées à cet effet.

2 Présentation de l'exploitation

Elodie et Aurélien COUVERCELLE sont issus de familles d'agriculteurs sur plusieurs générations. Elodie fait partie de la 6^e génération de céréaliers. Ses grands-parents exploitaient sur la commune d'Auzouer-en-Touraine, commune limitrophe d'Autrèche. Ils pratiquaient la polyculture en combinant l'élevage de vaches laitières et la production de céréales majoritairement autoconsommée par l'élevage.

En 1980, les parents d'Elodie s'installent à Autrèche et commencent avec 80ha de SAU. Ils se concentrent sur la production céréalière dont les récoltes sont vendues directement aux coopératives « Coopérative Agricole Tourangelle » (CAT) et Franciade (devenue Axéreal). Entre 1986 et 1992 de nombreux exploitants agricoles partent à la retraite. Faute de reprise d'exploitations ils sont contraints de vendre leurs parcelles qui sont rachetées en partie par les parents d'Elodie. La SAU de l'exploitation passe donc de 80 à 250ha en 6ans et le nombre d'exploitants sur la commune passe de 13 à 3.

Elodie quant à elle, s'installe en 2000 avec 56ha sur la commune. En 2020 la SAU passe à 134ha. En 2022, ses parents partent à la retraite. Elle reprend 46ha de ses parents, principalement des terres à bas potentiel. Aurélien, lui aussi issu d'une famille d'exploitants agricoles, la rejoint dans l'exploitation. Ensemble, ils augmentent la SAU à 196ha qui entièrement dédiée à la production de céréales et d'oléagineux.

En 2024, Aurélien est victime d'un accident qui lui fait repenser ses techniques de travail et à l'avenir de l'exploitation. Elodie et Aurélien se mettent à la recherche de solutions innovantes qui leur permettront d'améliorer le potentiel agronomique des sols afin de sécuriser les rendements. A l'heure actuelle (en 2026) les récoltes des cultures céréalières sont vendues à la coopérative Axéreal, située sur la commune de Fleuray à 3,15km et stockée sur la commune de Morand à 5km. Cette coopération bénéficie donc de tous les avantages du circuit court.

L'exploitation de l'EARL BELLOY subit les aléas climatiques, en particulier la grêle, les précipitations et la sécheresse, à laquelle le sol est vulnérable. Ces aléas altèrent directement ses rendements agricoles et donc son chiffre d'affaires, qui repose en majeure partie sur la récolte. En observant les résultats agricoles entre 2021 et 2024 fournis par les exploitants, on constate que les rendements spécifiques à chaque culture (qx/ha) ne sont pas constants. En effet, les rendements du blé, du colza et de l'orge, trois cultures sélectionnées pour le projet agrivoltaïque, illustrent cette tendance.

Tableau 1: Historique des rendements de l'EARL BELLOY entre 2021 et 2024 (Source bilan comptable EARL BELLOY)

	Rendements 2021	Rendements 2022	Rendements 2023	Rendements 2024	Moyenne
Blé tendre	58,16	0	51,06	52,08	53,8 ± 3,84
Colza	35,21	21,47	50,36	28,75	33,9 ± 12,30
Orge	73,04	49,27	85,12	46,56	63,5 ± 18,69
Tournesol	25,94	10,88	24,82	8,41	17,5 ± 9,15

A l'exception du blé tendre, pour lequel la variance représente 7% de la moyenne, la variance est nettement supérieure à 25% de la moyenne. Cela se traduit par une dispersion importante et donc une instabilité des rendements agricoles durant les 4 dernières années. Cette dispersion se reflète directement sur le chiffre d'affaires de l'entreprise qui n'a pas pu bénéficier d'un revenu stable et ne lui donnant pas suffisamment de visibilité pour investir et assurer sa pérennité. L'année 2022 et 2024 ont été particulièrement difficiles en raison des aléas climatiques. Les parcelles exploitées ont été touchées par la grêle et par les fortes pluies (2024) et par la sécheresse (2022), causant des dégâts irréversibles

sur les cultures. Les répercussions sur le chiffre d'affaires de ces deux années ont été sévères et l'on note une réduction de 68% en 2022 par rapport à 2021 et de 31% en 2024 par rapport à 2021 (Source : comptes annuels de l'exploitation). C'est pour cette raison que l'EARL Belloy souhaiterait installer des ombrières agrivoltaïques sur une partie de ses parcelles qui lui offriront une protection physique adaptée à son machinisme contre la grêle et la sécheresse.

Les ombrières ont donc pour objectif de protéger les parcelles, de stabiliser les rendements agricoles et donc de pérenniser l'exploitation agricole.

De plus, l'exploitation possède un hangar de 260m² ne respectant plus les besoins agricoles des exploitants. Effectivement, ce hangar n'est pas dimensionné pour accueillir l'intégralité du machinisme de l'EARL, qui se voit obligée de laisser du matériel coûteux à l'extérieur. Ce matériel subit donc les effets du climat qui accélèrent son vieillissement, engendrant des pannes et des coûts de maintenance accrus. A cela s'ajoute des charges dues à une logistique non optimisée. En effet, à chaque phase de cultures (labour, semis, traitement, récoltes, etc...) le matériel correspondant doit être sorti du hangar pour laisser sa place au matériel qui n'est pas nécessaire. La gestion du temps et le confort de travail pour les exploitants ne sont donc pas optimaux. Afin de palier à ce problème, un hangar de stockage sera construit à proximité des ombrières agrivoltaïques. Ce bâtiment a été dimensionné afin de pouvoir stocker la totalité du machinisme de l'EARL ainsi que des produits agricoles, comme les engrais, les semences ou encore les céréales.

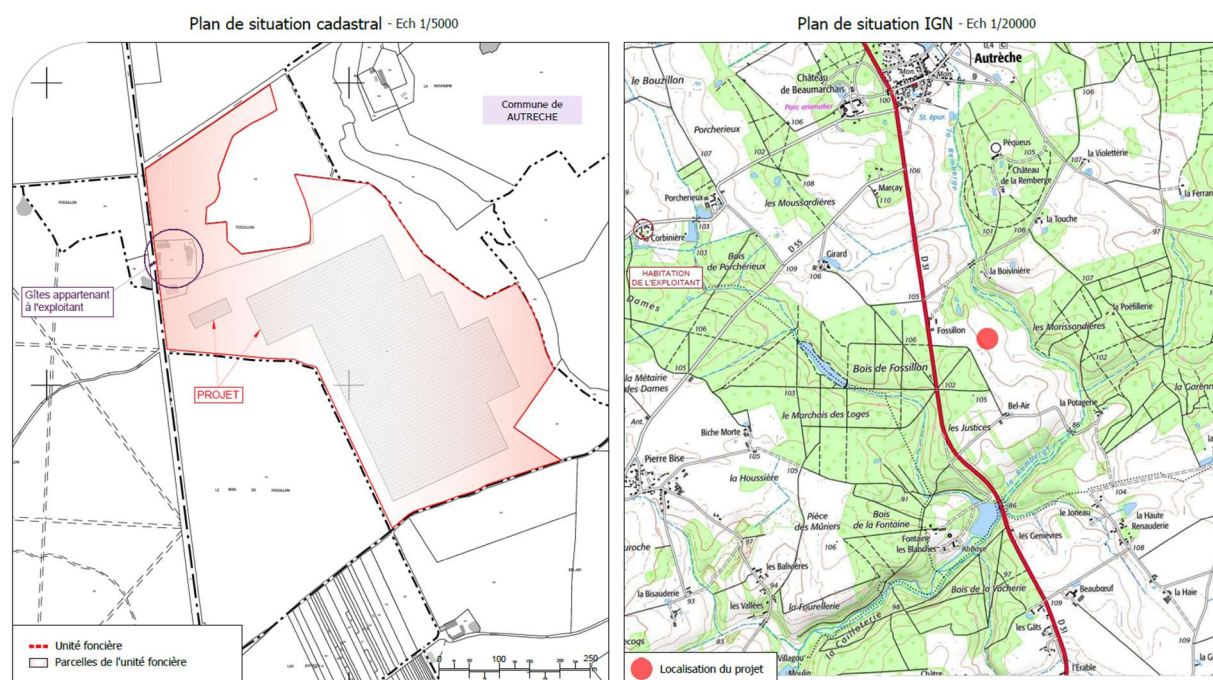


Figure 1 : Plan de situation cadastral et IGN de l'exploitation.

