

ANNEXE N° 8 – NOTICE DESCRIPTIVE
PROJET AGRIVOLTAÏQUE DE CARPENTRAS

Table des matières

1	Contexte du projet	2
2	L'agrivoltaïsme dynamique : outil agricole d'adaptation au changement climatique	4
2.1	Sun'Agri, filiale du groupe Sun'R	4
2.2	L'agrivoltaïsme dynamique par Sun'Agri	4
2.3	Synergie entre le système agrivoltaïque et la production agricole	7
3	Projet agricole du Lycée Agricole Louis Giraud de Carpentras	9
3.1	Présentation de l'exploitation agricole	9
3.2	Intérêt agronomique du projet	10
3.3	Choix de la parcelle de projet	13
3.4	Description du projet agricole	14
3.5	Synergie entre système agrivoltaïque et production agricole du projet	17
3.6	Intérêt économique du projet pour l'exploitation	20
3.7	Engagements en phase d'exploitation	21
	SYNTHESE DU PROJET AGRICOLE :	22
4	Description technique du projet	22
4.1	Situation	22
4.2	Caractéristiques techniques	22
4.3	Intégration du projet dans son environnement	26
4.4	Alimentation en eau	28
4.5	Documents d'urbanisme	29
4.6	Concertation avec les acteurs locaux	30
	SYNTHESE PARTIE TECHNIQUE DU PROJET	31
5	Programme de recherche et résultats expérimentaux	32
5.1	Dix ans de R&D pour adapter le microclimat des plantes au changement climatique	32
5.2	Résultats des Dispositifs expérimentaux	35
	ANNEXES	37
	Cadre contractuel	37

1 Contexte du projet

L'agrivoltaïsme est né il y a une décennie d'un triple constat posé par Sun'R et l'INRA :

1. Une urgence alimentaire : produire 56% de calories en plus entre 2010 et 2050 pour alimenter la population mondiale alors que l'agriculture intensive est une industrie mature sans espérance de gains de productivité à la hauteur de l'enjeu. Poursuivre l'exploitation des terres agricoles sans perdre de rendement est une nécessité absolue ;
2. La menace des changements climatiques qui affectent les rendements de nombreuses cultures, les derniers événements en France en attestent : gel début mai, grêle début juin et canicule début juillet ont eu des effets désastreux sur les cultures ;
3. Les terres agricoles sont menacées d'artificialisation face à la concurrence photovoltaïque.

L'agrivoltaïsme dynamique développé par Sun'Agri apporte une réponse à ces constats. Il s'agit d'un **outil de régulation agroclimatique** qui permet de protéger les cultures des stress (hydriques, radiatifs et thermiques), de maintenir les rendements d'une année à l'autre, tout en produisant une électricité d'origine photovoltaïque.

Le projet agrivoltaïque « Carpentras » concerne l'exploitation du Lycée Agricole Louis Giraud basé à Carpentras (84). Il est lauréat d'un Appel à Manifestation d'Intérêt porté par la Région Sud pour l'occupation d'une parcelle du domaine Louis Giraud à des fins de démonstration agrivoltaïque. Le Domaine possède un verger de 38 ha et mène des expérimentations pour une transition agroécologique sur production fruitières. Ces expérimentations sont menées depuis le milieu des années 1980 sur des raisins de table, pommiers, cerisiers, etc pour répondre aux demandes concrètes de la profession.

L'exploitation subit fortement les effets du changement climatique, qui impactent les rendements et augmentent les besoins en eau des cultures. L'impact est particulièrement important sur la filière cerise. Aussi, dans une logique de pérennisation et de sécurisation de cette activité, le Domaine Louis Giraud souhaite mettre en place des solutions innovantes d'adaptation au changement climatique, en portant un projet agrivoltaïque à l'échelle d'une parcelle entière plantée en **cerisiers**.

Ce projet intervient dans le cadre du développement des projets pilotes de Sun'Agri, faisant suite à plus de dix ans de recherche et développement en partenariat avec des organismes agronomiques et scientifiques reconnus et soutenu par l'Etat (Programme d'Investissement d'Avenir), ayant permis de valider l'intérêt agronomique et économique de l'outil. Le projet a été désigné lauréat de l'Appel d'Offres Innovation 4.2 de la Commission de Régulation de l'Energie en avril 2020, validant à la suite de l'examen du dossier par l'ADEME la vocation agricole primaire du projet et la synergie entre production agricole et production électrique secondaire.

Un suivi agronomique et une comparaison avec une zone témoin¹ accolée à la structure agrivoltaïque seront néanmoins maintenus, dans une logique d'évaluation des bénéfices de la structure sur les cultures.

Quand le label sera finalisé, **le projet sera candidat à la labellisation par l'AFNOR Certification**. Le projet est d'ores et déjà conforme à la majorité des exigences techniques, particulièrement celles relatives aux critères obligatoires (nous signalerons ces critères obligatoires tout au long du dossier).

¹ La présence de zone témoin et la mise en place d'un suivi agronomique sont des critères obligatoires du label

Le fonctionnement du projet « Carpentras » se base sur un ensemble tripartite :

- Le **Domaine Louis Giraud** qui exploite les cultures et bénéficie de l'installation du système ;
- **Sun'Agri**, qui pilote le système agrivoltaïque, décide de l'orientation en temps réel des panneaux, maximise la valeur de la production agricole et coordonne le suivi agronomique avec les organismes partenaires (CA84 notamment) ;
- Un **producteur photovoltaïque** qui assure le financement et est rémunéré par les bénéfices liés à la vente d'électricité, ici **Racines**.

2 L'agrivoltaïsme dynamique : outil agricole d'adaptation au changement climatique

2.1 Sun'Agri, filiale du groupe Sun'R

Fondé en 2007, le groupe Sun'R par Antoine Nogier est constitué de trois pôles d'activité centrés sur le développement des énergies renouvelables et engagés dans la transition énergétique :

- **Sun'R Power** : producteur indépendant d'énergie, acteur historique du photovoltaïque en France, Sun'R Power développe, construit et exploite des projets innovants ou à fort impact pour accompagner les territoires dans la transition énergétique ;
- **Volterres** : Volterres commercialise une offre innovante de fourniture d'électricité verte qui donne la possibilité aux entreprises et collectivités de s'approvisionner avec de l'électricité renouvelable produite sur leur territoire, grâce à la blockchain ;
- **Sun'Agri** : pionnier de l'agrivoltaïsme, Sun'Agri répond à l'urgence du changement climatique en apportant aux agriculteurs une innovation de rupture qui améliore durablement leur production tout en générant de l'énergie solaire. La société a été fondée en 2018 à la suite de 10 ans de recherche et développement du groupe Sun'R en collaboration avec l'INRAe pour fonder l'agrivoltaïsme dynamique.

Le siège du groupe est basé à Paris mais l'essentiel des activités de développement est localisé dans les bureaux de l'agence de Lyon, avec des antennes locales à Nantes, Montpellier et Toulouse.

Le groupe compte aujourd'hui soixante-quinze collaborateurs.

Sun'Agri intègre une **équipe particulièrement multidisciplinaire** : ingénieurs agronomes, spécialistes en agriculture, ingénieurs en génie mécanique et électrique, mais aussi data scientist, spécialistes de machine learning. Toute l'équipe de Sun'Agri partage des convictions fortes et l'envie de proposer des solutions porteuses de sens pour le monde agricole.

Une présentation du programme de recherche Sun'Agri, des différents dispositifs expérimentaux, des cultures cibles et une synthèse des principaux résultats en viticulture et arboriculture est présentée en Annexe du document.

2.2 L'agrivoltaïsme dynamique par Sun'Agri

Le concept d'agrivoltaïsme a été défini par l'INRAE et Sun'R dès 2010 :

« Nous avons développé le concept de « systèmes agrivoltaïques » définis comme des systèmes de production associant sur une même surface des cultures au sol (qui peuvent être des cultures de plein champ), et des panneaux solaires (maintenus en hauteur par une structure porteuse ouverte permettant la culture mécanisée) » (Publication Dupraz et al., 2010).

Le cahier de la charge de l'Appel d'Offre Innovation de la Commission de la Régulation de l'Energie définit en 2017 :

*« les installations agrivoltaïques sont des installations permettant de coupler une production photovoltaïque secondaire à une production agricole principale en permettant une **synergie** de fonctionnement démontrable »*

Le terme est utilisé depuis mais ne bénéficie pas d'une définition consensuelle. Néanmoins, la vocation agricole des différentes technologies dites « agrivoltaïques » doit être comparée en premier lieu.

2.2.1 Positionnement par rapport aux différents types de couplages agricole-photovoltaïque



Figure 1: Exemples de combinaisons entre l'agriculture ou l'élevage et la production photovoltaïques avec ou sans couplage

Il est constaté différentes propositions aux visages et finalités diverses :

- Les centrales photovoltaïques au sol et sur bâtiments agricoles non destinées à la production agricole (fermes, hangars), avec « caution agricole » (élevage, ruches) participent à l'artificialisation de terres agricoles sans placer la favoriser l'agriculture ;
- Les centrales « Dual Use » fixes ne s'appuyant pas sur des solutions de pilotage agronomique, dégradent nécessairement les performances agronomiques et ne présentent pas d'innovation de rupture :
 - o L'ombrage est utile à certaines heures ou périodes de l'année mais **pas tout le temps**. Les solutions existantes indiquent des **pertes de production agricole**,
 - o Comme la course du soleil varie selon les saisons, il ne peut pas exister de disposition fixe des panneaux ou de tracking convenant tout au long de l'année ;
- Les centrales « Dual Use » mobiles qui suivent le soleil, maximisent la production d'électricité. Sans pilotage agronomique assurant un effacement total de la production électrique (panneaux parallèles aux rayons du soleil) sur certaines périodes (année, mois ou journée) quelle que soit la hauteur d'implantation, elles dégradent nécessairement le rendement agricole et ne présentent pas d'innovation majeure ;
- Les **serres agricoles** à panneaux solaires fixes intégrés. Ces solutions ont largement été déployées dans le sud de la France avec de nombreuses contre-références : l'excès d'ombrage est particulièrement visible pour les serres. La **culture hivernale est en conséquence presque impossible**.

2.2.2 La solution d'agrivoltaïsme développée par Sun'Agri

Au-delà du simple fait de les faire cohabiter sur un même terrain, **le système agrivoltaïque développé par Sun'Agri crée une réelle symbiose entre agriculture et production d'énergie**. La solution innovante que Sun'Agri propose repose d'une part sur une **structure porteuse** minimisant l'emprise au sol et permettant le passage d'engins agricoles, d'autre part sur un **système de pilotage** de l'inclinaison des panneaux à la manière d'une persienne. Le pilotage automatisé est basé sur une **modélisation de la croissance des cultures** dans l'environnement agrivoltaïque et sur un modèle d'optimisation visant à **créer les meilleures conditions microclimatiques** pour la culture.

Le système agrivoltaïque apporte à l'agriculture **une véritable solution en réponse au changement climatique**, par la création d'un microclimat contrôlé et une économie substantielle des flux intrants. Grâce à l'ombrage apporté par les panneaux, pilotés en temps réel, il permet de réduire les ressources en eau employées pour l'agriculture, de réduire l'amplitude thermique sous la structure.

Le système, a vocation à être déployé sur des cultures ayant un besoin d'adaptation, et à produire une électricité photovoltaïque compétitive. **Le potentiel de l'agrivoltaïsme s'exprime pleinement dans les zones de forts stress hydrique et thermique**, et dans lesquelles les changements climatiques et/ou les épisodes climatiques extrêmes (vent, grêle, gel) ont un effet important.

A contrario des approches décrites précédemment, les travaux de R&D menés par Sun'Agri ont donc permis de développer un système permettant d'**améliorer les performances agricoles**.

→ Résultats expérimentaux en arboriculture :

Une présentation des programmes de recherche menés par Sun'Agri et l'INRAE, des différents dispositifs de recherche, des cultures cibles et une synthèse des principaux résultats en arboriculture, validés par l'INRAE, est présentée en partie 5 de ce document.

La technologie Sun'Agri fonctionne sur deux étages :

- Un étage bas est réservé à la **culture agricole (produit principal du système)** ;
- Un étage haut est réservé à la **production électrique**. Les panneaux photovoltaïques sont pilotables sur un axe Nord-Sud grâce un système de trackers.

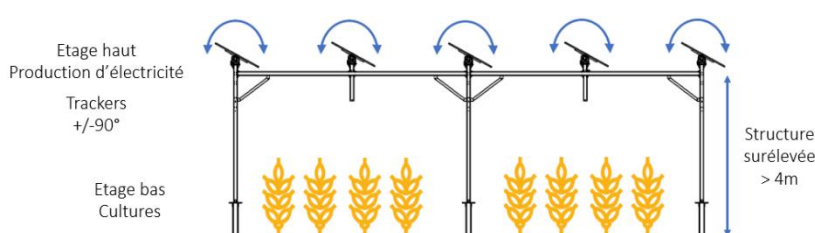


Figure 2: Illustration de la structure AVD

Le point clé de l'innovation tient au fait que les panneaux sont pilotés de façon à optimiser la croissance de la culture, et faire passer au second plan la production électrique.

