



Sun'Agri

**ANNEXE N° 8 – NOTICE DESCRIPTIVE
PROJET AGRIVOLTAÏQUE DE TRAVAILLAN**



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 Domaine André Brunel – Les Cailloux	9
3.1	Présentation de l'exploitation agricole	9
3.2	Intérêt agronomique du projet	10
3.3	Choix de la parcelle de projet	12
3.4	Description du projet agricole	13
3.5	Synergie entre système agrivoltaïque et production agricole du projet	15
3.6	Intérêt économique du projet pour l'exploitation	18
3.7	Engagements en phase d'exploitation	20
	SYNTHESE DU PROJET AGRICOLE :	20
4	Description technique du projet	21
4.1	Situation	21
4.2	Caractéristiques techniques	21
4.3	Intégration du projet dans son environnement	24
4.4	Alimentation en eau	26
4.5	Documents d'urbanisme	27
4.6	Concertation avec les acteurs locaux	29
	SYNTHESE PARTIE TECHNIQUE DU PROJET	29
5	Programme de recherche et résultats expérimentaux	30
5.1	Dix ans de R&D pour adapter le microclimat des plantes au changement climatique	30
5.2	Résultats des Dispositifs expérimentaux	33
	ANNEXES	35
	Cadre contractuel	35

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 « Travaillan » concerne l'exploitation du Domaine André Brunel – Les Cailloux dont le siège est situé Châteauneuf-du-Pape (84). Cette exploitation familiale est présente sur le territoire de Châteauneuf-du-Pape depuis le 17^e siècle. Elle est gérée par André Brunel depuis 1971, rejoint par son fils Fabrice en 2012. **Le Domaine possède une centaine d'hectares répartis sur trois appellations** : Châteauneuf du Pape, Côtes du Rhône et Vin de Pays de Vaucluse. Les 30ha de vin de pays sont situés principalement sur la commune de Travaillan.

Le Domaine a prévu de **renouveler 7ha de vignes** (arrivées en fin de vie et donc de production optimale) situées sur la commune de Travaillan.

Le Domaine subit fortement les effets du changement climatique, qui impactent les rendements et augmentent les besoins en eau des cultures. Aussi, dans une logique de pérennisation et de sécurisation de leur activité, le Domaine des Cailloux souhaite mettre en place des solutions innovantes d'adaptation au changement climatique, en portant un projet agrivoltaïque à l'échelle de la parcelle renouvelée en **vignes** sur la commune de Travaillan.

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 sera candidat à l'Appel d'Offres Innovation PPE2 de la Commission de Régulation de l'Energie fin octobre 2021. La technologie Sun'Agri proposée ici a déjà été maintes fois lauréate des dernières tranches de l'appel d'offres (15 projets lauréats pour INNO 4.2 et 17 pour INNO 4.3), validant à la suite de l'examen des dossiers par l'ADEME la vocation agricole primaire des projets 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 « Projet agrivoltaïque positif » 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 « Travaillan » se base sur un ensemble tripartite :

- La **Domaine André Brunel – Les Cailloux** qui exploite les cultures et bénéficie 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 de la structure 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 partie 5 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 et 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 viticulture :**

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 viticulture, 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.

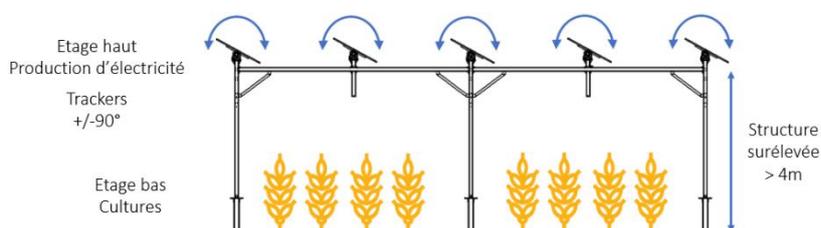


Figure 2: Illustration de la structure AVD

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.

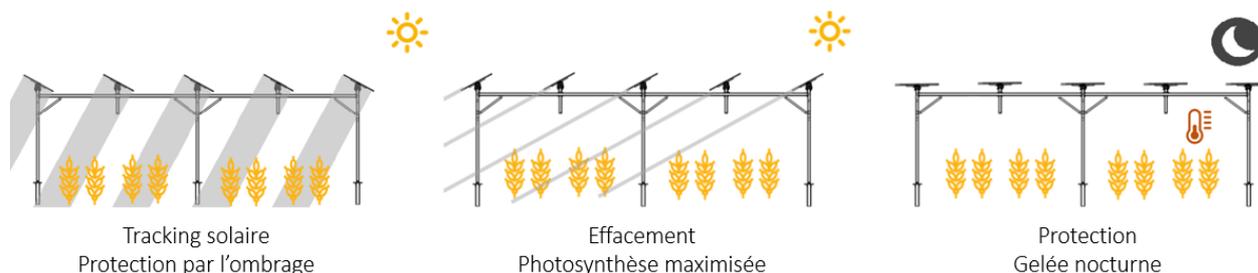


Figure 3. Trois exemples d'orientation des panneaux

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 :
 - o Décrivant l'eau de la racine à l'évapotranspiration sous ombrage fluctuant
 - o 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 viticoles