En résumé :

- Propriétaire des parcelles: **EARL Belloy (gérance par Elodie et Aurélien COUVERCELLE)**
- Exploitant des parcelles : **EARL Belloy**
- Surface de l'exploitation : **196 ha**
- Exploitation entièrement mécanisée : **Machinisme appartenant à l'EARL Belloy → 1 pulvérisateur, 1 moissonneuse, 1 semoir, 2 tracteurs, 1 semoir à engrais, 1 télescopique, 1 chisel, 1 déchaumeur à disque, 1 remorque, 1 quad, 2 microtracteurs, 1 broyeur**
- Vente effectuée en direct avec la coopérative Axérial

(relevés effectués par le bureau d'études EVINERUDE), en dehors de tout périmètre présentant une sensibilité paysagère significative ou du patrimoine bâti.

L'assolement de la parcelle agricole de ces dernières années est comme suit : Blé d'hiver, colza, blé d'hiver, colza, blé d'hiver. L'orge d'hiver s'ajoutera à ces deux cultures pour le projet agrivoltaïque. Une analyse pédologique du terrain sera fournie par la Chambre d'Agriculture d'Indre-et-Loire afin d'analyser en profondeur les caractéristiques du sol.

3.2 Justification Technique de Conformité aux Services et Non-Atteinte Substantielle Selon le Code de l'Energie

Les critères de conformité aux exigences de la loi pour un projet agrivoltaïque ont été partiellement étudiées spécifiquement pour le présent projet et les résultats actuels sont présentés dans les sections suivantes.

3.2.1 Amélioration du potentiel et de l'impact agronomiques et adaptation au changement climatique

L'impact du réchauffement climatique sur les cultures de blé et de colza

L'accroissement des rendements du blé tendre a marqué un plafonnement à partir de la fin des années 90. Ce phénomène n'est pas spécifique à la région Centre-Val de Loire : il s'observe dans l'ensemble de la France ainsi que dans le reste de l'Europe². **La majorité de la perte de rendement peut être reprochée aux changements du climat³** avec : l'augmentation de la fréquence et de l'intensité de l'échaudage thermique et l'augmentation de la période de sécheresse pendant l'élongation de la tige et le remplissage des grains⁴.

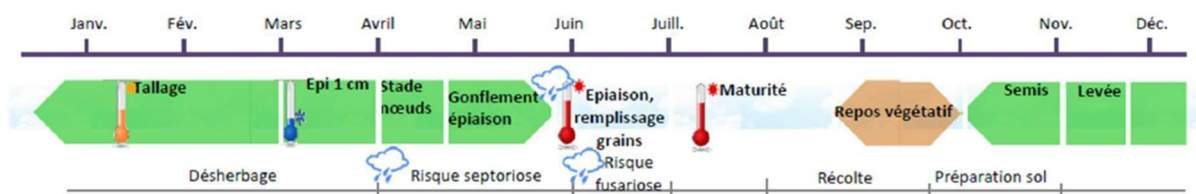


Figure 3 : Stade phénologique du blé et leur sensibilité aux épisodes météorologiques délétères comme les épisodes gélifs (bleu) et aux jours échaudants (rouge) mais aussi aux maladies foliaires (septoriose et fusariose).

La culture du blé présente une faiblesse majeure : sa sensibilité à l'échaudage thermique en fin de cycle: lors de l'épiaison jusqu'à la maturité. Dès 25°C, une diminution du nombre de grains peut être observée, ce qui aura un impact sur le rendement final du blé. Dans les cas les plus extrêmes ces pertes peuvent aller jusqu'à 43%⁵. D'après l'outil CLIMADIAG®³, **le nombre de jours où les cultures de blé seront soumises à l'échaudage thermique passeront à 52,5 jours sur la commune d'Autrèche d'ici l'horizon 2050.**

² RAY D. K., RAMANKUTTY N., MUELLER N. D., WEST P. C., & FOLEY J. A. ; 2012. Recent patterns of crops yield growth and stagnation. Nature communications (3), 7p.

³ BRISSON N., GATE L., GOUACHE D., CHARMET G., OURY F.X., HUARD F. ; 2010. Why are wheat yields stagnating in Europe ? A comprehensive data analysis for France. Field crops research (119), 201-212.

⁴ GATE P., VIGNIER L., DEUDON O., & GOUACHE D. ; 2009b. Changement climatique : impact sur le blé en France et pistes d'adaptation. Conséquences et enseignements pour les grandes cultures et l'élevage herbivore, 85-99. Paris.

⁵ Zhao, Y., Wang, M., Xu, B., & Liu, T. (2020). Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. Agricultural Water Management, 241, 106360. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/8/2127>

Le colza subit également les effets de hausse de température et est particulièrement sensible au stress thermique⁶. Particulièrement en fin de printemps, entre avril et juin pendant la floraison et la formation des siliques, **les hautes températures peuvent provoquer des pertes de rendements significatives**. En effet on remarque des chutes de fleurs, une mauvaise fécondation et une réduction du nombre de graines par silique à partir de températures supérieures à 30°C causant une diminution nette de rendement. D'après l'outil CLIMADIAG^{®3}, **le bilan hydrique des cultures de colza passera de -85mm à -134mm d'ici l'horizon 2050**. Là aussi des pertes de rendement sévères seront à prévoir pour l'exploitation.

Pour l'orge d'hiver, on note également **des effets négatifs du stress thermique et du stress hydrique**. Le stress hydrique appliqué à des stades critiques comme l'épiaison peut réduire le nombre de talles fertiles et le poids de la biomasse. **Sous sécheresse, des chutes de rendement pouvant aller jusqu'à 48%** sont à considérer par rapport à des conditions normales⁷. Des températures estivales supérieures à 33-35°C pendant la floraison engendrent des pertes de rendement car celles-ci affectent négativement la fécondité des fleurs⁸. D'après l'outil CLIMADIAG^{®3}, **le bilan hydrique des cultures d'orge passera également de -85mm à -134mm d'ici l'horizon 2050**. Le nombre de jours très chauds (T>35°C) passera quant à lui de maximum 22 jours en 2010 à maximum 40 jours à l'horizon 2050. Des pertes de rendement sévères seront à prévoir pour l'exploitation.

Dans le département d'Indre-et-Loire, les effets du changement climatique sont déjà bien visibles sur les exploitations agricoles, notamment en grandes cultures :

- **L'année 2020** fût l'année la plus chaude en France depuis le début du 20^e siècle⁹. Celle-ci fut accompagnée de sévères conséquences dans le monde agricole avec des rendements particulièrement bas. En Indre-et-Loire, les fortes chaleurs combinées par un déficit hydrique marqué en juillet ont entraîné **des chutes de rendements allant jusqu'à 30%** pour le blé tendre d'hiver par rapport à 2019¹⁰.
- Lors de la **sécheresse de 2022, l'état de calamité agricole a été déclaré pour 198 communes d'Indre-et-Loire** en raison de pertes de récoltes et de déficit d'eau¹¹.
- En **2024**, les fortes précipitations et le manque d'ensoleillement ont entraîné un excès d'eau défavorable aux cultures agricoles. Dans le département, **les rendements en grandes cultures tombent à des niveaux similaires à ceux de l'année 2020**¹², ce qui démontre la forte sensibilité de ces cultures vis-à-vis des conditions climatiques.

Ce durcissement des conditions de cultures, donnant lieu à une forte variabilité inter-annuelle des rendements, a été remarquée à l'échelle de l'exploitation de l'EARL BELLOY. Celle-ci a accentué la vulnérabilité économique de l'exploitation comme le témoigne les bilans comptables des 5 dernières années.