Le pilotage « intelligent » est défini selon les besoins physiologiques de la culture. Il est donc possible de contrôler à chaque instant l'ombrage apporté aux plantes, dans l'optique d'une amélioration systématique de la production agricole par rapport à des conditions de plein champ.

Le principe du partage lumineux² de notre innovation peut être illustré par les trois exemples de positionnements des panneaux photovoltaïques de la figure ci-après. Selon le cas, la plante peut être :

- **préservée** par un ombrage maximal ;
- **favorisée** par un ombrage minimal ;
- **protégée** face à des aléas climatiques de type gelée printanière.

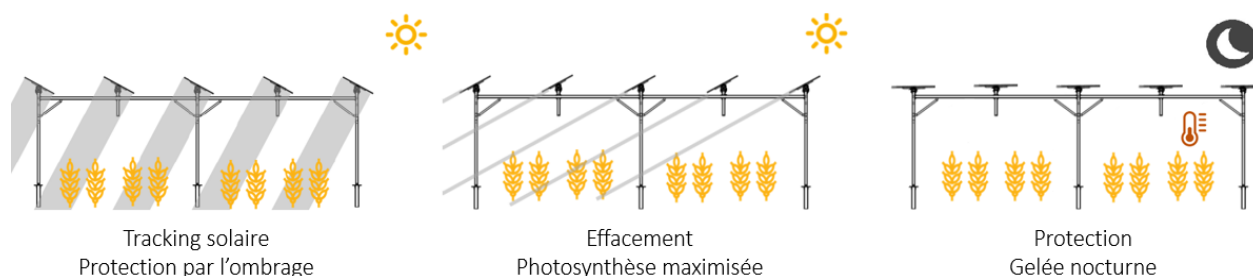


Figure 3. Trois exemples d'orientation des panneaux

² Le partage lumineux est cohérent avec la culture visée – critère du label

Ces évolutions permettent, en modifiant le microclimat reçu par la plante (température, ensoleillement, hygrométrie), de :

- Garantir une amélioration nette de la production agricole ;
- Tout en produisant une énergie renouvelable compétitive ;
- Et en apportant des réponses aux impacts des changements climatiques.

2.3 Synergie entre le système agrivoltaïque et la production agricole

2.3.1 Un pilotage agronomique intelligent

AV Studio est un logiciel développé depuis plus de 10 ans par la direction scientifique du groupe Sun'R. Véritable innovation technologique, ce software unique au monde utilise les modèles de croissance de chaque plante pour piloter de façon optimale l'orientation des panneaux photovoltaïques.

L'architecture de la suite logicielle s'articule selon différents modèles :

- Modèles agronomiques permettant de décrire l'assimilation photosynthétique des plantes sous ombrage fluctuant ;
- Modèles de comportement hydrique :
 - Décrivant l'eau de la racine à l'évapotranspiration sous ombrage fluctuant
 - Modélisant l'écoulement de la pluie sur les panneaux et dans le sol
- Prévisions météorologiques et capteurs in situ développés pour la prévision de température / ensoleillement / hygrométrie ;
- Modèle d'optimisation du positionnement des panneaux permettant de calculer la trajectoire optimale des panneaux au cours de l'heure et de la journée.

2.3.2 Une structure adaptée aux exploitations arboricoles

2.3.2.1 Une durée d'exploitation calée sur la durée de vie des cultures

La durée de vie prévisionnelle d'un verger est de 15 à 20 ans. La durée contractuelle de l'implantation de la structure agrivoltaïque étant de 20 ans, cela correspondra à un cycle d'exploitation.

2.3.2.2 Une structure adaptée aux exigences du monde agricole et de l'agriculteur partenaire

La conception de la structure agrivoltaïque dynamique a été pensée selon les **exigences propres au monde agricole** :



L'association d'une structure et d'un système de trackers optimisé offre de nombreux avantages pour l'agriculteur :

- En hauteur : 4 à 5 mètres pour permettre le **passage d'engins agricoles et éviter le confinement des masses d'air** ;
- En largeur (orientation est-ouest) : écartement des poteaux pensés de manière à conserver les **écartements « standards »** des rangs de plantation et utiliser la structure pour palisser les arbres.

De plus, le système d'inclinaison des panneaux (« tracker ») a été conçu pour permettre une **quasi-verticalité des panneaux** ce qui évite les dégâts sur la culture et les sols qui pourraient être causés par le ruissellement de la pluie sur les panneaux. Grâce à ce système, l'ombrage journalier peut être inférieur à 5% lorsque les besoins physiologiques de la plante le réclament.

Pendant la conception du projet, **l'implantation de la structure agrivoltaïque est réfléchie conjointement avec l'exploitant agricole** de manière à :

- Conserver une densité de plants à l'hectare similaire aux densités de référence de la culture visée ;
- Permettre de préserver l'ensemble de l'itinéraire technique.

2.3.2.3 Un système réversible

Le producteur d'électricité s'engage à démonter à ses frais l'installation (cout provisionné dans le cout initial du projet) **au bout des 20 ans d'exploitation**. Le site sera remis en état sans aucune dégradation. L'exploitant agricole a la possibilité, s'il le souhaite, de garder la structure.

Le système est implanté grâce à une **technologie de pieux battus en acier**, qui présente plusieurs avantages

- Absence de béton donc d'imperméabilisation des sols ;
- Occupation du sol minime (pieux « en H » - maximum 20cm x 20cm) équivalente à celle d'un poteau de palissage ;
- Facilité de démantèlement en fin d'exploitation (les pieux sont intégralement retirés) ;
- Aucune pollution des sols.

Le système est conçu pour que :

- La structure soit entièrement **démontable** et facilement recyclée (composée à 95% d'acier) ;
- Les panneaux soient recyclables (via la filière PV cycle) et présentant une durabilité accrue à l'environnement agronomique (résistants aux traitements phytosanitaires) ;
- Les ancrages de la structure en pieux battus (en acier) puissent être **entièrement retirés** ;
- La remise en état et la poursuite de l'exploitation agricole sur la parcelle soient rapides après la phase de démontage de la structure.

Sur l'ensemble des projets, **Sun'Agri impose contractuellement au producteur d'électricité le démantèlement complet de la structure et la remise en état du site au bout de 20 ans, à ses frais (provisionné dès la conception du projet).**

2.3.3 Qualification agronomique des projets Sun'Agri

Outre les aspects liés à la configuration de la parcelle et la compatibilité avec les documents d'urbanisme, les projets retenus par Sun'Agri doivent avant tout respecter des critères n'opérant pas de compromis avec la production agricole :

- Les projets Sun'Agri doivent **répondre à un réel besoin d'adaptation des cultures aux conséquences du dérèglement climatique** (stress hydrique et hydrique élevé et croissant, vulnérabilité aux épisodes de gel et de grêle, etc.) ;
- **Les parcelles de projet concernent des plantations nouvelles ou à renouveler** (fin de vie des plants) afin de garantir une possibilité d'accès lors de la phase travaux sans dégrader la production agricole ;
- **Aucun loyer n'est versé à l'agriculteur** : la structure agrivoltaïque est un outil au bénéfice de l'exploitation agricole.

Le référent agronomique du projet se rend sur place pour rencontrer l'exploitant et prendre connaissance du projet agrivoltaïque. Lors de cet entretien, **une qualification complète est faite sur le projet**, abordant tous les éléments nécessaires à la constitution du dossier de l'appel d'offres et pour le montage du projet dans son ensemble. On retrouve les différents thèmes abordés :

- Caractéristiques générales du projet : dimensions, cultures, motivations pour le projet ;
- Besoins agronomiques : protection climatique, besoin en ombre/lumière des cultures concernées ;
- Budget partiel de l'exploitation : coûts d'implantation, d'arrachage, des travaux mécanisés/manuels, charges d'irrigation, d'assurance, emprunt ;
- Projet commercial : débouchés, valorisation (SIQO, label, appellation).

Ces informations permettent par la suite de proposer un projet complet au client : une stratégie de pilotage adaptée à ses cultures et besoins, une structure sur mesure pour répondre aux problématiques (avec d'éventuels produits complémentaires intégrés : filets, bâches, systèmes d'irrigation) ainsi qu'un business plan économiquement viable sur les 20 ans du projet.

3 Projet agricole du Lycée Agricole Louis Giraud de Carpentras

3.1 Présentation de l'exploitation agricole

L'exploitation du Lycée Agricole « **Domaine Louis Giraud** » s'étend sur 38ha de surface agricole utile (SAU) sur lesquels sont plantés des raisins de cuve (AOP Ventoux), des raisins de table, des pommiers, des cerisiers, des abricotiers, de la grande culture et de la pépinière viticole.

Ce domaine est entièrement équipé de matériel agricole récent qui permet aux apprenants de se former et d'acquérir les gestes professionnels au travers d'activités concrètes et de stages.

C'est un **support pédagogique privilégié** sur lequel s'appuie également des partenaires comme la **Chambre d'Agriculture du Vaucluse ou le Domaine expérimental de La Tapy**.

Une partie de la production est vendue directement en local, à la boutique Louis Giraud située sur le Campus.

L'exploitation est certifiée :

- Agriculture raisonnée depuis 2008 ;
- Agriculture biologique et en conversion pour les pommes ;
- Haute Valeur Environnementale Niveau 3.

Elle mène également des actions en faveur de la biodiversité en participant au réseau national « Observatoire Agricole de la Biodiversité ».

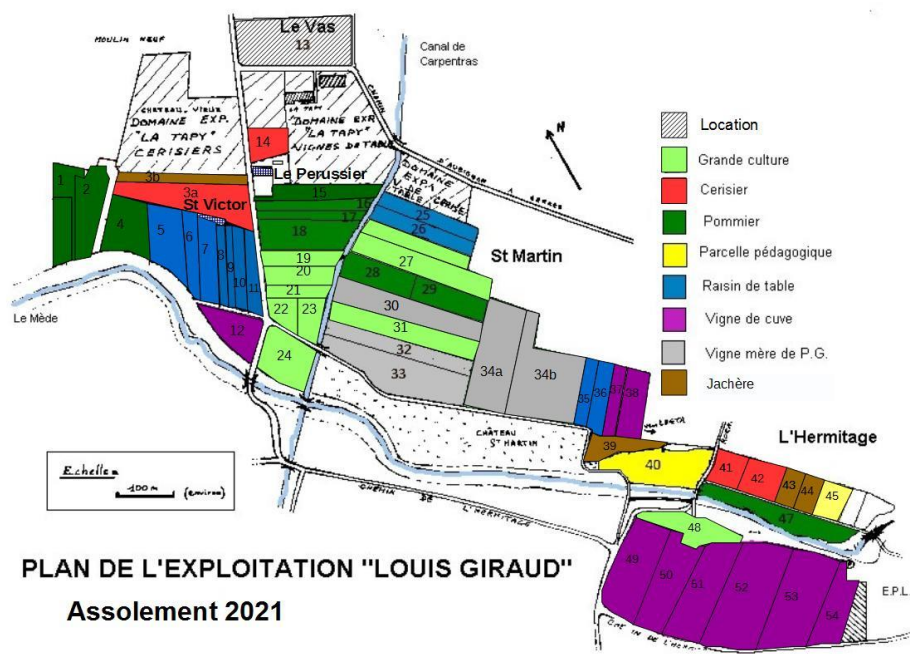


Figure 4. Plan d'assolement 2021 du Lycée Agricole Louis Giraud

3.2 Intérêt agronomique du projet

3.2.1 Un projet répondant à des problématiques agro-climatiques ³

Le cerisier est une culture considérée comme étant très sensible au stress climatique, et de la même façon au changement climatique. Cette sensibilité, sans symptôme exact, se traduit par des troubles sur le développement général de plante. En réponse à ces troubles, la filière de production européenne commence notamment à se déplacer de plus en plus au Nord, vers la Belgique ou encore l'Angleterre.

S'ajoutent à ce stress généralisé, des aléas climatiques de plus en plus intenses et redondants, qui impactent désormais chaque campagne de production.

- Des gelées printanières désastreuses pour les productions

Les vergers font de plus en plus régulièrement face à des gelées printanières pouvant être désastreuses pour la production (jusqu'à 70% de pertes du volume total). Que ce soit sur les bourgeons et les fleurs, ou encore plus sensibles sur les très jeunes fruits, le gel printanier devient de plus en plus récurrent avec le changement climatique. En effet, la sortie de l'hiver se fait dans des températures de plus en plus douces et de plus en plus tôt, avançant le débourrement et la floraison et rendant les arbres très sensibles à une vague de froid printanier.

En prévention de gelées, les arboriculteurs installent des bougies nocturnes dans les vergers dans le but d'augmenter d'un ou deux degrés Celsius la température de l'air proche de l'arbre. Cette technique est très onéreuse, chronophage et souvent peu efficace.

➔ *Les stratégies de pilotage incluent une protection face au grand froid : les panneaux du dispositif AVD s'orientent horizontalement, parallèles au sol, couvrant ainsi de manière maximale la surface projetée au sol lorsque les températures deviennent trop faibles pour le bien-être de la culture. La chaleur du sol emmagasinée la journée peut ainsi mieux être conservée la nuit jusqu'à l'aube. Ces quelques degrés*

³ Le projet répond à un besoin exprimé, critère obligatoire du label

supplémentaires sous le dispositif par rapport à la zone témoin sont particulièrement bénéfiques lorsque la température approche 0°C, afin d'éviter le gel, et protéger notamment les organes les plus sensibles de l'arbre comme les bourgeons et les fleurs.