⁶ Morrison, M.J., McVetty, P.B.E., Shaykewich, C.F. Canola response to temperature stresses. Canadian Journal of Plant Science, 1990, 70(1): 227– 233. <https://cdnsiencepub.com/doi/10.4141/P05-130>

⁷ Berki et al. Effect of drought stress during critical developmental stages on morphological and grain yield-related traits in winter barley (Hordeum vulgare L.), PLoS One, 2025, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40737299/>

⁸ Rollins et al. Leaf proteome alterations in the context of physiological and morphological responses to drought and heat stress in barley (Hordeum vulgare L.), Journal of Experimental Botany, 2013, <https://doi.org/10.1093/jxb/ert158>

⁹ https://meteofrance.fr/sites/meteofrance.fr/files/files/editorial/Bilan_annuel_2020_d%C3%A9finitif_140121.pdf

¹⁰ https://draaf.centre-val-de-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/2021_memento_cle047dd3.pdf

¹¹ <https://www.indre-et-loire.gouv.fr/index.php/contenu/telechargement/43557/304441/file/2023-11-21%20-%20CP%20-%20Ouverture%20des%20demandes%20d'aides%20individuelles.pdf>

¹² https://draaf.centre-val-de-loire.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/2025_memento.pdf

Sécurisation du potentiel agronomique de la parcelle

Dans le but de s'assurer de la viabilité de la production agricole sur la parcelle, Technique Solaire travaille en collaboration avec la Chambre d'Agriculture d'Indre-et-Loire afin de rédiger un mémoire de synergie agricole. L'étude montre que l'apport des ombrières sera plus marqué sur le long terme, avec des augmentations de rendements attendues dues à l'atténuation du stress hydrique et thermique, tous deux liés à des épisodes de températures extrêmes plus fréquentes à l'horizon 2050. Qualitativement, l'apport d'ombre des panneaux solaires permettra une amélioration de la qualité des grains avec une augmentation de leur teneur en protéine. Cette concentration plus élevée en protéines s'explique par un stress thermique atténué sous panneaux favorisant le transfert de l'azote vers les grains en fin de cycle, améliorant leur qualité protéique. L'évaporation du sol sera aussi diminuée, démontrant la capacité de l'agrivoltaïsme à préserver la ressource en eau. Ce point est crucial au regard des projections climatiques, qui estiment une perte de rendement de 2 à 4 qx/ha par jour de stress hydrique sévère en fin de cycle pour les cultures de blé. Le scénario PV démontre ainsi sa capacité à lisser les effets des canicules et des sécheresses printanières, qui deviendront plus fréquentes à l'horizon 2050 (Figure 4).

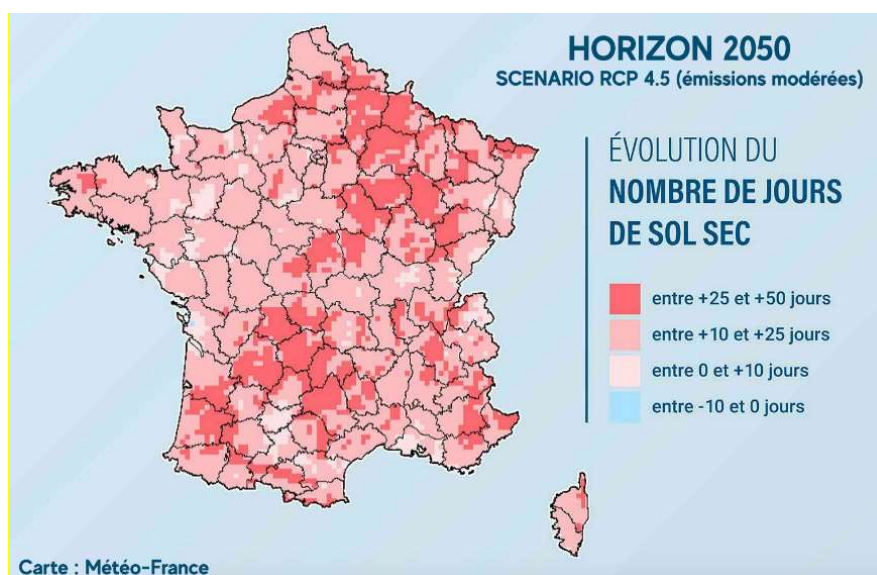


Figure 4 : Evolution du nombre de jours de sol sec en France à l'horizon 2050

Dans les systèmes agricoles exposés à un accroissement des risques climatiques, l'agrivoltaïsme permet non seulement de réduire l'impact des sécheresses sur les cultures, mais aussi d'améliorer la valeur marchande des produits par une meilleure qualité (teneur en protéine). Le compromis entre légère baisse de rendement et forte sécurisation hydrique et protéique constitue un levier majeur d'adaptation pour les filières céréalières, tout en valorisant l'espace agricole en double usage : production alimentaire et énergétique.

Minimalisation du décaissement pour éviter les pertes de surfaces agricoles

Des études de sol et investigations géotechniques seront réalisées sur le terrain de l'EARL BELLOY par un bureau d'études spécialisé, afin d'évaluer les conditions de sol et les solutions de fondation envisageables pour les ouvrages.

Actuellement, la pré-analyse du bureau d'études interne à Technique Solaire confirme que la solution par pieux battus constitue une méthode d'ancrage adaptée pour les fondations de la structure.

Ainsi, aucun terrassement ni décaissement n'est à prévoir sur la parcelle agricole, mise à part sur une surface de 1658m² correspondant à l'emplacement du bâtiment. De plus un léger décaissement pourrait néanmoins être réalisé pour l'aménagement des chemins empierrés autour du projet. Les dimensions de ces chemins ont été néanmoins réduits au maximum afin d'éviter les pertes de surfaces agricoles mais aussi de satisfaire les besoins en matière de défense contre les incendies.

Protocole de préservation des sols

Dans le cadre du projet agrivoltaïque, un protocole d'intervention agricole est mis en place pour garantir la bonne gestion agronomique de la parcelle tout au long du chantier, ainsi qu'en amont et en aval de celui-ci. Tout d'abord, un diagnostic agronomique sera réalisé par l'équipe agronomique de Technique Solaire. Cette étude portera sur l'analyse du sol et l'évaluation de l'état de compaction de la parcelle, afin d'établir un état initial de la fertilité du sol.

Une réunion de préservation sera ensuite organisée en présence des exploitants agricoles. Cette rencontre permettra de définir précisément les pratiques agricoles à adopter pour préserver la qualité du sol et du couvert végétal pendant les phases de travaux. Les pratiques convenues seront ensuite mises en œuvre sur la parcelle par l'exploitante agricole.

Avant le début des travaux, Technique Solaire réalisera un contrôle de l'état initial de la parcelle, avec une attention particulière portée à la qualité du sol et du couvert végétal. L'EARL BELLOY devra également entretenir la parcelle en maintenant le couvert végétal à une hauteur n'excédant pas 10 centimètres.

Pendant les travaux, un contrôle du respect des bonnes pratiques agricoles sera effectué par Technique Solaire afin de s'assurer que les engagements définis lors des réunions précédentes sont bien appliqués sur le chantier.

Une fois les travaux terminés, une réunion de régénération sera tenue en présence des exploitants agricoles. Cette réunion permettra de définir les actions à mener pour restaurer la qualité du sol et du couvert végétal. L'objectif de cette phase de régénération est d'appliquer un protocole précis : l'exploitante agricole sera chargée de retravailler le sol si nécessaire, de réensemencer le couvert végétal, avec un apport en semences fourni par Technique Solaire. Cette période de régénération sera suivie pendant un minimum de six mois, au cours desquels des contrôles réguliers permettront d'assurer une bonne reprise du couvert.

Un contrôle du tassement du sol sera également réalisé par l'équipe agronomique de Technique Solaire à deux moments clés : une première fois avant les travaux, afin d'établir une référence de l'état du sol, puis une seconde fois après la régénération, pour évaluer les effets éventuels du chantier.

Enfin, une fois ces étapes achevées, l'EARL BELLOY procédera à la plantation de la culture prévue sur la parcelle.

Conclusion: L'installation des ombrières agrivoltaïques contribuera à préserver les cultures des épisodes d'échaudage et de sécheresse causés par le changement climatique. Aucune baisse ni augmentation de rendements sont à prévoir à court terme. Sur le long terme, l'analyse des scénarios climatiques à l'horizon 2050 démontrent que l'on peut s'attendre à des augmentations de rendement en comparaison à un scénario sans ombrières agrivoltaïques. De plus, durant la phase chantier, la couche de terre présentant un intérêt agronomique ne sera ni décaissée ni terrassée ; elle sera conservée en l'état. Bien que des engins de chantier soient amenés à circuler sur la parcelle replantée, le protocole de replantation mis en place par Technique Solaire, avec l'appui de l'EARL BELLOY, garantira des conditions optimales pour la reprise et le développement des cultures sous panneaux photovoltaïques.

Ainsi, ce projet répond au critère d'adaption au changement climatique et au critère d'amélioration du potentiel et de l'impact agronomiques.

3.2.2 Protection contre les aléas

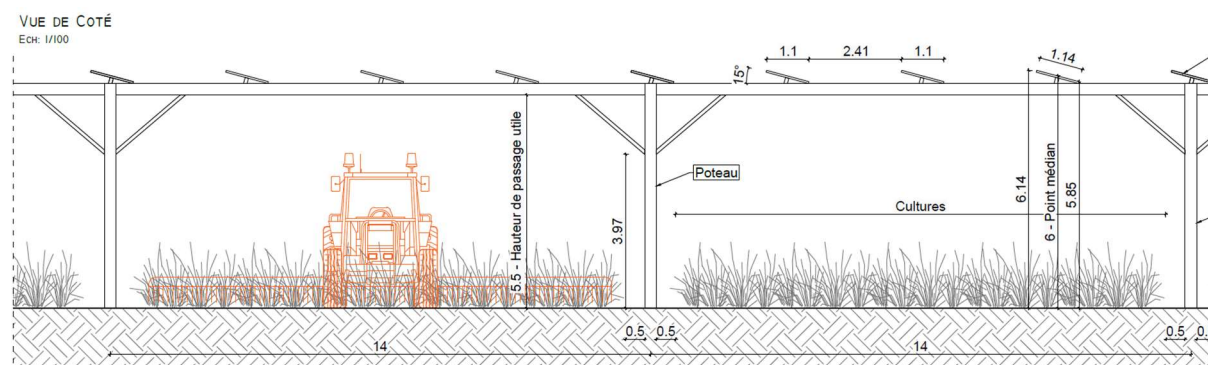


Figure 5 : Vue de coupe de côté de la structure agrivoltaïque où les dimensions sont exprimées en mètres

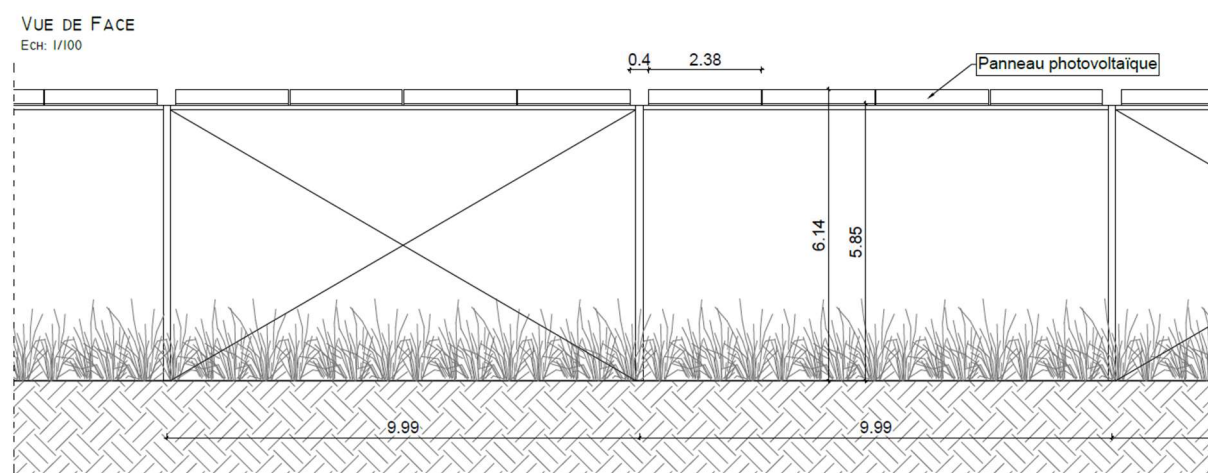


Figure 6 : Vue de coupe de face de la structure agrivoltaïque où les dimensions sont exprimées en mètres

Cette structure va permettre de :

- **Diminuer la température sur les organes**, les panneaux minimisent le stress thermique ainsi que l'impact radiatif direct sur les cultures, prévenant ainsi les brûlures des feuilles et des grains. Les ombrières agrivoltaïques permettront de réduire les températures sous panneaux de 1 à 4°C¹³ ;
- **Diminuer le phénomène d'évapotranspiration** en permettant de conserver l'eau dans le sol. Des études menées à différentes latitudes (Espagne, France, Allemagne) et sur différentes cultures (p. ex. blé, pommiers, vignes) révèlent une baisse de l'ordre de 20-30% et pouvant aller jusqu'à 47%¹³ de l'évapotranspiration et donc de la consommation d'eau pour l'irrigation. Ceci représente un atout majeur pour assurer une gestion durable de l'eau en cas de sécheresse, dans un contexte où la ressource en eau n'est pas garantie;
- **Créer un écran thermique**, conservant plus longtemps la chaleur accumulée la journée, ralentissant la chute de température durant la nuit et permettant alors de lutter contre les effets du gel,

¹³ Omer, A., Li, M., Zhang, F. Hassaan, M., El Kolaly, W., Zhang, X., Lan, H., Liu, J., Liu, W. (2025) Impacts of agrivoltaic systems on microclimate, water use efficiency, and crop yield : A systematic review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 221 <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115930>

notamment lors des périodes de floraison. Des études ont montré un gain pouvant aller jusqu'à 1,5°C lors des épisodes de gel¹⁴ ;

- **Dévier la grêle afin qu'elle ne tombe pas directement sur les cultures.** Cette configuration permet de diminuer la cassure des différents organes mais aussi de réduire les risques de maladies cryptogamiques (p. ex. mildiou).

Conclusion: les ombrières agrivoltaïques apportent un service notable pour les cultures avec une protection des plants contre les jours échaudants et une limitation de l'évapotranspiration, tout en permettant un passage sans entrave des machines agricoles. Cette intégration technologique favorise non seulement la résilience des ateliers céréaliers **face aux aléas climatiques** mais aussi l'amélioration continue de la qualité et du rendement de la production.

Ainsi ce projet répond au critère de protection contre les aléas.

¹⁴ Lopez, G., Juillion, P., Hitte, V., Elamri, Y., Chopard, J., Persello, S., Fumey, D., (2024) Protecting Flowers of Fruit Trees From Frost With Dynamic Agrivoltaic Systems : AgriVoltaics Word Conference 2023 Environmental Modeling <https://doi.org/10.52825/agripv.v2i.1002>

3.2.3 Conclusion générale

	Apport du projet	Description de l'apport et/ou de l'atteinte
Amélioration du potentiel et de l'impact agronomique	Oui Non	La structure et le taux de couverture ont été optimisés pour favoriser la culture de ces parcelles et pérenniser la production, conformément aux attentes du décret II de l'article L. 314-36. Ces mesures maintiennent les qualités agronomiques du sol et maintiendront le rendement agricole à court terme pour l'augmenter à long terme. Aucune atteinte de ce critère n'est à prévoir.
Adaptation au changement climatique	Oui Non	L'ombrage et la protection que la structure apporte permettent de sécuriser les plants et leur production en : • Réduisant le stress hydrique: Limite l'évapotranspiration et réduit les pertes de rendement associées. • Réduisant le stress thermique: Réduit la température sous panneaux pendant les fortes chaleurs et maintient la teneur en protéine des grains. Ces mesures permettent de maintenir ou d'augmenter le rendement agricole et d'améliorer la qualité de la production, tout en limitant les effets néfastes du changement climatique. Aucune atteinte de ce critère n'est à prévoir.
Protection contre les aléas	Oui Non	La structure permet trois protections majeures : ▪ Réduction de l'effet d'échaudage : L'ombrage des panneaux diminue les risques de brûlures causées par un excès de rayonnement solaire, protégeant ainsi la qualité de la production agricole. ▪ Limitation de l'impact de la grêle et des fortes pluies : Les panneaux protègent partiellement les cultures contre les dommages physiques causés par la grêle et les fortes précipitations, préservant ainsi la quantité de la production agricole. ▪ Limitation de l'impact du vent grâce à la structure, et donc diminution des conséquences de verses. Ces protections majeures permettent de sécuriser les cultures contre les aléas météorologiques ponctuels et exogènes, conformément aux exigences du décret, en préservant à la fois la quantité et la qualité de la production agricole. Aucune atteinte de ce critère n'est à prévoir.
Amélioration du bien-être animal	Oui Non	Non applicable.