- ➔ Les gelées printanières pourront être maîtrisées grâce à **l'inertie thermique du système agrivoltaïque**. En positionnant les panneaux photovoltaïques horizontalement, les travaux de Sun'Agri ont montré que la température nocturne sous le dispositif est en moyenne supérieure de 3°C par rapport à la température hors panneaux.

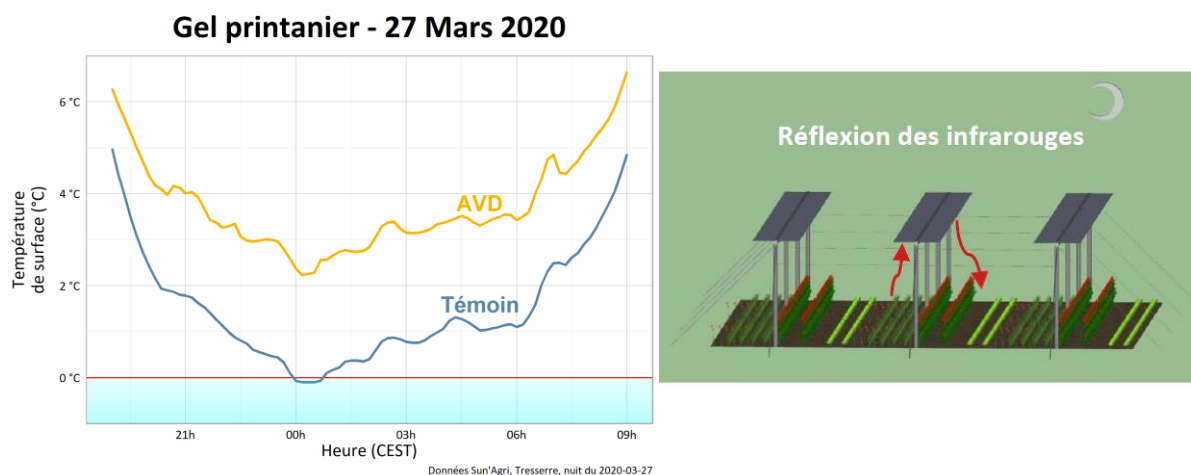


Figure 5. Effet du système AVD sur la température nocturne, en cas de mise des panneaux à plat

Cette différence de température suffirait pour protéger le verger. La solution agrivoltaïque se substituerait ainsi aux systèmes actuels (bougies, aspersion, hélicoptères, etc.) coûteux, polluants, chronophages et souvent inefficaces.

- Des fortes pluies et des épisodes de grêle faisant éclater les fruits

La pluie est l'un des enjeux majeurs de la production de cerise aujourd'hui. A l'origine de très fortes pertes, ses impacts sont nombreux : éclatement, engorgement, mauvaise conservation des fruits, prolifération de la drosophile ou encore arrêt prématuré des récoltes.

- ➔ Le système agrivoltaïque en arboriculture est placé au-dessus de chaque rangée des arbres cultivés : il protège en partie de la pluie, et son pilotage comprend des modules de gestion de la pluie optimisant sa répartition au champ (ELAMRI Yassin, 2017 cf §4.2.3.4).

Le risque de grêle augmente ces dernières années et protéger les vergers devient une condition *sine qua non* pour ne pas exposer l'exploitation à des risques trop importants. En moyenne, les vergers de la Vallée du Rhône subissent près d'un épisode de grêle par an, impactant parfois 100% de la production, avec des conséquences négatives sur le végétal.

- ➔ La structure du système agrivoltaïque permet la mise en place de filets de protection paragrêles à moindre coûts en servant de support au système de protection. Ainsi, l'agrivoltaïsme apporte une solution compétitive pour les arboriculteurs souhaitant adopter de tels systèmes. L'automatisation du déploiement de ces filets est par ailleurs développée dans le cadre du programme Sun'Agri 3, profitant de la présence sur site d'électricité renouvelable et d'un service de prévision météorologique.

- La problématique de la mouche *Drosophila Suzukii*

Cette mouche rend vulnérable les cerisiers de la vallée du Rhône. Elle prolifère par temps couvert et humide. Le nombre de vergers contaminés est croissant ces dernières années, fragilisant la filière de production : les cerises mûres ne peuvent être ramassées car impropres à la consommation. L'absence de traitement alternatif au diméthoate (interdit en 2016) pousse les arboriculteurs à trouver de nouvelles solutions.

L'utilisation des **filets de protection** pour les vergers semble désormais indispensable pour espérer continuer de cultiver sereinement dans les prochaines années.

➔ *La structure agrivoltaïque du projet de Carpentras servira de support à des filets anti-insectes.*

- Des périodes d'ensoleillement excessifs entraînant brûlures sur fruits et forte consommation en eau

Aujourd'hui, l'Exploitation du Domaine Louis Giraud est contrainte de trouver des solutions alternatives pour protéger son verger des **chaleurs excessives** de plus en plus fréquentes. La sécheresse et les excès de chaleur s'accroissent chaque année, et sont eux aussi responsables de nombreuses pertes directes sur la production, et d'autres à plus long terme sur les arbres. L'effet le plus direct étant le dessèchement des baies et les coups de soleil sur fruits. On observe également de plus en plus de conséquences sur la fructification de l'année suivante (augmentation des fruits doubles, et donc augmentation des déchets) voire de mortalité sur jeunes arbres qui ne se remettent pas après une vague de chaleur trop intense.

L'ensoleillement excessif peut également entraîner des **brûlures** directes sur les branches exposées qui ont également des effets sur les volumes de production.

➔ *En apportant de l'ombrage de manière intelligente via un système agrivoltaïque dynamique, on pourrait empêcher ce phénomène ainsi que réduire le taux d'évapotranspiration des arbres fruitiers, comme les travaux de Sun'Agri l'ont démontré. En baissant l'état de **stress hydrique de son verger**, cette solution permettra à l'Exploitation du Domaine Louis Giraud d'obtenir des **rendements lissés d'une année sur l'autre** mais également de **réduire la consommation en eau des cerisiers**. Cet effet découle de la régulation du microclimat à l'ombre des panneaux, offrant des conditions hydriques, thermiques et radiatives plus confortables aux plantes. Ainsi on réduit la transpiration, l'irrigation et la consommation en eau. Les modalités ombrées montrent également une réserve eau supérieure (La Pugère, G-EAU, 2019 & 2020). Il a également été mesuré une économie d'eau sous AVD avec des apports en irrigation jusqu'à 30% inférieurs par rapport à la zone témoin (La Pugère, G-EAU, 2019).*

A toutes ces problématiques, l'**agrivoltaïsme dynamique se veut être une solution de protection et de gestion du microclimat pour les cerisiers**. En apportant une protection physique directe contre la pluie, en régulant les températures extrêmes ou encore en garantissant aux plantes un confort hydrique qu'elles n'auraient pas en plein champ, cette technologie permet de répondre aux problématiques que la filière doit affronter aujourd'hui.

Le Domaine Louis Giraud a manifesté un vif intérêt pour la solution agrivoltaïque Sun'Agri en vue de résoudre l'ensemble de ces problématiques, et d'y associer une démarche tournée vers l'innovation.

3.2.2 Objectifs du projet pour l'exploitation

- **Redynamiser la production de cerises en agriculture biologique** grâce au développement de solutions innovantes face aux contraintes climatiques et aux maladies ;
- **Sécuriser les récoltes** en optimisant les performances du verger : produire mieux et plus ;
- **Faire évoluer et moderniser les pratiques agricoles en testant des systèmes synergiques innovants :**

- Système d'accroche de filets anti-insectes
- Système de palissage sur les poteaux de la structure
- Intégration de l'irrigation ;
- **Réduire la consommation de la ressource et les besoins en eau ;**
- Apporter une nouvelle **dimension pédagogique** aux apprenants du Lycée, en les impliquant dans la conception et le suivi du projet.

3.2.3 La culture de cerisiers sous structure agrivoltaïque

Grâce à son dispositif de recherche de La Pugère à Mallemort (13), Sun'Agri a prouvé l'efficacité du système sur la culture de pommier, plante modèle de la famille des Rosacées auquel appartient également le cerisier. Une synthèse de ces résultats, validés par l'INRAE, est présentée en partie 5 de ce document. **Les modèles de croissance (fonctionnement et stades phénologiques) étant similaires, ces résultats sont applicables aux cerisiers, la partie expérimentale de l'intérêt agronomique n'étant pas à réitérer.**

En revanche, dans une logique d'amélioration constante du pilotage, **un nouveau dispositif de recherche en cerisiers** sera mis en place à l'été 2021 sur la commune de Loriol-sur-Drôme. Il s'agira d'une structure sur une petite surface (~ 1 500m²) posée sur cerisiers existants. Le suivi agronomique sera opéré par la Chambre d'Agriculture de la Drôme ainsi que le groupe coopératif Oxyane.

Les objectifs du dispositif sont les suivants :

- 1) **Récolter des données** expérimentales sur la zone équipée et sur la zone témoin (météo, climat, stress de la plante) ;
- 2) **A partir du modèle de croissance générique en arboriculture** développé depuis 2017, il s'agit d'**adapter le plus finement possible le pilotage** à l'espèce et au microclimat concerné, ici le cerisier ;
- 3) **Utiliser les résultats pour optimiser directement le pilotage des projets de grande échelle** → dont le projet « Carpentras » dont il est question ici.

Le dispositif ayant vocation à être construit à l'été 2021, **les premiers résultats seront obtenus dès 2022**. La construction du projet de Carpentras étant prévue prévisionnellement pour 2022 et les plantations en 2023, **les résultats du dispositif en cerisiers serviront directement au calibrage du pilotage du projet grande échelle.**

3.3 Choix de la parcelle de projet

La zone de projet correspond aux parcelles **AE 162/163/164/165/233**, propriété de la Région Sud.

Le nord de la zone est concerné par une culture de pommiers, qui sera maintenue est n'est pas concernée par le projet agrivoltaïque.

Le sud de la zone accueillait quelques rangs de vignes en fin de vie et une grande culture. Le Domaine Louis Giraud souhaitait y planter un verger complet.

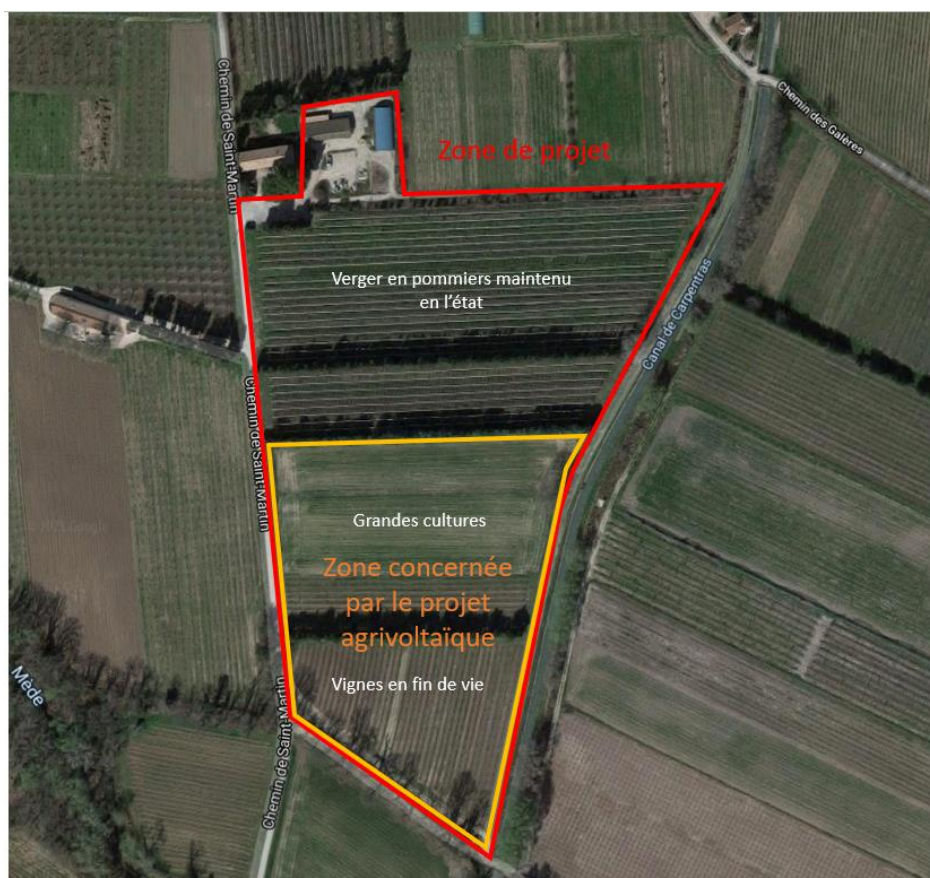


Figure 6. Vue aérienne de la zone de projet (Source : Gmaps)

NB : pendant la phase de conception du projet, en attendant l'obtention des autorisations, les vignes ont été arrachées, la parcelle labourée et semée en sorgho fourrager en mars 2021. La haie centrale a fait l'objet d'une demande de coupe auprès de la DDT84 avec compensation selon un ratio 1ml pour 1ml. La demande a été acceptée. Le bois a fait l'objet d'une valorisation, détaillée dans le diagnostic écologique en Annexe 10.