En conclusion, le projet de l'EARL BELLOY respecte pleinement les exigences du décret en matière d'agrivoltaïsme. Il garantit les services attendus pour l'activité agricole, que ce soit en termes d'amélioration du potentiel agronomique, d'adaptation au changement climatique et de protection contre les aléas. De plus, il assure une **production agricole significative** ainsi qu'un **revenu durable (voir 3.4.4)**, conformément aux articles R. 314-114 et R. 314-117. Ainsi, ce projet s'inscrit pleinement dans le cadre réglementaire et contribue au développement harmonieux de l'agrivoltaïsme.

3.3 La production agricole doit rester l'activité principale (art. R314-118 du code de l'énergie)

3.3.1 Taux de couverture des ombrières agrivoltaïques fixes

Le taux de couverture d'une installation agrivoltaïque est défini comme le rapport entre la surface maximale projetée perpendiculairement au sol des modules photovoltaïques sur la parcelle agricole à considérer au titre du R. 314-108 **dans des conditions normales d'utilisation** et la surface de la parcelle agricole à considérer au titre du R. 314-108.

Longueur moyenne des rangées

Longueur rangée	Répétitions rangées
209,4	24
269,3	37
219,4	20
199,4	11
279,2	1
249,4	24
27835,9	117



Calcul longueur moyenne des rangées :

$$27\,835,9 / 117 = 237,9 \text{ m}$$

Taux de couverture

- Surface de la parcelle agricole à considérer : $k = 96\,528 \text{ m}^2$
- Longueur moyenne des rangées : $L = 237,9 \text{ m}$
- Nombre de rangées $r = 117$
- Distance inter-rangée : $2,41 \text{ m}$
- Longueur réel des panneaux : $l = 1,134 \text{ m}$
- Inclinaison des panneaux par rapport à l'horizontal : $\alpha = 15^\circ$
- Longueur projetée des panneaux = $l \times \cos(\alpha) = 1,095$
- Surface inter rangée : $s = \text{distance inter-rangée} \times (\text{rang}-1) \times L$
 $s = 2,41 \times (117-1) \times 237,9 = 66\,507 \text{ m}^2$
- $$\text{Taux de couverture} = \frac{\text{Longueur projetée des panneaux} \times L \times \text{rang}}{\text{Longueur projetée des panneaux} \times L \times \text{rang} + \text{surface inter rangée}}$$
- $$\text{Taux de couverture} = \frac{1,095 \times 237,9 \times 117}{1,095 \times 237,9 \times 117 + 66\,507}$$
- Taux de couverture = 31%

3.3.2 Perte de surface agricole

La technique des pieux battus est la technique envisagée. La zone d'étude est concernée par plusieurs entités géologiques. D'Ouest en Est, se trouve du limon des plateaux, des sables et graviers continentaux post-vindoboniens, du sable argileux puis enfin des argiles à silex. Au vu du contexte géologique et de la structure envisagée, cette technique pourrait convenir et sera confirmée par une étude géotechnique avant la phase de construction. Les emprises au sol sont donc négligeables car la technique consiste à battre un pieu métallique de section rectangulaire ou circulaire dans le sol. Les fondations prévues sont des pieux métalliques de type Profilé à Chaud (PAC) de section 180mm battus

dans le sol à 2,5m de profondeur avec préforage de diamètre 180mm si besoin. Aucun béton n'est nécessaire pour ces fondations.

Si l'étude géotechnique montre la nécessité de réaliser un préforage ou de bétonner le pourtour de la fondation (dans le cas de sol trop durs ou pas assez porteurs), ces recommandations seront suivies. Dans ce cas, l'usage du béton sera limité au strict nécessaire (diamètre 300mm sur 3m de profondeur au maximum) et uniquement dans les zones nécessitant un renforcement afin de garantir la réversibilité de la structure agrivoltaïque.

La technique de pieux battus nécessite les étapes suivantes :

- Battage des pieux à la force hydraulique d'une batteuse.
- Si besoin de préforer : préforage à la tarière et évacuation des déblais sur site ou en déchèterie.
- Assemblage du pieu battu avec un poteau par boulonnage simple

Après une étude de dimensionnement plus précise, nous pouvons compter 750 pieux (+/- 1%) d'un diamètre de 180 millimètres, soit 0.025 m² d'emprise au sol par fondation.

L'emprise au sol totale des fondations sera ainsi d'environ 19m². A cela, s'ajoute le poste de livraison (36m²), le poste de transformation supplémentaire (24m²) et les 105m² de surface liée à l'installation de la poche souple. De part et d'autre des pieux, l'EARL BELLOY prévoit la mise en place de jachères mellifères en collaboration avec un apiculteur local. Par conséquent, la surface exploitable totale perdue est de 184m², ce qui représente une partie infime de la surface du projet. En tout état de cause, une étude géotechnique sera réalisée et orientera vers la technique de fondation la plus appropriée au terrain.

La conception des ombrières agrivoltaïques pour l'EARL BELLOY se distingue également par son efficacité spatiale et son utilisation intelligente des ressources disponibles. Cette performance est rendue possible grâce à une conception minutieuse qui tire parti des infrastructures existantes, notamment des chemins déjà en place, limitant ainsi les besoins en nouvelles constructions.

3.3.3 Adaptabilité et intégration mécanique

L'implantation du projet propose un sens de culture adapté à la typologie de la parcelle, ainsi qu'aux contraintes d'exploitation. L'espacement de 14m entre chaque rangée de poteaux est soigneusement calculé pour garantir un taux de couverture optimal tout en permettant le passage des machines agricoles. Le fait d'avoir des rangs égaux, et une structure agrivoltaïque intégrant d'ores et déjà les contraintes imposées par les machines agricoles possédées par l'EARL BELLOY, permettront de faciliter l'entretien, le traitement, le travail du sol et les récoltes. Afin d'assurer une compatibilité optimale avec l'ensemble du matériel agricole existant, seul un ajustement mineur sera nécessaire : l'acquisition de rampes de pulvérisation spécifiques, conçues pour être repliables et s'adapter à l'espacement entre les poteaux.

3.3.4 Démantèlement et réversibilité des ombrières fixes

Le producteur d'électricité Technique Solaire s'engage à démanteler à ses frais l'installation de l'EARL BELLOY (coût provisionné dans le cout initial du projet) au bout des 40 ans d'exploitation. Cet engagement d'offrir le démantèlement a été pris contractuellement dans la Promesse de Bail signée entre les deux parties, conformément aux nouvelles demandes du cahier des charges de la Commission de Régulation de l'Energie pour candidater à une future session d'appel d'offres en vue d'obtenir un tarif d'achat de l'électricité.

La durée du chantier de démantèlement sera plus courte (environ 3 mois) que celui de la construction. Il fera l'objet d'une concertation avec les propriétaires fonciers afin qu'il soit compatible

avec l'usage futur du site qui sera remis en état sans aucune dégradation. Le système est conçu pour que :

- La structure soit entièrement démontable et facilement recyclée (composée à 95% d'acier) ;
- Les panneaux soient recyclables via des organismes type OREN (ex-PV Cycle) ;
- Les ancrages de la structure en pieux battus (en acier) pourront être facilement retirés.