Cette parcelle étant la seule du Domaine répondant parfaitement aux critères de sélection auxquels se tient Sun'Agri :

- **Culture nouvelle ou à renouveler**, ce qui permettra l'accès au terrain en phase chantier sans dégrader la production agricole ;
- **Projet de culture ayant un besoin de protection suffisamment élevé pour justifier d'un réel intérêt économique ;**
- **Espace disponible pour la mise en place d'une zone témoin.**

De plus, les caractéristiques techniques (azimut, orientation, topographie) sont compatibles avec un projet agrivoltaïque.

3.4 Description du projet agricole

Le projet consiste en une **structure agrivoltaïque de 1,25ha ouverte positionnée sur une parcelle nouvellement plantée en cerisiers ainsi qu'une zone témoin sans panneaux de 0,32ha, qui sera menée en conditions identiques, répondant aux exigences du label, et qui servira pour la comparaison agronomique.**

3.4.1 Cultures

Espèces et variétés agricoles

Plusieurs variétés de bouches seront testées. Leur sélection est encore en cours dans le cadre du Comité Technique entre le Domaine Louis Giraud et la Chambre d'Agriculture.

Les variétés pressenties pour l'instant sont les suivantes :

- **Babelle**, variété innovante pouvant remplacer la variété Belge ;
- **Nimba** ;
- **Giant Red** ;

Ces variétés sont emblématiques du bassin de production du Vaucluse, victimes de nombreux aléas climatiques (gel, grêle, fortes pluies).

Production annuelle estimée

En installant un système agrivoltaïque dynamique, le Domaine Louis Giraud espère obtenir un rendement sous panneaux photovoltaïques de 22,5 t/ha en cerises.

L'objectif est également d'homogénéiser les rendements d'une année sur l'autre, en évitant les épisodes climatiques diminuant les volumes de production.

Valorisation de la production

Ce verger agrivoltaïque produira des **fruits bruts de cueille** destinés à la vente. La production sera valorisée en **circuits courts** et SICA, notamment par une vente à la boutique du Campus Louis Giraud (commercialisant les productions de 28 producteurs).

3.4.2 Mode de culture

Certifications

Le Domaine Louis Giraud mène des démarches pour pouvoir conduire la parcelle en **Agriculture Biologique** (dossier en réalisation).

L'exploitation est certifiée **HVE** (Haute Valeur Environnementale).

Irrigation

Une irrigation de type **micro-aspersion** sera mise en place. Ce système sera combiné à la structure agrivoltaïque et permettra d'apporter la juste quantité d'eau nécessaire à la plante, dans une logique de réduction de la consommation de la ressource (Cf §4.4 pour le détail de la consommation en eau).

3.4.3 Géométrie de culture

Les rangs d'arbre seront plantés :

- Selon un **axe nord-sud** ;
- Pour une conduite **d'arbres palissés** (sur un axe) ;
- Avec pour distance de plantation (identiques aux vergers classiques) : 4,5m d'inter-rangs et 1,5m d'inter-pieds (voir schéma ci-dessous).



Figure 6. Schéma de la structure – Entraxe Est-Ouest

La structure servira de support pour :

- Les **fils de palissage** : ils seront directement intégrés dans la structure et permettent une économie sur l'achat des poteaux en bois classiques ;
- Les **tuyaux d'irrigation** ;
- Les **filets anti-insectes** , qui empêcheront l'accès aux ravageurs des cultures.

3.4.4 Dimension pédagogique du projet

Le cahier des charges de l'Appel à Manifestation d'Intérêt insistait particulièrement sur la dimension pédagogique du projet.

Les apprenants du Lycée ont pu être associés dès la phase de développement du projet avec un travail de réflexion sur le choix de l'essence de la haie replantée ainsi que lors d'une journée de valorisation du bois lorsque cette dernière a été coupée.

Les éléments suivants seront mis en place une fois le projet construit :

- **Installation de panneaux explicatifs et pédagogiques** devant le dispositif ;
- **Organisation de journées professionnelles / Visites portes ouvertes** : rencontre de professionnels des filières agricoles, photovoltaïques et de développement des territoires, mises en relation avec d'autres lycées agricoles français et étrangers ;
- **Utilisation du dispositif comme support pédagogique** aux apprenants de l'Etablissement.

3.5 Synergie entre système agrivoltaïque et production agricole du projet

3.5.1 Synergie validée par l'Appel d'offre Innovation du Ministère de la transition écologique

Ce projet agrivoltaïque a **été lauréat à l'appel d'offres Innovation 4.2 de la Commission de Régulation de l'Energie en avril 2020** - Famille 2 « Installations agrivoltaïques innovantes ». Le cahier des charges indique que sont considérés comme agrivoltaïques des installations « permettant de coupler une production photovoltaïque secondaire à une production agricole principale en permettant une **synergie** de fonctionnement démontrable ».

Ainsi, les critères de sélection des projets lauréats se basent sur deux critères que sont l'innovation et la synergie avec la production agricole. Le dossier de candidature, examiné et noté par l'ADEME, doit comprendre entre autres les éléments suivants :

- Un mémoire technique sur la synergie avec l'usage agricole (Pièce n°5) ;
- Un rapport de contribution à l'innovation (Pièce n°4) – Présentation de l'innovation Sun'Agri ;

La Pièce 5 présente notamment :

- Les problématiques agro-climatiques auxquels l'exploitation est confrontée ;
- Les objectifs attendus du projet agrivoltaïque (agronomiques et économiques) ;
- Le projet agricole défini en concertation entre l'agriculteur et les agronomes de Sun'Agri : cultures, mode de culture envisagé ;
- Une note d'expert reconnu (laboratoire de recherche, expert agronome, etc) justifiant de façon précise et argumentée que le projet présente une vocation de production agricole viable et pérenne ;
- La convention de suivi agricole : l'ADEME attend des lauréats qu'ils transmettent annuellement les données issues du suivi agronomique

En désignant lauréat le projet agrivoltaïque de Carpentras porté par Sun'Agri et le Domaine Louis Giraud, le Ministère de la Transition écologique, à travers la CRE et l'ADEME, a approuvé la synergie agricole du projet avec priorisation de la culture.

3.5.2 Acteurs et rôles respectifs

Le projet est porté par plusieurs acteurs indépendants motivés à promouvoir et développer l'agrivoltaïsme dynamique.

3.5.2.1 L'exploitant agricole : implication dans le projet et prise en compte des intérêts

Le Domaine Louis Giraud cultivera les terres sur lesquelles sera implantée la structure tout au long de sa durée de vie et bénéficiera d'un outil de protection de ses cultures.

Le Domaine Louis Giraud est le premier intéressé au projet dans toutes ses composantes, il est au cœur de la conception du projet : son itinéraire technique, ses objectifs et ses priorités ont été la base de la conception de la géométrie du projet.

3.5.2.2 La Région Sud

Propriétaire des parcelles, la Région Sud sera **signataire des accords fonciers** et veillera à la bonne application du cahier des charges de l'Appel à Manifestation d'Intérêt.

3.5.2.3 Le producteur d'électricité

Sun'Agri développe, fait construire et pilote le projet pour le compte **d'un tiers investisseur qui sera le producteur d'électricité**. **Sun'Agri ne se positionne pas comme investisseur et producteur d'électricité afin de garantir**

l'absence de conflit d'intérêt et d'assurer la priorité et la performance de la production agricole sur la production électrique.

En l'espèce, l'investisseur principal sera la plateforme d'investissement Râcines créée par RGreen Invest, société française fondée en 2010 afin de permettre aux investisseurs institutionnels d'orienter leurs capitaux vers le financement de projets liés à la transition énergétique, gérant à ce jour 1600 MW d'actifs et ayant soutenu plus de 500 projets en Europe.

Cette nouvelle plateforme entièrement dédiée au financement de projets agrivoltaïques a pour ambition de devenir la première plateforme d'investissement dans des projets d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques. Elle fédérera à ses côtés des banques et investisseurs en capital (tels que BPI France, le Crédit Agricole, la Banque Européenne d'Investissement) qui rejoindront d'autres investisseurs déjà identifiés par Sun'Agri (tels que l'Agence Régionale Energie Climat (AREC) Occitanie avec laquelle Sun'Agri a signé en Octobre 2019 un accord de co-investissement dans les projets occitans).

Râcines s'engage aux côtés de Sun'Agri dans les standards de la charte « [Cultivons Demain !](#) », première initiative française de soutien à l'adaptation de l'agriculture face aux changements climatiques, en co-investissant au côté des agriculteurs qui le souhaitent et en structurant leur financement.

Les producteurs électriques s'engagent suivant la charte Sun'agri

- ▶ Pas le loyer pour l'agriculteur
L'agriculteur ne touche pas de loyer. Le système agrivoltaïque lui permet d'augmenter le revenu de son exploitation à travers une augmentation qualitative et/ou quantitative de sa production agricole
- ▶ Priorisation du pilotage des panneaux en fonction des besoins des cultures
Il est convenu avec le producteur électrique via un contrat de service avec Sun'Agri que le pilotage des panneaux est fait en fonction des besoins des plantes.
- ▶ Validation des cultures par Sun'Agri
Sun'Agri valide uniquement les cultures qui sont adaptées au système agrivoltaïque. Certaines cultures ne sont pas compatibles (besoin de lumière trop important, ..)
- ▶ Proposer à l'agriculteur d'investir dans l'outil agrivoltaïque
Dans la mesure du possible, le producteur électrique propose à l'agriculteur d'investir dans le système afin qu'il puisse bénéficier également des revenus de la vente d'électricité.



3.5.2.4 Le pilote de la centrale AVD : Sun'Agri

En phase de développement du projet, Sun'Agri se charge de la conception du projet en co-construction avec l'agriculteur et se charge de concevoir les dossiers de demandes d'autorisation d'urbanisme.

En phase construction, Sun'Agri intervient comme assistant à la maîtrise d'ouvrage.

Enfin, **Sun'Agri** sera sur toute la durée d'exploitation du projet, à **savoir 20 ans**, le pilote indépendant du système agrivoltaïque et particulièrement de l'inclinaison des panneaux en fonction des besoins de la plante, à travers les algorithmes propriétaires développés dans le programme Sun'Agri 3.

Sun'Agri est l'interlocuteur privilégié de l'agriculteur en phase exploitation. Une application, MySunAgri®, sera mise à disposition du Domaine et sera notamment paramétrée pour l'informer des données agro-climatiques et lui fournir des alertes en temps réel.

3.5.3 Les organismes de suivi agronomiques et scientifiques

Comme pour l'ensemble des projets agrivoltaïques Sun'Agri, le projet de Carpentras s'inscrit dans un contexte scientifique majeur rassemblant des organismes professionnels et scientifiques aux compétences agronomiques et agricoles, qui interviendront dans le suivi technique de ce projet.

Tout d'abord, la **Chambre d'Agriculture CA84** sera responsable du suivi agronomique du projet selon un protocole de suivi agronomique précis. Cela est cadré dans une convention de suivi d'une durée de 5 ans liant Sun'Agri et l'organisme. Celle-ci a été signée le 08/09/2019 .

Sa contribution sera essentielle :

- a) au suivi agronomique des projets grâce à l'expertise terrain des techniciens et des conseillers :
 - i. Observations des dates d'apparition des stades clés de développement des plantes
 - ii. Mesures régulières : stress hydrique, stress thermique, stress radiatif
 - iii. Suivi quantitatif et qualitatif des récoltes
- b) à l'ancrage territorial des systèmes agrivoltaïques dans les filières de production visées,
- c) à la diffusion de la technologie par le biais d'un acteur phare du secteur agricole.

Différents partenaires du programme Sun'Agri 3 interviendront également, en parallèle des travaux réalisés sur les dispositifs expérimentaux, dans le suivi du système AVD conjointement au suivi de la CA84.

Sun'Agri :

- définit le cahier des charges du suivi agronomique, en partenariat avec les partenaires agronomes de Sun'Agri 3 (INRAE, iTK) et l'organisme sous-traitant ;
- coordonne le suivi agronomique et récupère / stocke les données de la parcelle ;
- réalise un suivi socio-économique précis pour chaque projet. A partir des modèles d'affaires existants, le travail consiste à mesurer la valeur ajoutée d'un système AVD pour les productions agricoles des démonstrateurs. Ce suivi sera réalisé sur des productions différentes (viticulture, arboriculture et maraîchage sous abris) et selon des profils d'exploitation distincts. En intégrant les bénéfices additionnels identifiés dans ce contexte nouveau, les modèles d'affaires de ces projets pourront être optimisés ;
- transpose les stratégies de croissance dans le pilotage du système agrivoltaïque dynamique en implantant dans le système d'information du projet des codes développés, en intégrant la gestion des aléas et en tenant compte des résultats du suivi agronomique afin d'adapter la performance du pilotage.

L'INRAE (UE Pech Rouge ; UMR G-Eau) contribuent au suivi agronomique exécuté par la CA84 et le Lycée en comparant les résultats à ceux du dispositif expérimental arboricole de La Pugère. Leurs compétences agronomiques permettront de comparer les meilleures consignes de pilotage des panneaux en fonction des pratiques testées au cours du projet.

L'UMR MISTEA (INRAE) est en charge de mettre en place et d'organiser le stockage des données (à l'échelle du téraoctet) sur les références technico-économiques agrivoltaïques de l'ensemble des dispositifs expérimentaux, des projets du programme Sun'Agri 3 et des projets agrivoltaïques dont fait partie le projet CARPENTRAS, et de s'assurer du bon accès aux données auprès des différents partenaires.

La société iTK est chargée des activités de modélisation agronomique du consortium Sun'Agri 3. Elle accompagne de près le suivi agronomique pratiqué par les chambres d'agriculture et les laboratoires de recherche du programme Sun'Agri 3, afin d'alimenter en retour ses modèles agronomiques par les données issues des cultures sous système agrivoltaïque. Ils seront ainsi améliorés de façon continue et seront testés en conditions réelles.

Un descriptif des éléments contractuels reliant les différentes parties est présenté en annexe du dossier.

3.6 Intérêt économique du projet pour l'exploitation

Dans le cadre du cahier des charges de l'appel d'offres innovation figure l'obligation de présenter un **modèle d'affaires prévisionnel visant à démontrer l'apport de la structure sur le chiffre d'affaires de l'exploitation.**

Méthodologie : La modélisation économique de l'exploitation agricole consiste dans le calcul de la différence entre le résultat du budget partiel (charges et produits concernés par le projet agrivoltaïque) avec système agrivoltaïque et celui sans, sur la durée du projet. Cela revient à comparer les résultats de la parcelle agrivoltaïque avec les résultats de la zone témoin.

Le gain économique que l'on cherche à identifier dépend uniquement de l'amélioration des performances de l'exploitation grâce au système d'agrivoltaïsme.

1. Visite à la parcelle du futur projet, échanges avec l'agriculteur lors d'un entretien de qualification agronomique pour récupérer ses données technico-économiques ;
2. Simulation de budgets partiels sur les 20 ans de l'implantation du système agrivoltaïque ;
3. Mise à jour de cette évaluation pendant la phase d'exploitation grâce à un suivi socio-économique.

Plusieurs hypothèses ont été formulées, appliquées au **contexte de production agricole du domaine Louis Giraud :**

- **Surface de cerises plantée sous dispositif agrivoltaïque dynamique = 1,2 ha**
- **Augmentation des coûts de travaux mécanisés :** +20% en moyenne liés à la présence de la structure au verger (Références technico-économiques, Vaucluse 2012).
- **Diminution de la consommation en eau de la plante :** -20% de coût d'irrigation (Moyenne observées sur nos dispositifs expérimentaux - Expérimentations Yassin Elamri et Hélène Marrou). L'ombrage permettrait de diminuer le phénomène d'évapotranspiration des plantes : en limitant leurs pertes hydriques, elles consomment moins d'eau.
- **Suppression du coût de palissage :** ne nécessiterait plus l'installation de poteaux de palissage puisque les poteaux du dispositif AVD pourront être utilisés pour palisser les arbres.
- **Suppression du coût d'installation des poteaux de filets de protection :** les poteaux du dispositif AVD pourront être utilisés comme support pour l'installation de filets.
- **Augmentation du coût de plantation :** les rangées d'arbres avec les poteaux du dispositif AVD seront plus difficiles à planter : mécanisation impossible, soit +50%.
- **Simulation d'épisodes climatiques :**
 - o **Des épisodes de sécheresse, gel et pluie tous les ans :** les pertes totales sont estimées à 50% chaque année sur ces 3 aléas climatiques. Grâce à la structure AVD on réduit ces pertes à 10% : lissage des températures, protection contre la pluie.
 - o **4 épisodes de grêle sur 20 ans en N+5, N+10, N+15, N+20 :** 0% de perte sur la totalité de la production ces années-là grâce aux filets paragrêle installés.
- **Augmentation des charges :**
 - o à des temps de travaux plus longs sous verger agrivoltaïque, soit 6% de l'augmentation des charges ;
 - o aux intérêts d'emprunt liés aux plantations, soit 13% de l'augmentation des charges ;
 - o aux amortissements liés aux plantations, soit 81% de l'augmentation des charges.
- **Augmentation des produits :**
 - o maintien des rendements lors d'épisodes de canicule, de pluies violentes et de gel, soit 22% de l'augmentation du chiffre d'affaires sur 20 ans ;
 - o économies réalisées sur les structures soit 78% de gain sur charges

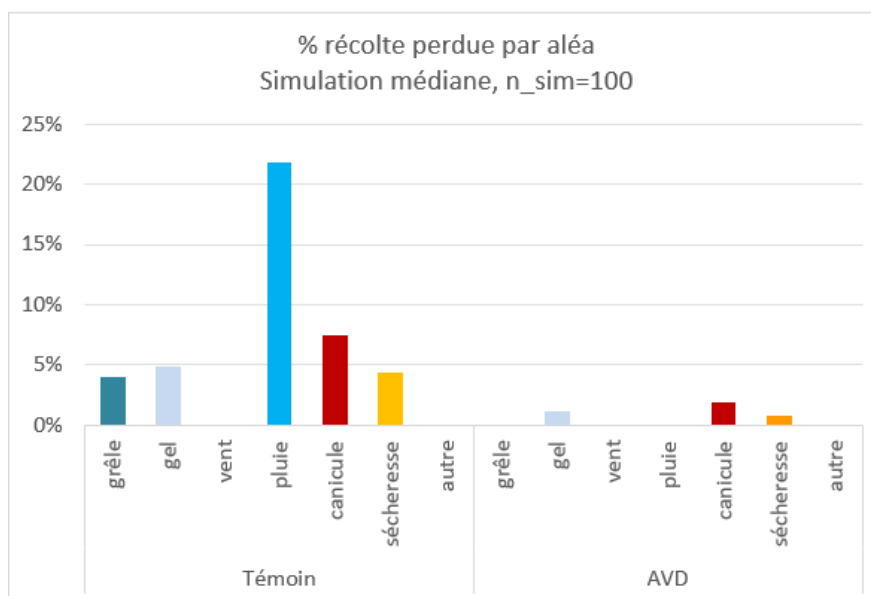


Figure 8 : Estimation du pourcentage de récolte perdue en fonction de l'aléa – sur la zone témoin et sous la structure AVD

Les simulations issues de ces hypothèses ont permis d'estimer l'évolution du gain net cumulé sur 20 ans comme illustré sur le graphique ci-dessous :

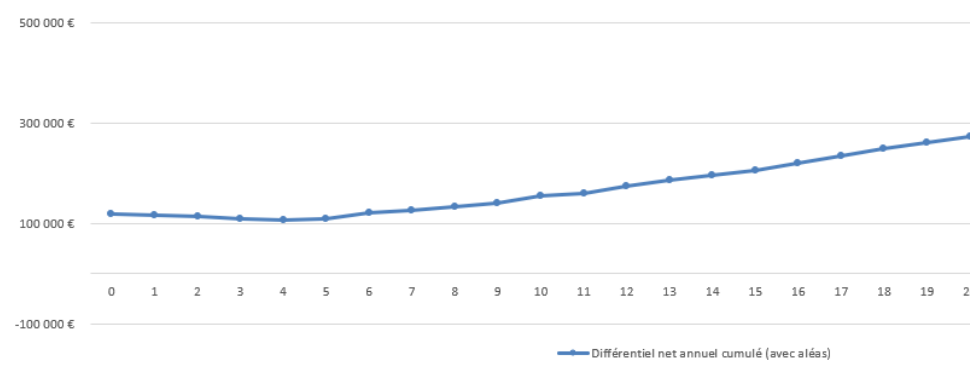


Figure 9 : Evolution du gain net cumulé sur 20 ans en situation agrivoltaïque dynamique pour le Lycée Agricole Louis Giraud

En prenant en compte les charges impactées (cf. consommation en eau, coût des temps de travaux mécanisés, protection du verger...) et les gains réalisés récapitulés dans le tableau ci-dessus, le système agrivoltaïque dynamique apporterait **un gain net total sur 20 ans de 297 502€ pour la surface considérée de 1,2 ha. Soit un gain annuel moyen de 14 875€** sur la durée considérée.

Ainsi, **le système agrivoltaïque dynamique apporte un bénéfice net au Lycée Agricole Louis Giraud**, en comparaison à une situation sans système agrivoltaïque dynamique.

3.7 Engagements en phase d'exploitation

Une fois le projet construit, plusieurs engagements permettront d'assurer la pérennité de la vocation agricole primaire du projet :

- **Suivi agronomique** : engagement sur 5 ans et engagement de diffusion des résultats ;
- **Suivi écologique** : engagement sur 3 ans puis une fois tous les 10 ans avec transmission des rapports annuels aux services de la DREAL (Cf §4.3.1.2 et Annexe 10. Diagnostic écologique) ;

- **Une interaction sur le long terme avec l'agriculteur**, à travers des échanges sur site tous les deux mois avec un membre de Sun'Agri et l'établissement d'un dialogue via l'application MySunAgri® (exemple : possibilité donnée à l'agriculteur de positionner les panneaux en position sécurité en cas d'urgence) ;
- **Labellisation du projet par l'AFNOR Certification** : à ce stade l'impact sur la performance agricole sera mesuré pour évaluer le maintien du label.

Pour rappel le projet est labellisé à chaque étape de la vie du projet :

- o Phase développement : évaluation des moyens sur la base d'une évaluation documentaire ;
- o Mise en service et à la mise en culture : audit sur site par l'AFNOR pour valider la mise en œuvre des engagements ;
- o Suivi en exploitation : évaluation documentaire et audit par l'AFNOR sur le site de l'installation, afin de vérifier la pérennité des engagements pris.

SYNTHESE DU PROJET AGRICOLE :

- **Une logique de renouvellement d'un verger** en fin de vie ;
- Une recherche de solution d'adaptation au changement climatique pour la **pérennisation de la filière cerise bio dans la Vallée du Rhône**, aujourd'hui plus que menacée ;
- Une géométrie de la structure et des cultures définies **selon les exigences et contraintes agricoles** du Domaine Louis Giraud ;
- Un **suivi agronomique opéré par la Chambre d'Agriculture du Vaucluse et le Lycée**, qui permettra d'assurer un pilotage adapté aux besoins de la plante dans le temps.

4 Description technique du projet

4.1 Situation

Le projet envisagé est **situé dans une zone agricole** située au nord de la commune de Carpentras (84). Le projet est situé sur le domaine de l'exploitation du Lycée Agricole Louis Giraud, attenant à l'établissement et totalisant une surface de 38ha.

Le paysage agricole est dominé par les cultures de vignes et d'arbres fruitiers.

4.2 Caractéristiques techniques

4.2.1 Implantation

Les parcelles concernées par le projet sont : AE 162/163/164/164. Elles sont accessibles par le chemin rural de Saint-Martin, qui longe les parcelles.

Elles totalisent une surface de 5,3 ha, constituant la zone de projet et comprenant :

- **Une structure agrivoltaïque de 1,25 ha de puissance 1,08 MWc** ;
- **Une zone témoin de 0,32 ha** sans structure agrivoltaïque, nécessaire au suivi agronomique pour comparaison et évaluation des résultats sous ombrage piloté ;
- **Un local technique** combinant poste de livraison et poste de transformation.



Figure 10 : Plan d'implantation simplifié

➔ Cf Plan de masse en Annexe 4

4.2.2 Description de l'installation technique

Le **local technique**, combinant un poste de livraison et un poste de transformation, aura une superficie de 25,9 m² de surface de plancher et sera surélevé de 1,20m par rapport au terrain naturel, afin de respecter les préconisations du PLU de Carpentras et du PPRI du Sud-Ouest Mont Ventoux. Il sera revêtu d'une peinture de façade ton pierre mat, d'un parement en pierre sur sa face visible depuis le Chemin de Saint-Martin et d'un toit en tuiles canal. Du côté de la face visible depuis le Chemin de Saint-Martin, un parement en pierre sera mis en place. Ces aménagements entrent dans le cadre d'une mesure d'intégration paysagère proposé par le bureau d'études paysagistes suite aux échanges avec l'Architecte des Bâtiments de France du Vaucluse. Le local sera accessible directement par le chemin de Saint-Martin.

La structure agrivoltaïque comprendra :

- **Une structure métallique** supportant les panneaux, composée de poteaux type pieux battus d'une hauteur de 4,6 m et de largeur 20cm par 20cm. Cette hauteur est compatible avec le passage d'engins agricoles. Les poteaux seront espacés de 4,5 m sur l'axe est-ouest et de 9 m sur l'axe nord-sud. Cette configuration a été définie en concertation avec le Domaine Louis Giraud, en fonction de ses besoins d'exploitation ;
- **Des rangées panneaux photovoltaïques positionnés sur trackers**, qui pivotent en fonction de la course du soleil. Les trackers sont positionnée sur un axe placé à 40cm au-dessus de la structure métallique, soit à une hauteur de 5m. Les panneaux peuvent pivoter sur un angle de 0 à 90° et la dimension de la structure permet un effacement total ;
Le revêtement des panneaux est en verre anti-réfléchissant de teinte bleu foncé.