Des études de sol et investigations géotechniques seront réalisées après obtention du permis de construire sur le terrain de l'EARL BELLOY par un bureau d'études spécialisé en vue d'appréhender les conditions de sol et de fondation des ouvrages. L'objectif est de s'assurer que le terrain est bien adapté et que le système d'ombrières sera facilement démantelable :

Cette étude est basée sur :

- L'exploitation des données bibliographiques et documents à disposition ;
- Un examen visuel de l'ensemble du site ;
- Des sondages à la pelle mécanique et de la réalisation de sondages géotechniques :

Type d'investigation	Spécificités
Sondage à la tarière	Reconnaissances lithologiques jusqu'à 5 m de profondeur ou au refus, afin de caractériser la nature de formations de surface
Sondage destructif	Forage destructif de 12 m de profondeur, permettant une reconnaissance lithologique et hydrogéologique des formations au droit du projet
Profil pressiométrique	1 essai tous les 1,50 m sur les forages destructifs
Sondage au pénétromètre dynamique	Menés à 10 m ou au refus afin de caractériser l'épaisseur des formations de surface et de reconnaître le toit du substratum

- Des essais conduits en laboratoire sur les échantillons prélevés lors de la campagne d'investigations :

Type d'essais en laboratoire	Spécificités
Classification GTR	Teneur en eau Courbes granulométriques VBS ou Limites d'Atterberg
Corrosion des aciers par le sol	Selon cadre normatif DIN 50929
Corrosion des bétons par le sol	Selon cadre normatif DIN 50929
Test de limite d'ATTERBERG	Détermination des indices de liquidité et plasticité

- De calculs et modélisation du prédimensionnement des fondations préconisées et adaptées au projet.

Les données actuelles que nous possédons nous permettent d'envisager des fondations en pieux battus comme évoqué ci-dessus. L'étude viendra confirmer ces propos.



Figure 7 : illustration de travaux de fondations avec pieux battus

La fin de vie de l'installation est anticipée comme partie intégrante du projet. Ces modalités exactes seront établies pendant l'exploitation de la centrale en fonction de l'évolution des techniques de démantèlement et de recyclage. Les choix de conception sont faits de manière à augmenter les durées de vie des centrales et faciliter le démantèlement. La question de la fin de vie des matériaux défectueux, usés ou à remplacer est traitée de la même manière.

Technique Solaire a, pour cela, mis en place et encouragé, dans la mesure de ses moyens, ses fournisseurs à développer des démarches exemplaires, que ce soit au niveau des supports de fixations, de toute la chaîne de conversion électrique ou des panneaux photovoltaïques. Par conséquent, lors du démantèlement de la centrale, l'ensemble des matériaux de base de l'installation (verre, semi-conducteur, structures métalliques, composants électroniques...) seront recyclés ou valorisés dans les filières adéquates.

Démantèlement de la structure et remise en état du site de l'EARL BELLOY :

Les différentes étapes de ce démantèlement sont détaillées ci-après :

Éléments	Type de fixation	Méthode de démantèlement
Panneaux photovoltaïques	Vissés sur les structures porteuses	Dévissage
Structures métalliques	Fixées sur les pieux battus	Déboulonnage
Fondations pieux battus/vissés	Enfoncées dans le sol	Arrachage et évacuation
Bâtiments techniques	Posés au sol	Enlèvement à l'aide d'une grue
Câbles de raccordement interne à la centrale	Enfouis dans la terre ou posés sur des traverses aériennes	Enlèvement et évacuation
Portail et éventuelle clôture	Enfoncés dans le sol	Arrachage simple
Chemins SDIS	Concassés déversés au sol	Matériau retiré du sol

Exemple de déroulement classique d'un démantèlement :

	MOIS 1				MOIS 2				MOIS 3			
Mise en place base vie et containers												
Démontage panneaux et structures												
Retrait du câblage interne												
Enlèvement équipements électriques												
Remise en état du terrain												

Recyclage des panneaux et de la chaîne électrique

Les fournisseurs de modules photovoltaïques s'engagent à recycler l'intégralité des modules ayant servis à l'exploitation d'une centrale en passant par l'entreprise SOREN (ex-PV Cycle), qui est l'éco-organisme agréé par les pouvoirs publics en matière de collecte et de traitement des panneaux photovoltaïques en France. Les modules photovoltaïques contiennent des matériaux qui peuvent être récupérés et réutilisés pour fabriquer de nouveaux modules ou d'autres produits. Les matériaux tels que le verre, l'aluminium ou les éléments semi-conducteurs peuvent être valorisés une fois récupérés. Le silicium pourra être récupéré s'il est intact pour la fabrication de nouvelles cellules photovoltaïques ou fondu et intégré dans un lingot.

La collecte et le recyclage des modules permettent non seulement de réduire le volume des déchets produits lors du démantèlement en fin de vie de la centrale mais permet également de réduire la quantité d'énergie nécessaire à la fabrication de nouveaux modules.

Le taux de recyclage moyen d'un panneau photovoltaïque est ainsi élevé et se situe au-delà de 90%, le panneau ayant une durée de vie entre 40 et 50 ans.

Concernant les onduleurs et autres équipements électriques, la directive européenne n°2002/96/CE (DEEE) portant sur les déchets d'équipements électriques et électroniques, a été adoptée au sein de l'Union Européenne en 2002. Elle a été transposée en droit national en 2005 (Décret n° 2005-829 du 20 juillet 2005). Les fabricants d'appareils électroniques, notamment les fabricants d'onduleurs, sont soumis à ce décret. Technique Solaire s'engage donc dans ce sens à suivre la réglementation en vigueur.

En conclusion, la réversibilité des structures dans leur intégralité, leur démantèlement en fin de vie, le recyclage des éléments constitutifs de celles-ci, et la remise en état du terrain sont donc bien techniquement garantis, économiquement pris en compte et contractuellement exprimés pour le projet de L'EARL BELLOY.

La production agricole restera donc l'activité principale.

3.4 Justification Technique de la Production Agricole Significative et Durable selon les Articles R. 314-114 à R. 314-117 du Code de l'Energie

Pour l'ensemble des installations agrivoltaïques hors élevage, la production agricole est considérée comme significative si la moyenne du rendement par hectare observé sur la parcelle à considérer au titre du R. 314-108 du code de l'énergie est supérieure à 90 % de la moyenne du rendement par hectare observé sur la zone témoin ou un référentiel en faisant office.

3.4.1 Analyse bibliographique et résultats de modélisation

La mise en place de systèmes agrivoltaïques représente une opportunité majeure pour concilier les objectifs de souveraineté alimentaire au changement climatique. Toutefois, l'effet de l'ombrage induit par les panneaux photovoltaïques sur la productivité (quantité et qualité) reste une question centrale. Une étude bibliographique a été menée sur la culture de blé d'hiver, majoritaire sur les rotations céréalière-oléagineux-protéagineuses en France, et qui aujourd'hui reste la culture la plus étudiée par le monde académique, dans des études portant sur l'agrivoltaïsme.

Dans des contextes de stress hydrique croissant, accentués par le changement climatique, la légère réduction de la lumière peut devenir un atout. En atténuant l'évapotranspiration et en maintenant une humidité du sol plus constante, les structures agrivoltaïques créent un microclimat plus favorable au développement végétatif, à la régulation hydrique de la plante mais aussi à la qualité de production (Annexe 1).

Plusieurs études ont montré une baisse de la température de l'air et du sol sous panneaux de l'ordre de 1 à 4 °C, ainsi qu'une amélioration de la conservation de l'humidité dans le sol. Dans un essai en climat tempéré mené à Lake Constance (47° 39' 00" N, 9° 19' 00" E; avec un ensoleillement légèrement inférieur à celui de Vouthon), la température du sol a été réduite de 1,8 °C en moyenne durant l'été sous AV, et l'humidité volumique du sol a été en moyenne 7,2 % plus élevée par rapport à la parcelle témoin sans ombrage¹⁵.

¹⁵ Weselek, A., Bauerle, A., Hartung, J., Zikeli, S., Lewandowski, I., & Högy, P. (2021). Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(5), 59.

Par ailleurs, l'évapotranspiration potentielle (ETp) a été réduite de 15 à 20 % selon les saisons et les cultures, traduisant une meilleure efficacité de l'utilisation de l'eau¹⁶. Ces effets se traduisent concrètement dans la dynamique des rendements : une étude menée en Allemagne sur quatre campagnes culturales a mis en évidence une stabilité remarquable des rendements du blé sous panneaux (4,7 t/ha en moyenne) comparée à la parcelle témoin (5,2 t/ha), avec une moindre variabilité interannuelle et un léger gain de productivité observé en année sèche (+2,7 % en 2018)^{13,17}.