Il n'y aura pas de clôture sur le site.

4.2.3 Emprise au sol et impact sur la pluie

4.2.3.1 Emprise au sol

- Structure agrivoltaïque :

L'emprise au sol correspond à la surface des panneaux projetée au sol. Les poteaux de la structure étant situés sous les panneaux, ils ne sont pas intégrés. Ainsi l'emprise au sol de la structure agrivoltaïque est la suivante :

$$\text{Emprise structure AVD} = \text{'nombre de panneaux'} \times \text{'surface de chaque panneau'} = 2584 \times 1,80 = \mathbf{4\,651,2\,m^2}$$

- Local technique :

L'emprise au sol du local technique correspond à sa surface au sol soit :

$$\text{Emprise local technique} = \mathbf{25,9\,m^2}$$

- Emprise au sol totale :

Elle correspond à la somme de l'emprise au sol de la structure AVD et celle du local technique.

L'emprise au sol totale du projet est donc de 4 677,1m².

4.2.3.2 Occupation du sol

L'occupation au sol du système est minimisée afin de gêner le moins possible le passage des engins agricoles.

Les fondations retenues pour la structure sont de type pieux battus « en H » de 20cm de large. Au total, il y aura 346 pieux battus, chacun espacés de 4,5m (est-ouest) et de 9m (nord-sud).

La surface d'occupation au sol du projet est donc de : $(0,20 \times 0,20) \times 346 = 13,84\,m^2$.

Soit un pourcentage d'occupation du sol de : $((0,20 \times 0,20) / (4,5 \times 9)) \times 100 = 0,09\,\%$

L'occupation du sol du projet est de 13,84m², soit 0,09%.

4.2.3.3 Imperméabilisation des sols

La surface d'occupation de la structure agrivoltaïque (et donc d'imperméabilisation) est très minime et n'entraîne pas d'impact particulier sur les écoulements des eaux de pluie.

La structure est composée de rangées de panneaux mobiles espacées de 2,75m. Seule la surface des panneaux intercepte la pluie, le reste est ouvert et la laisse passer.

La solution ne possède pas de système de récupération de l'eau de pluie. Ainsi, la pluie tombant sur les panneaux (largeur de 1.75m) ruissèlera et tombera ensuite au sol entre deux rangs d'arbres.

La quantité d'eau au sol sous le dispositif agrivoltaïque est similaire à une surface sans dispositif. L'impact des panneaux sur l'homogénéité de la redistribution de pluie sur la parcelle est donc marginal.

4.2.3.4 Stratégie de pilotage des panneaux en cas de pluie

Les travaux de recherche de Sun'Agri visent également à mettre en œuvre un pilotage en temps réel des panneaux pour réduire l'interception des pluies par la structure et ainsi limiter les sources d'hétérogénéités : Effet rideaux d'eau (notamment dans la redistribution de la pluie) par rapport à des systèmes non pilotés (à panneaux fixes).

Les modèles temps-réel développés s'intéressent à l'impact soudain d'un événement climatique comme la pluie et permettent de piloter les panneaux de manière à répartir de manière optimale l'eau de pluie sur les cultures.

Le système de pilotage permet une amplitude de rotation des panneaux suffisamment importante pour qu'ils puissent être mis parallèles à l'inclination de la pluie et ainsi interceptent le moins possible cette dernière.

Cet algorithme de pilotage lors d'évènement pluvieux a fait l'objet d'une publication scientifique :

Y. Elamri, B. Cheviron, A. Mange, C. Dejean, F. Liron, G. Belaud (2017)
Rain concentration and sheltering effect of solar panels on cultivated plots
Hydrology and Earth System Sciences, Volume 22, Pages 1285-1298

4.2.4 Etude des accès

L'accès au site se fait par le Chemin de Saint-Martin, longeant la zone de projet.

Les accès existants sur le domaine public sont compatibles avec le passage des camions et ne nécessitent pas de travaux particuliers.

Le local technique étant situé en retrait de la route, une reprise du chemin existant sera opérée du Chemin de Saint-Martin jusqu'à celui-ci, afin de permettre le passage des poids lourds.

4.2.5 Stationnement et chemins

Le stationnement des véhicules nécessaires à l'exploitation de la centrale agrivoltaïque se fera en dehors des voies publiques.

Au sein de la zone de projet, des chemins agricoles d'exploitation, d'une largeur minimale de 4m entoureront la structure et permettront d'y accéder facilement pour des interventions techniques. Ces chemins serviront majoritairement à l'activité agricole (passage des engins).

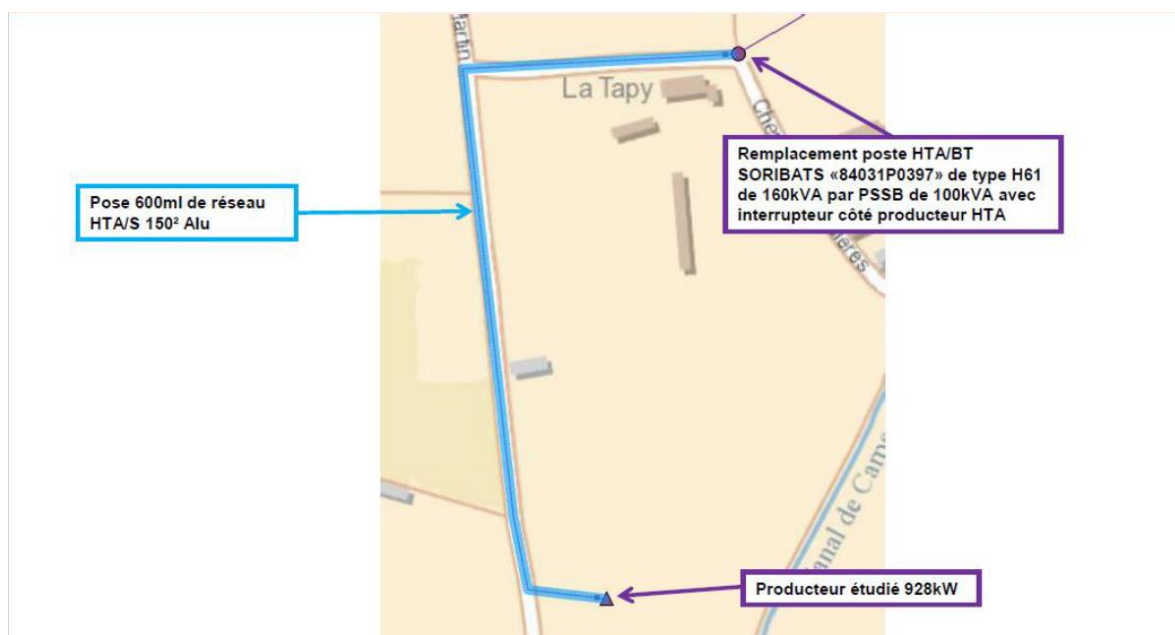
Il est à noter qu'un chemin d'exploitation agricole est déjà présent au sud de la zone de projet et sera maintenu en l'état.

4.2.6 Raccordement électrique et alimentation en électricité

Le projet ne nécessitera pas de nouveau raccordement électrique en soutirage.

L'électricité produite par les panneaux ayant vocation à être injectée sur le réseau national, une demande de raccordement pour une puissance de 1,08MWc a été réalisée auprès d'Enedis directement par le maître d'ouvrage après la publication des lauréats de l'appel d'offres.

Le tracé prévisionnel du raccordement a été établi par Enedis et se présente sous la forme ci-contre :



Le poste d'injection retenu pour l'instant est celui de Carpentras, celui-ci étant le plus proche du projet et ayant une capacité disponible au titre du S3REnR.

L'Installation sera raccordée directement en HTA au Réseau Public de Distribution par l'intermédiaire d'un unique poste de livraison alimenté par une antenne souterraine de 600ml en 150mm² Alu issue du départ VAISON du Poste Source CARPENTRAS.

Les câbles seront enterrés le long du domaine public et n'entraîneront pas d'emprise supplémentaire sur des habitats naturels. Le tracé prévisionnel ne recoupe aucun zonage d'intérêt écologique ou de protection réglementaire.

4.2.7 Démantèlement – Réversibilité de l'installation

Cf §2.3.2.3

4.3 Intégration du projet dans son environnement

4.3.1 Intégration du projet dans le milieu naturel

4.3.1.1 Premier retour d'expérience – Inventaire naturaliste sur le parc agrivoltaïque en exploitation de Tresserre (66)

Dans l'optique d'obtenir un premier retour d'expérience sur l'intégration des centrales agrivoltaïques dans le milieu naturel, Sun'Agri a sollicité en juillet 2020 le bureau d'étude naturaliste Artifex pour évaluer le cortège faune/flore sur la parcelle sous panneaux en comparaison avec la parcelle témoin pour le parc agrivoltaïque en exploitation de Tresserre (66).

L'étude va se poursuivre sur plusieurs années afin d'opérer un véritable recul, mais les premiers résultats suivants sont observés :

- Si la phase la plus impactante pour la biodiversité est la construction du parc, un retour rapide de la biodiversité locale a été observée après sa mise en service (plus rapide que des parcs photovoltaïques de

plein champ). La diversité faunistique témoigne d'une réappropriation progressive sur le parc et ses abords (favorisée par une gestion raisonnée de l'exploitation viticole) ;

- Quelques comportements laissent apparaître une fonctionnalité positive de la structure pour la faune. Un cortège d'espèces communes locales y a trouvé refuge (petits reptiles), certains passereaux nidifient dans les structures métalliques creuses, certains mammifères terrestres s'abritent sous les persiennes pour se reposer et se rafraîchir lors des fortes chaleurs ;
- Les espèces d'oiseaux chassant ou se nourrissant en vol préfèrent la parcelle témoin ;
- Il est noté une diversité floristique plus importante sur la zone témoin ;
- L'installation ne semble pas hermétique au développement des insectes et à l'activité des chiroptères, qui chassent aussi bien sur la parcelle en AVD que sur la zone témoin.

4.3.1.2 Réalisation d'un diagnostic écologique

Pour le projet de Carpentras, Sun'Agri a fait appel au bureau d'étude Altifaune pour la réalisation d'un diagnostic écologique. Le bureau d'étude a réalisé un état initial de la zone lors de sorties terrain à l'automne et au printemps et a analysé les effets potentiels du projet sur la biodiversité.

L'étude est présentée en Annexe 10 de ce dossier. Elle conclut au fait que, **de par sa nature, sa conception, ses modalités de construction et les mesures entreprises pour réduire ses impacts, le projet de centrale agrivoltaïque de Carpentras présente un impact non significatif sur la faune, la flore et les habitats naturels.**

4.3.1.3 Mesures favorisant la biodiversité et suivi écologique

Le diagnostic écologique présenté en Annexe 10 détaille les mesures suivantes :

- Mesures en phase chantier :
 - o Limitation adaptée et balisage des emprises de travaux ;
 - o Adaptation de la période des travaux ;
 - o Mesures préventives de lutte contre la pollution ;
 - o Aménagement d'abris pour la faune terrestre en amont des travaux ;
- Mesures destinées à favoriser la biodiversité :
 - o Installation de gîtes et nichoirs pour la faune volante sur la structure. Cette mesure est particulièrement pertinente puisque la parcelle a vocation à être conduite en agriculture biologique. Il y a donc une forte probabilité de présence des proies potentielles pour l'avifaune (insectes).
 - o Plantation de deux haies sur les pans est et ouest du projet ;
 - o Maintien des bandes enherbées le long des chemins ;
- Mesures de suivi écologique en phase exploitation :
 - o Suivi des aménagements pour la faune terrestre et volantes ;
 - o Suivi de l'avifaune nicheuse et de la faune terrestre.

Les mesures et le suivi écologique permettront d'améliorer l'intégration du projet dans le milieu naturel, d'alimenter une base de données sur la biodiversité en milieu agricole et d'obtenir un référentiel en arboriculture, à l'instar du projet de Tresserre, de l'intégration des projets agrivoltaïques dans le milieu agricole.

4.3.2 Intégration paysagère du projet

4.3.2.1 Conclusion de l'étude paysagère

Pour le projet de Carpentras, Sun'Agri a fait appel au bureau d'étude ENCIS Environnement basé à Cavaillon, pour la **réalisation d'une étude paysagère.**

Celle-ci présente les résultats de l'analyse de l'état actuel de l'environnement du site choisi pour le projet. Elle détaille ensuite la démarche de conception du projet dans une logique de moindre impact et présente les effets de

l'implantation retenue sur le paysage. Les mesures d'évitement, de réduction et de compensation inhérentes au projet y sont résumées.

La zone d'étude se situant dans le périmètre des 500 mètres autour d'un Monument Historique (la Chapelle Saint-Martin de Serres), Sun'Agri et ENCIS ENVIRONNEMENT ont consulté les Services de l'UDAP84. Des échanges avec l'ABF du Vaucluse ont permis certaines adaptations du projet, en accord avec les exigences de ce dernier.