Ces résultats suggèrent que, **dans des situations à forte contrainte hydrique, l'ombrage modéré joue un rôle de tampon, atténuant les stress thermique et hydrique, et participant ainsi à la résilience des systèmes de production.**

Mais c'est surtout sur le plan **qualitatif**, et plus précisément sur la **teneur en protéines des grains**, que l'agrovoltaïsme révèle un potentiel particulièrement intéressant. Plusieurs études convergent en effet pour démontrer que les conditions microclimatiques créées sous les panneaux favorisent une augmentation significative de la concentration en protéines du blé tendre.

Ainsi, dans une étude récente menée sur 6 années de culture de riz en conditions tempérées (cultures de type C3, comme le blé), la teneur en protéines a systématiquement été supérieure sous une structure agrivoltaïque par rapport à la modalité témoin, avec des augmentations variant de +1 à +2 % de matière sèche¹⁸. Cette tendance est également observée sur le blé d'hiver : une étude expérimentale conduite en Allemagne, en climat tempéré, indique une hausse de la teneur en protéines de l'ordre de +0,5 à +1,2 % sous panneaux, notamment dans les années de stress hydrique modéré¹³. Cette élévation de la teneur protéique peut être interprétée comme un effet indirect de la réduction de la biomasse grainière sous panneaux solaires : une moindre dilution des composés azotés dans une masse grainière réduite conduit mécaniquement à une concentration accrue en protéines. Mais il faut aussi y voir un ajustement physiologique de la plante, favorisé par un environnement moins contraignant en température et en rayonnement.

Des analyses isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$) montrent en effet une discrimination accrue sous panneaux solaires, signe d'une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau et d'un fonctionnement stomatique régulé, propice à l'assimilation azotée¹⁵. En conditions de sécheresse, cette dynamique est renforcée : le stress hydrique limitant la translocation des assimilats carbonés vers le grain, le ratio azote/carbone est modifié en faveur d'un enrichissement protéique. D'un point de vue technologique, cette amélioration qualitative n'est pas anodine. Une teneur en protéines plus élevée est directement corrélée à la qualité boulangère des blés, influençant la ténacité du gluten, le volume des pains et la valorisation commerciale des récoltes. Ainsi, l'agrovoltaïsme, en contexte de filière qualité ou de blés de force, pourrait constituer un levier pertinent pour maintenir un haut niveau de qualité malgré des rendements modérément réduits. Par ailleurs, ces bénéfices qualitatifs sont obtenus sans application supplémentaire d'azote, contribuant ainsi à une optimisation agro-environnementale du système.

En somme, l'agrovoltaïsme, loin d'être un compromis défavorable pour les cultures de blé, peut devenir un levier stratégique pour sécuriser les rendements et stabiliser la production en contexte de variabilité climatique croissante. Il offre une nouvelle voie de valorisation du foncier agricole tout en participant à la production d'énergie renouvelable, sans exclure la performance agronomique. S'il requiert une conception fine de l'intensité d'ombrage et une adaptation variétale ciblée, son potentiel en

¹⁶ Omer, A. A. A., Li, M., Zhang, F., Hassaan, M. M. E., El Kolaly, W., Zhang, X., ... & Liu, W. (2025). Impacts of agrivoltaic systems on microclimate, water use efficiency, and crop yield: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 221, 115930.

¹⁷ Pataczek, L., Weselek, A., Bauerle, A., Högy, P., Lewandowski, I., Zikeli, S., & Schweiger, A. (2023). Agrivoltaics mitigate drought effects in winter wheat. *Physiologia Plantarum*, 175(6), e14081.

¹⁸ Thum, C. H., Okada, K., Yamasaki, Y., & Kato, Y. (2025). Impacts of agrivoltaic systems on microclimate, grain yield, and quality of lowland rice under a temperate climate. *Field Crops Research*, 326, 109877.

matière de durabilité, de résilience et de double valorisation agricole et énergétique en fait une solution à promouvoir activement dans les paysages agricoles de demain.

3.4.2 Instabilité de la rentabilité des cultures sur les parcelles du projet

Comme évoqué lors de la présentation de l'exploitation de l'EARL BELLOY, celle-ci fait face à d'importantes variabilités des rendements ainsi qu'à une diminution significative de la rentabilité de certaines cultures, comme le montre le tableau ci-dessous.

Cultures	Ventes 2021 (€)	Ventes 2022 (€)	Ventes 2023 (€)	Ventes 2024 (€)
Blé	132 009	0	18 041	68 304
Orge	37 553	14 673	29 706	23 519
Triticale	0	11 199	0	0
Colza	96 687	27 945	28 954	0
Tournesol	21 857	7 115	10 128	15 705
Paille	16 970	0	0	2 803
Total ventes	305 076	46 932	68 829	110 331

On remarque une nette diminution des revenus issus des ventes en 2022, 2023 et 2024 par rapport à 2021, causée par les aléas climatiques (sécheresse, grêle) et les conditions climatiques défavorables (fortes chaleurs et fortes précipitations).

3.4.3 Rendements attendus

Selon les dispositions techniques du projet et la continuité des pratiques agricoles en cours, le rendement par hectare cultivé ne devrait pas être amené à diminuer. La continuité de ce rendement pourra être vérifiée grâce à l'implantation d'une zone témoin de 6000m². Les panneaux étant une protection contre les aléas climatiques, ils pourraient permettre de réduire les pertes et donc d'augmenter les rendements. Cependant pour combler le manque de retour d'expérience provenant de projets similaires dans le département, la Chambre d'Agriculture d'Indre-et-Loire partira d'une hypothèse de 10% de pertes de rendement. Ainsi la garantie du critère de revenu durable en considérant ces pertes assurera la viabilité inconditionnelle du projet agrivoltaïque.

3.4.4 Revenu durable issu de la production agricole (art. R. 314-117 du code de l'énergie)

La section 2.5 de l'instruction technique du 18 février 2025 précise le procédé d'évaluation de la durabilité de la production agricole :

« Le caractère « durable » du revenu issu de la production agricole est apprécié dans le temps. Ainsi, le revenu est considéré comme durable si la moyenne des revenus issus de la vente des productions végétales et animales de l'exploitation agricole n'est pas inférieure à la moyenne des revenus avant l'implantation de l'installation agrivoltaïque, en tenant compte de l'évolution de la situation économique générale et de celle de l'exploitation. »

Ce revenu correspond à l'excédent brut d'exploitation, diminué des revenus directs et indirects (exemple des rémunérations perçues au titre d'une prestation de service) issus de l'installation agrivoltaïque et augmenté, le cas échéant, des rémunérations du travail et des cotisations associées (qui sinon viendraient dégrader paradoxalement l'EBE de l'exploitation agricole dans le cas où un emploi agricole supplémentaire serait créé grâce aux revenus tirés de l'installation agrivoltaïque).

La moyenne est calculée sur les cinq dernières années, en excluant la valeur la plus faible et la plus élevée (moyenne olympique). Sur les cinq premières années de l'exploitation, la moyenne est calculée sur l'ensemble des valeurs depuis l'achèvement de l'installation. ».

Afin d'apprécier le caractère durable du revenu issu de la production de l'EARL BELLOY, une étude technico-économique sera réalisée par la Chambre d'Agriculture d'Indre-et-Loire. Les conclusions de l'étude seront indiquées ci-dessous.

3.5 Obligation de disposer d'une zone témoin (art. R. 314-114, II. du code de l'énergie)

Conformément au Cahier des charges de l'appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'Installations de production d'électricité à partir de l'énergie solaire « Centrales sur bâtiments, serres agrivoltaïques, hangars, ombrières et ombrières agrivoltaïques de puissance supérieure à 500 kWc », édité par la Commission de Régulation de l'Energie (CRE), il est obligatoire que le projet soit suivi sur toute la durée du contrat de rémunération (20 ans). Ce suivi, financé par Technique Solaire, est assuré par un organisme indépendant (p. ex. chambre d'agriculture, bureau d'études, organisme professionnel ou organisme similaire).

Lors du suivi, les performances agronomiques et financières de la parcelle agrivoltaïque sont mesurées et comparées à une zone témoin. Cette zone témoin ne comportant aucune installation équipée de modules photovoltaïques ni apportant de l'ombre est située à proximité immédiate de l'installation agrivoltaïque, connaît des conditions pédoclimatiques équivalentes et est cultivée dans les mêmes conditions (espèces et variétés de cultures, densité de culture, itinéraire technique) que la parcelle sur laquelle est située l'installation agrivoltaïque. Les résultats sont délivrés tous les 3 ans à la CRE et constituent un retour d'expérience. Les écarts notables de production entre les ombrières agrivoltaïques celle de la zone témoin doivent être justifiés.