L'étude est présentée en Annexe 11.

4.3.2.2 Mesures paysagères

Dans l'optique d'améliorer l'intégration du projet dans le paysage et particulièrement de réduire la visibilité du projet depuis les abords de la Chapelle Saint Martin et les chemins alentours, le bureau d'étude ainsi que l'Architecte des Bâtiments de France ont préconisé **la logique « d'écrin paysager »**. Aussi, un recul de la structure aux chemins a été opéré et l'intégralité du projet sera entouré par des masques végétaux. Le local technique fera l'objet d'une mesure de mise en valeur s'inspirant du patrimoine vernaculaire local. Ainsi pour les passants, sa perception depuis les chemins alentours sera la plus limitée possible. Ils auront toujours en premier plan soit des haies, soit des cerisiers sans panneaux.

Dans le cadre de l'Appel à Manifestation d'Intérêt émis par la Région, Sun'Agri s'engage également à mettre en place sur la parcelle des **panneaux explicatifs** détaillant la technologie, les objectifs du projet, le projet agricole ainsi que le détail des paramètres étudiés dans le cadre du suivi agronomique.

4.3.2.3 Documents photographiques

Conformément aux prescriptions de l'article R421.2 du code de l'urbanisme est joint au dossier une série de photos du terrain existant et de son environnement ainsi qu'une vue panoramique permettant d'apprécier l'état du site

Des éléments permettant d'apprécier l'insertion paysagère du projet sont présentées dans l'étude paysagère (Annexe 11) ainsi que dans l'Annexe 3.

4.3.2.4 Patrimoine archéologique

La parcelle d'implantation du projet n'est pas concernée par une Zone de Présomption de Prescription Archéologique du département du Vaucluse. Cependant, des mesures d'archéologies préventives seront engagées si la Direction Régionale des Affaires Culturelles les prescrit.

4.4 Alimentation en eau

4.4.1 Réseau d'irrigation

Le système d'irrigation choisie pour la parcelle sera de **type micro-aspiration par frondaison** dans le but **d'apporter la juste quantité nécessaire en eau à la plante et ainsi optimiser la consommation de la ressource**. Le tuyau passera au niveau du premier fil de palissage.

L'eau proviendra majoritairement du Canal de Carpentras, disponible du 15/03 au 15/11 (Organisme de collecte : OUGC/Facturation au Syndicat de Gestion du Canal de Carpentras).

Le système en peigne sera branché sur une électrovanne déjà existante, située au nord-ouest de la parcelle, programmée depuis la ferme du Domaine attenante.

La consommation d'eau sera réduite par rapport à de l'arboriculture classique.

4.4.2 Estimation de la consommation en eau

La structure agrivoltaïque permettra à la culture de cerisiers de consommer significativement moins d'eau qu'une culture sans système agrivoltaïque (entre **20% et 25%** de consommation en moins).

En effet une réduction du rayonnement par l'effet d'ombrage des panneaux agrivoltaïques, réduira dans ces conditions la transpiration des plantes et permettra *in fine* une économie d'eau, économie d'autant plus intéressante dans le cadre des changements globaux. En particulier, en zone méditerranéenne, les projections indiquent une amplification de la durée et de l'intensité des vagues de chaleur et des sécheresses estivales.

A titre indicatif, les besoins en eau d'une culture en arboriculture se situent entre 1000 et 2500 m³ / ha /an.

Le projet consistant en la culture de 1,25 ha de zone AVD et à 0,32 ha de zone témoin, nous estimons une consommation annuelle de :

$1,25 \times 1750 \times 0,8$ (zone AVD) + $0,32 \times 1750 = 1750 + 560 = \mathbf{2\ 310\ m^3 / an.}$

Le système d'irrigation actuel est suffisant pour subvenir aux besoins en eau des futures plantations, et la création de forage supplémentaire n'est donc pas nécessaire.

4.5 Documents d'urbanisme

4.5.1 PLU de Carpentras

La zone de projet est localisée en **zone agricole Ai2 du zonage du PLU de la Commune de Carpentras** approuvé le 13 juin 2006 (ayant depuis fait l'objet d'une procédure de modification approuvé le 15 janvier 2008 et d'une révision simplifiée approuvé le 24 juin 2007).

4.5.2 Risques naturels et technologiques

La zone de projet (structure AVD stricto sensu) est concernée par le PPRI Sud-Ouest Mont Ventoux (zone d'aléa moyen).

Suite à des échanges et réunions avec le service Risques de la DDT du Vaucluse, il a été préconisé la réalisation d'une **étude devant démontrer l'absence d'impact du projet sur le fonctionnement hydraulique du territoire en cas de crue ainsi qu'une résistance de la structure** aux vitesses et hauteurs d'eau maximisantes correspondantes à l'aléa (Courrier datant du 18/11/2021).

Sun'Agri a missionné les bureaux d'études Artelia et SERTEC. Ces études sont présentées en Annexe 7. Elles concluent que l'installation de la structure ne fait pas apparaître de désordre structurel pour la configuration donnée, à savoir **à savoir une vitesse de crue maximale de 0.5m/s et une hauteur d'eau de 50cm**

Les trackers, panneaux photovoltaïques et équipements sensibles seront bien implantés au-dessus de la côte des plus hautes eaux (+1,20m).

4.6 Concertation avec les acteurs locaux

Des réunions de concertations ont été organisées afin d'informer et d'intégrer le maximum d'acteurs à la démarche de développement du projet.

Tout au long du développement du projet	Réunions d'avancement régulières avec Mme Pelegrin, Directrice d'exploitation.
Tout au long du développement du projet	Réunions d'avancement régulières avec la Région Sud sur les aspects relatifs au foncier.
Tout au long du développement du projet	Réunions d'avancement régulières avec la Chambre d'Agriculture du Vaucluse.
16/11/2020	Présentation du projet aux services de la DDT84 ayant abouti aux préconisations liées au risque hydraulique (<i>Courrier du 18/11/2020, reçu le 19/12/2021</i>). Echanges réguliers par la suite.
29/01/2021	Présentation du projet à Madame Bénédicte Martin – Conseillère Régionale – Présidente de la Commission « Agriculture, Viticulture, Ruralité, Forêt ». Préfet de Département informé du projet.
18/03/2021	Présentation du projet en mairie de Carpentras (Elu et responsables Urbanisme) en présence de Mme Pelegrin et de la Chambre d'Agriculture.
30/03/2021	Présentation du projet à la COVE (Communauté d'Agglomération Ventoux Comtat).
05/05/2021	Réunion de travail avec l'Architecte des Bâtiments de France (UDAP84).
20/05/2021	Adaptation du projet suite aux échanges avec l'Architecte des Bâtiments de France (modification implantation et mesures supplémentaires).
28/05/2021	Validation des modifications par les services de l'UDAP84 (<i>Mail du service de l'UDAP84 reçu le 28/05/2021</i>).

SYNTHESE PARTIE TECHNIQUE DU PROJET

- Une structure agrivoltaïque sur 1,25ha assortie d'une zone témoin sans panneaux de 0,32ha ;
- Une **emprise de projet réduite** (1,25ha sur les 5,3 ha de la zone de projet) s'implantant uniquement sur des parcelles dont la culture est à renouveler ;
- Une **véritable réflexion sur l'insertion paysagère** du projet du fait de la constitution d'un « écran paysager » via la mise en place de différentes mesures de réduction et d'accompagnement (en concertation avec l'ABF du Vaucluse) ;
- Une zone de projet correspondant à un milieu cultivé (zone Ai2 du PLU de Carpentras), **en dehors de tout zonage écologique d'inventaire ou de protection**. Une conception maintenant les espaces identifiés comme à enjeux modérés dans le diagnostic écologique ;
- Des **mesures écologiques** à chacun des stades de la vie du projet visant à réduire l'impact du projet sur le milieu naturel et favoriser la biodiversité en milieu agricole (gîtes, nichoirs, haies) ;
- Une **occupation du sol très faible** (équivalente aux poteaux de palissage d'un verger classique) et une structure entièrement démontable et recyclable ;
- Une **économie de la consommation de la ressource en eau** attendue ;
- Un **projet concerté et soutenu** localement (Mairie, Chambre d'Agriculture du Vaucluse, etc.) ;
- Un projet s'insérant dans les **temporalités du travail agricole** du Domaine Louis Giraud ;
- Une durée d'exploitation de **20 ans** et un démantèlement encadré via le cadre contractuel.

5 Programme de recherche et résultats expérimentaux

5.1 Dix ans de R&D pour adapter le microclimat des plantes au changement climatique

5.1.1 Programme Sun'Agri 3

Sun'Agri trouve ses origines en 2009 de la rencontre de 2 hommes : **Christian Dupraz** chercheur en Agroforesterie à INRAE et **Antoine Nogier**, président et fondateur du groupe Sun'R. L'objectif d'alors est de savoir sous quelles conditions le photovoltaïque peut améliorer l'agriculture sans entrer en concurrence avec elle.

3 programmes de recherche d'ampleur croissante, ont successivement été menés pendant une dizaine d'années, sous l'égide de Sun'R avec la **participation de l'INRAE, rejoints au cours du temps par iTK et Photowatt**. Initialement axés sur la recherche fondamentale, les **programmes ont validé l'intérêt de l'agrivoltaïsme dynamique étape par étape et se concentrent désormais, pour le programme en cours, vers l'élaboration des modèles et algorithmes opérationnels de pilotage optimal des panneaux, ainsi que la démonstration grandeur nature des solutions**.

Sun'Agri est devenue en 2019 une filiale dédiée au développement de projets agrivoltaïques dynamiques, et surtout à l'élaboration des outils et modèles de pilotage optimal (pour les plantes) des panneaux. Sun'Agri est le pionnier et le leader mondial de la technologie agrivoltaïque dynamique.

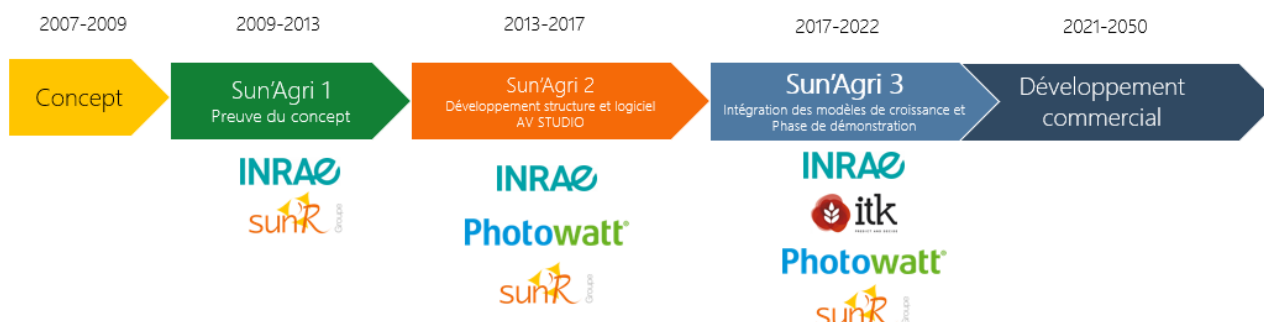
- **2009 – 2012 : Sun'Agri 1.** Les principaux résultats obtenus ont démontré qu'en pleine densité des panneaux, les rendements sont fortement réduits (de l'ordre de 40%). En condition de semi-densité (30% d'ombrage), certaines cultures ont maintenu un rendement agricole équivalent, voire supérieure à des cultures témoin (sans panneaux).
- **2013 – 2017 : Sun'Agri 2.** Développement du socle logiciel et hardware, et mise en place du premier modèle agrivoltaïque sur la laitue et la vigne. Les panneaux sont mobiles. Deux thèses : une première présentant une modélisation du développement écophysologique de la laitue. Et une présentant un modèle de bilan hydrique sous-système agrivoltaïque dynamique.
- **2017 – 2022 : Sun'Agri 3.**

Le projet Sun'Agri 3 s'inscrit dans le prolongement direct des projets Sun'Agri 1 et Sun'Agri 2 et vise à préparer le déploiement commercial de systèmes agrivoltaïques.

Ce programme bénéficie du soutien de l'Etat puisqu'il a été lauréat du Programme d'Investissement d'Avenir de l'ADEME (subvention obtenue : 7 millions d'euros).

Les axes principaux de Sun'Agri 3 sont :

- La construction de démonstrateurs à échelle commerciale de la technologie
- L'élargissement des protocoles de pilotage à différentes espèces cultivées
- La mise en place d'une unité de recherche agronomique dédiée à l'agrivoltaïsme
- L'établissement des normes relatives à cette discipline entièrement nouvelle
- Des approfondissements du développement des produits (structure, panneaux, etc...).