Il est à noter que Technique Solaire, dans sa démarche de suivi agricole de ses projets, s'est doté d'une équipe dédiée à cette thématique, composée notamment de profils experts (ingénieurs agronomes, docteur en sciences de l'environnement). La zone témoin du projet servira à comparer la production agricole avec la parcelle du projet afin d'évaluer l'impact de la structure sur les rendements.

Cette zone témoin est prévue au sud du projet sur la même parcelle, afin de garantir les mêmes conditions pédoclimatiques et ainsi, permettre une comparaison des plus justes entre la parcelle du projet et la parcelle témoin. Le fait de choisir le sud permet également de ne pas avoir d'ombrage apportée par la structure sur la zone témoin. Au sein de cette zone témoin, on retrouvera donc 6 000m² de cultures sans la moindre interaction avec les ombrières agrivoltaïques. Cela représente 6% de la surface utile du projet.

Ainsi, l'obligation de disposer d'une zone témoin a été respectée pour ce projet.



Figure 9 : zone témoin issue du projet

3.6 Justificatif prouvant que l'exploitant agricole est actif

Blois, le 06/03/2025

 santé
famille
retraite
services

Attestation d'affiliation chef d'exploitation
n° 41_DDA_20250306_140



Code de sécurité :
254141D5BE79713

Pour contrôler cette attestation
connectez-vous :
<http://verification-attestations.msa.fr>

Mme BELLOY ELODIE
3 LA CORBINIERE
37110 AUTRECHE

La validité de cette attestation et le détail des informations
contenues peuvent être contrôlés :
- en ligne sur notre site www.msa-berry-touraine.fr
rubrique **services en ligne > vérification d'attestations**
- en contactant la MSA Berry-Touraine ou son délégataire
Ce contrôle peut être effectué pendant un an après publication de l'attestation.

La MSA Berry-Touraine certifie que :

Madame BELLOY ELODIE
3 LA CORBINIERE
37110 AUTRECHE

2821137063011

est affilié(e) en qualité de chef d'exploitation auprès de notre organisme depuis le
02/11/2000.

A la date du 06/03/2025 :
- l'activité est exercée à titre principal.
- la superficie mise en valeur est de ha

*Attestation délivrée pour servir et valoir ce que de droit, produite par la MSA sous forme
dématérialisée dans les conditions de sécurité requises par la loi.*

Le Directeur



santé
famille
retraite
services

Blois, le 06/03/2025
Attestation d'affiliation chef d'exploitation
 n° 41_DDA_20250306_137



Code de sécurité :
25410AFF2359292

Pour contrôler cette attestation
 connectez-vous :
<http://verification-attestations.msa.fr>

La validité de cette attestation et le détail des informations
 contenues peuvent être contrôlés :
 - en ligne sur notre site www.msa-berry-touraine.fr
 rubrique **services en ligne** » vérification d'attestations
 - en contactant la MSA Berry-Touraine ou son délégataire
Ce contrôle peut être effectué pendant un an après publication de l'attestation.

M COUVERCELLE AURELIEN
LA CORBINIERE
CHEZ MME HERVET ELODIE
37110 AUTRECHE

La MSA Berry-Touraine certifie que :

Monsieur COUVERCELLE AURELIEN
 LA CORBINIERE
 CHEZ MME HERVET ELODIE
 37110 AUTRECHE

1800502691026

est affilié(e) en qualité de membre de société non salarié agricole auprès de notre
 organisme depuis le 01/01/2022.

A la date du 06/03/2025 :

- l'activité est exercée à titre principal.
- la superficie mise en valeur est de ha

*Attestation délivrée pour servir et valoir ce que de droit, produite par la MSA sous forme
 dématérialisée dans les conditions de sécurité requises par la loi.*

Le Directeur

Figure 10 : Attestation MSA d'Aurélien et Elodie COUVERCELLE (anciennement BELLOY)

4 Le suivi agronomique

Conformément au Cahier des charges de l'appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'Installations de production d'électricité à partir de l'énergie solaire « Centrales sur bâtiments, serres agrivoltaïques, hangars, ombrières et ombrières agrivoltaïques de puissance supérieure à 500 kWc », édité par la CRE, il est obligatoire que le projet soit suivi sur toute la durée du contrat de rémunération (20 ans). Ce suivi, financé par Technique Solaire, est assuré par un organisme indépendant (p. ex. chambre d'agriculture, bureau d'étude, organisme professionnel, etc.).

Lors du suivi, les performances agronomiques et financières de la parcelle agrivoltaïque sont mesurées et comparées à une zone témoin. Cette zone témoin ne comportant aucune installation équipée de modules photovoltaïques ni apportant de l'ombre est située à proximité immédiate de l'installation agrivoltaïque, connaît des conditions pédoclimatiques équivalentes et est cultivée dans les mêmes conditions (espèces et variétés de cultures, densité de culture, itinéraire technique) que la parcelle sur laquelle est située l'installation agrivoltaïque. Les résultats sont délivrés tous les 3 ans à la CRE et constituent un retour d'expérience. Les écarts notables de production entre l'ombrière agrivoltaïque ou la serre agrivoltaïque et celle de la zone témoin doivent être justifiés.

5 Conclusion

La filière agricole française est confrontée à de nombreux défis : la répétition d'aléas climatiques extrêmes, l'évolution des attentes sociétales et une pression accrue sur la rentabilité des exploitations. Dans ce contexte exigeant, il devient essentiel d'intégrer des solutions innovantes pour garantir la viabilité et la résilience des systèmes de production, tout en maintenant un équilibre économique et environnemental.

C'est dans cette dynamique que l'EARL BELLOY s'engage dans le renouvellement et la sécurisation de son exploitation. Confrontée à des épisodes récurrents de sécheresse et de grêle, notamment en 2022 et en 2024, elle a choisi d'intégrer une solution agrivoltaïque afin de protéger ses cultures tout en préservant une activité agricole performante et durable.

Le projet étudié mettra en œuvre une installation d'ombrières fixes. Ce dispositif vise une double finalité :

- Offrir une protection accrue contre les aléas (grêle, brûlures et températures extrêmes), favorisant ainsi une meilleure adaptation de la parcelle au changement climatique;
- Améliorer les performances agronomiques en stabilisant les rendements et en garantissant la régularité de l'activité, condition essentielle à la pérennité économique de l'exploitation.

Le projet s'inscrit dans le respect strict des critères du Code de l'Énergie (L.111-27 et R.314-108 à R.314-118) propres à l'agrivoltaïsme :

- Maintien de la vocation agricole principale sur la parcelle et production significative, avec une conduite culturale adaptée ;
- Amélioration du potentiel agronomique et de la résilience climatique grâce à une gestion intelligente de l'ombrage ;
- Aucune entrave à l'activité agricole, avec maintien de la mécanisation et des itinéraires techniques habituels ;
- Réversibilité et démantèlement de l'installation garantis pour assurer la flexibilité de l'exploitation à long terme ;
- Suivi agronomique rigoureux, mené par un organisme indépendant sur une durée minimale de vingt ans, permettant une analyse fine et un partage des résultats avec les instances agricoles compétentes.

Ce projet porté par l'EARL BELLOY se positionne ainsi comme une démarche d'innovation durable, conciliant protection des cultures, maintien des rendements, adaptation au changement climatique et valorisation de la production agricole. Il illustre pleinement la synergie possible entre agriculture et production d'énergie renouvelable au service de l'exploitant, de son territoire et de la transition écologique.

6 Contacts

Pétitionnaire du projet

EARL BELLOY
Porcherieux
37 110 Autrèche
Tél : 06 45 76 08 82

Maitre d'œuvre



TECHNIQUE SOLAIRE
26 rue Annet Segeron, 86580, Biard
Ludovic MOUTOUSSAMY, Chef de Projets
Tél : 06 59 70 03 31
ludovic.moutoussamy@techniquesolaire.com
Romain PROUX, Service Urbanisme
Tél : 06 64 95 52 44 / 05 49 56 01 19