Chronologie du programme de recherche Sun'Agri

3 thèses soutenues
4 en cours (soutenances en 2022/2023)

3 brevets

7 laboratoires INRAE
14 chercheurs à temps plein

Des récompenses et une reconnaissance par la profession



5.1.2 Cultures cibles

Devant le choix de Sun'Agri de ne pas opérer de compromis avec la production agricole, et devant son corollaire, à savoir la nécessité de piloter l'ombrage de façon dynamique, Sun'Agri a souhaité privilégier :

- les zones géographiques pour lesquelles les stress thermiques et hydriques sont élevés et croissants, où les changements climatiques provoquent des impacts et une vulnérabilité importante : Sud de la France, pourtour méditerranéen, États-Unis, Caraïbes, Australie, Afrique Subsaharienne...
- les cultures de cette zone géographique dont le besoin de protection est suffisamment élevé pour justifier d'un réel intérêt économique,
- enfin, les cultures pour lesquelles il n'existe pas de solution d'adaptation existante ou du moins satisfaisante. C'est ce que l'on appelle l'urgence climatique.

Cultures visées	Besoin des cultures
Viticulture (Pour le vin, tous types de cépages)	- Adaptation des vignes menacées durablement par les changements climatiques (cf. Hannah et al, 2013), en particulier par les fortes chaleurs, la sécheresse et les brûlures des baies par le soleil. Concerne la plupart des vins mondiaux spécialement les vins méditerranéens, californiens, australiens... - Diminution / optimisation de la consommation d'eau et des pertes erratiques liées au gel et à la grêle. - Limitation du taux de sucre.
Arboriculture (Abricot, cerisier, pêches, pommes)	- Cultures sensibles aux fortes chaleurs, déficits hydriques, grêle, pluies fortes, gel printanier. - Pertes erratiques et croissante de rendement croissantes liées à ces aléas climatiques. - Synergies avec les usages déjà en vigueur dans ce secteur : utilisation de poteaux avec filets de protection.
Maraîchage sous abri (Concombres, salades, tomates)	- Grand consommateur d'eau, également très sensible aux changements climatiques. - Dans les assiettes de tous les consommateurs, 365 jours par an : extension des périodes de récolte. - Meilleure LER que sur des serres verres photovoltaïques (PV) classiques. - Évite le blanchiment des serres ou des abris.

5.1.3 Les dispositifs agrivoltaïques de Sun'Agri

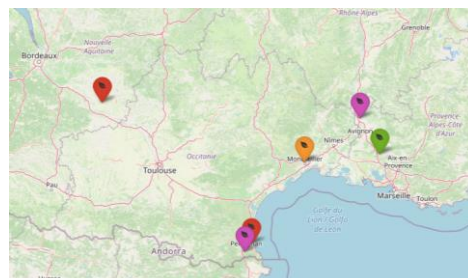
Sun'Agri dispose aujourd'hui de 7 dispositifs avec lesquels sont étudiés l'impact d'un ombrage spécifique sur culture, dont :

- 3 sur vigne, 1 sur pommier, 2 sur maraichage et 1 sur grandes cultures
- 6 dispositifs expérimentaux (< 1000m²) et 1 démonstrateur (plusieurs ha)
- 6 dispositifs intégrant la technologie d'agrivoltaïsme dynamique (AVD), et 1 avec un ombrage fixe

DE viti @Piolenc	DE arbo « LaPugère » @Mallemort	Mar. @Alénia	Grandes Cult. @Lavalette	DE Mar. @Clairac	Viti @LaGaillarde
					
> 7 Avr.2019	> Mar.2019	A partir de Q1.2021	> 2009, et v2 en Fev.2019	> Été 2020	> Mar.2018
AVD plein champ: 680m ² 2 zones témoins 340m ²	AVD plein champ: 720m ² (30m*24m) Zone témoin: 300m ²	Sous toile (été 2020) Puis AVD sur serre (Q1.2021)	PV fixe plein champ 820m ² , ZT 400m ²	AVD sur serre: 5000m ²	Panneaux d'ombrage 230 bois + Témoin = ombrière
Grenache Noir (2000), sol plat exposé à contraintes h%	Golden 972 de 2010, 4m inter-rang, 1,3m entre-pied = 23*7 = 161 arbres	Tomates	Culture de Maïs	Tomates, poivrons aubergines, ...	Syrah, clone 747 (2015)
Test de 2 stratégies AVD, validation des modèles Cropsim vigne et AV-studio	Test de 3 stratégies d'ombrage + Calibration du modèle QualiTree	Impact ombrage, et calibration modèle de croissance	4 modalités d'ombrage allant de 20 % à 50 %	Comparaison rendement, modèle de croissance	11 modalités, calibration et la validation des modèles Cropsim vigne et AV-studio
CA84 = proprio et presta suivi cultural	Station expérimentale SEFRA	INRAE – Alénia	Sup Agro, INRAE G-EAU (IRSTEA)	Brinkhoff	INRAE LEPSE

Vue globale des 6 dispositifs expérimentaux pour l'étude de l'ombrage intermittent sur culture

Ces dispositifs ainsi que la mise à disposition d'un programme de travail encadré par des experts et scientifiques, ont généré une moisson de données très importante depuis leur mise en service, complétée par un historique d'expérimentations issu de l'INRAE à Pech Rouge sur un dispositif fixe depuis 2016.



Un projet AVD grande échelle a été installé en 2018 sur 4,5ha sur une nouvelle exploitation viticole, au Domaine de Nidolères à Tresserre (66). Trois cépages ont été plantés : Grenache Blanc, Chardonnay et Marselan, également sur la parcelle témoin adjacente de 3ha. La 1ère récolte est prévue en 2021. Le suivi agronomique est réalisé par la CA66.



Projet agrivoltaïque du domaine de Nidolères – Tresserre (66)

5.2 Résultats des Dispositifs expérimentaux

5.2.1.1 Références en viticulture – Synthèse des résultats expérimentaux

Les systèmes agrivoltaïques dynamiques (AVD) installés au-dessus des cultures, et fournissant un ombrage transitoire, sont un outil de protection et d'adaptation aux changements climatiques de la vigne, qui optimise la production viticole **dans sa qualité**, tout en **préservant de hauts rendements**:

- **Limitant les excès de rayonnement solaire et de fortes chaleurs:** L'ombrage piloté peut diminuer la température des vignes sous AVD jusqu'à -5°C en période caniculaire; Le feuillage se trouve un meilleur état azoté, traduit par une canopée plus dense.
- **Diminuant le risque de gel:** avec un écart de température moyen de +2°C lorsque le 0°C approche au printemps, la couverture thermique AVD permet d'éviter des épisodes de gel délétères au débourrement.
- **Améliorant le confort hydrique tout en limitant l'irrigation:** mesuré par un temps de croissance de la plante jusqu'à +14 jours plus long que la zone témoin, et une évapotranspiration potentielle (ETP) diminuée de 40%. Le calendrier d'irrigation s'adapte également en diminuant la quantité d'eau délivrée jusqu'à -34%.
- **Menant à un meilleur équilibre aromatique du vin produit:** Les baies des modalités sous AVD contiennent plus d'anthocyanes (de +10% à +15%), et présente un degré Brix inférieur de 2 à 3° à jour donné grâce à une maturation dans une période plus fraîche, et sont jusqu'à 15% plus acides que celles de contrôle.
- **Mutualisant des solutions de protection supplémentaires :** par exemple contre la pluie et la grêle avec l'installation de filets à moindres coûts.
- **Permettant d'optimiser les rendements:** En évitant les conséquences délétères de certains épisodes climatiques.

Ces données expérimentales sont issues de **trois programmes de recherche et développement en collaboration avec l'INRAE** (fusion de l'INRA et IRSTEA) depuis 2009: de Sun'Agri 1 à Sun'Agri 3 (TRL 8) et la phase actuelle d'industrialisation et de démonstration à grande échelle.

La viticulture est la première filière agricole qui bénéficie de notre solution d'agrivoltaïsme dynamique (AVD) en termes de surface: Des données expérimentales sur vignes sous panneaux de différentes tailles ont été réalisées en 2018 et 2019 sur le campus de Montpellier SupAgro, complétées par un historique d'expérimentations issus de l'INRAE à Pech Rouge sur dispositif fixe depuis 2016. En 2018, de jeunes plants de vigne ont été plantés dans le domaine des Nidolères (Tresserre) sur 7,5ha, au-dessus desquels est construit le 1^{er} démonstrateur AVD sur 4,5ha

suivi agronomiquement par la CA66. En parallèle, la mise en service d'un dispositif expérimental en 2019 à Piolenc (cépage Grenache plantés en 2000) fournit de nombreux résultats analysés par la CA84 et l'INRAE (unités LEPSE, PECH ROUGE, SYSTEM et G-EAU ex-IRSTEA).

Les dispositifs AVD sont prêts à être déployés sur la filière vigne à plus grande échelle, et ainsi entrer en phase pilote de commercialisation.

5.2.1.2 Arboriculture

5.2.2 Références en arboriculture

Les systèmes agrivoltaïques dynamiques (AVD) installés au-dessus des cultures, et fournissant un ombrage transitoire, sont un outil de protection et d'adaptation aux changements climatiques des arbres fruitiers, qui optimise leur production de fruits **en qualité**, tout en **préservant de hauts rendements**, en :

- **Limitant les excès de rayonnement solaire et de fortes chaleurs:** L'ombrage piloté peut diminuer la température des fruitiers sous AVD jusqu'à -4°C en période caniculaire et conserver une meilleure humidité relative ; les feuilles apicales ne se recroquevillent pas et l'activité photosynthétique peut être maintenue ;
- **Diminuant le risque de gel:** avec un écart de température moyen de quelques degrés lorsque le 0°C approche au printemps, la couverture thermique AVD permet d'éviter des épisodes de gel très délétères notamment dans la période de débourrement ;
- **Améliorant le confort hydrique tout en limitant l'irrigation:** les apports en irrigation sont en moyenne jusque 30% inférieurs par rapport à la zone témoin, accompagné d'une diminution de la consommation réelle en eau ; d'importants stress hydriques ponctuels (+63% en témoin en épisode caniculaire) sont évités ;
- **Menant à une qualité de production lissée:** Des pommes à la fermeté et au calibre inchangés, une coloration sous contrôle, et des fruits moins sucrés ;
- **Régulant la production:** En évitant les conséquences délétères de certains épisodes climatiques, et en accentuant l'éclaircissage naturel en apportant une quantité d'ombrage spécifique à un stade défini et ainsi maîtrisé naturellement la chute des fruits ;
- **Mutualisant des solutions de protection supplémentaires :** par exemple contre la pluie et la grêle avec l'installation de filets à moindres coûts.

Ces données expérimentales sont issues de **trois programmes de recherche et développement en collaboration avec l'INRAE** (fusion de l'INRA et IRSTEA) depuis 2009: de Sun'Agri 1 à Sun'Agri 3 et la phase actuelle d'industrialisation et de démonstration à grande échelle.

La mise en service d'un dispositif expérimental en mars 2019 sur une parcelle plantée en pommiers à la station expérimentale arboricole La Pugère (Mallemort, 13) fournit de nombreux résultats. Les suivis agronomiques des pommiers sont réalisés par l'INRAE, et analysés par la station expérimentale de LaPugère et l'INRAE (unités LEPSE, PSH, et G-EAU ex-IRSTEA).

Les dispositifs AVD sont prêts à être déployés sur la filière arbre fruitier à plus grande échelle, et ainsi entrer en phase pilote de commercialisation.

ANNEXES

Cadre contractuel

Promesse de bail et bail emphytéotique

En phase développement et afin de sécuriser le projet, **une promesse de bail est signée pour une durée de 5 ans**. Si les études sont concluantes et que le projet obtient l'ensemble des autorisations, un **bail emphytéotique d'une durée de 30 ans** lie le propriétaire des terrains et le producteur d'électricité. Il est également signé par l'exploitant agricole si ce dernier n'est pas le propriétaire des terrains. Une division en volume est effectuée permettant au propriétaire de garder des droits réels sur le sol jusqu'au-dessus de la culture. Seul le volume au-dessus des cultures est pris à bail.

Une **convention de servitudes** pour le raccordement des câbles, l'accès au site, etc. peut également être signée au cas par cas.

Convention agrivoltaïque

La **convention agrivoltaïque** est un contrat tripartite liant le prestataire de pilotage (Sun'Agri) à la société de projet détenue par le producteur d'électricité et à l'exploitant agricole (et le propriétaire du terrain dans le cas de fermage). Elle régit les interactions entre ces trois parties, notamment le contrat de service agrivoltaïque que fournit Sun'Agri à la société de projet, la mise à disposition du terrain agricole par l'exploitant (ou le propriétaire), le pilotage des panneaux et la mise à disposition d'une application de type OAD à l'exploitant par Sun'Agri.

Cette convention encadre les interactions des trois acteurs du projet, sur toute la durée de son exploitation, soit trente ans.

Convention de suivi agronomique des cultures entre l'agriculteur et un organisme professionnel ou scientifique

La convention de suivi agronomique permet de désigner un organisme indépendant de la société de projet (Chambre d'Agriculture, station expérimentale, organisme technique, etc.) pour effectuer le suivi agronomique du projet sur une durée de 5 ans.

Elle lie Sun'Agri et l'organisme autour d'un protocole défini en amont et précisé au moment de la mise en service du projet. Ce suivi agronomique a pour objectif d'évaluer l'effet d'un dispositif agrivoltaïque par rapport à une zone témoin conduite dans les mêmes conditions, de remonter des données alimentant les algorithmes de pilotage, et permettant éventuellement de rectifier les stratégies actuelles.