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

La durée de vie prévisionnelle d'un pied de vigne est **de 30 ans**.

La durée contractuelle de l'implantation de la structure agrivoltaïque étant de 30 ans, cela correspondra parfaitement à la durée de vie du vignoble.

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 réfléchi 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 démanteler à ses frais l'installation (cout provisionné dans le cout initial du projet) **au bout des 30 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 15cm x 15cm) 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 30 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 30 ans du projet.

3 Projet agricole du Domaine André Brunel – Les Cailloux

3.1 Présentation de l'exploitation agricole

Le projet agrivoltaïque « Travaillan » concerne **le Domaine André Brunel – Les Cailloux**, dont le siège est situé à Châteauneuf-du-Pape (84). Cette exploitation familiale est présente sur le territoire de Châteauneuf-du-Pape depuis le XVII^e siècle. Elle est gérée par André Brunel depuis 1971, rejoint par son fils Fabrice en 2012. **Le Domaine est réparti sur trois appellations** : Châteauneuf du Pape, Côtes du Rhône et Vin de Pays de Vaucluse. Le Domaine possède une centaine d'hectares dont 30ha de Vin de Pays situés principalement sur la commune de Travaillan.

L'exploitation agricole se distingue par sa recherche de qualité et de respect des terroirs ainsi que par sa dynamique d'innovation forte.

Ce projet serait le **premier projet agrivoltaïque grande échelle sur vignes du Vaucluse**.

3.2 Intérêt agronomique du projet

3.2.1 Un projet répondant à des problématiques agro-climatiques ³

La vigne est considérée comme étant très sensible au stress climatique, et de la même façon au changement climatique. Des aléas de plus en plus intenses et redondants impactent désormais chaque campagne de production en Vallée du Rhône et viennent directement menacer la pérennité de la filière :

- Des gelées printanières désastreuses pour les productions

Les vignes font régulièrement face à des gelées printanières pouvant être désastreuses pour la production (jusqu'à 100% de pertes du volume total pour certaines exploitations lors de l'épisode de gel d'avril 2021). 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 vignes très sensibles à une vague de froid printanière.

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

- Les stratégies de pilotage de la technologie Sun'Agri incluent une protection face au grand froid : les panneaux du dispositif AVD (AgriVoltaïsme Dynamique) 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 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 du plants comme les bourgeons.
- 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

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

Cette différence de température suffirait pour protéger la vigne de Messieurs Brunel. **Les pertes subies dues aux gels tardifs, dans les conditions d'exploitation à Travaillan, ont pu se chiffrer à hauteur de 50% de la production d'une parcelle (mars 2020).** La solution agrivoltaïque se substituerait ainsi aux systèmes actuels (bougies, etc.) coûteux, polluants, chronophages et souvent inefficaces.

- **Des épisodes de grêle de plus en plus violents**

Le risque de grêle augmente ces dernières années et protéger les vignes devient une condition *sine qua none* pour ne pas exposer l'exploitation à des risques trop importants. En moyenne, les vignobles de la Vallée du Rhône subissent près d'un épisode de grêle par an, impactant parfois 80% de la production, avec des conséquences négatives sur le végétal comme les violents orages de mai 2019 dans le Vaucluse.

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

Aujourd'hui, le Domaine André Brunel – Les Cailloux est contraint de trouver des solutions alternatives pour protéger ses vignes des **chaleurs excessives** de plus en plus fréquentes. La sécheresse et les excès de chaleur s'accroissent chaque année depuis dix ans, et sont eux aussi responsables de nombreuses pertes directes sur la production, et d'autres à plus long terme sur les vignes.

Les **brûlures** ont des effets délétères, à l'instar des dégâts catastrophiques qui ont eu lieu fin juin et début juillet 2019 au cours d'épisodes caniculaires : des vignes ont littéralement grillé en seulement une après-midi « comme brûlées au chalumeau ». La canicule faisait en effet suite à un mois de juin relativement frais, et la différence de température (la température à l'ombre a atteint à certains endroits 45°, et la température foliaire a dépassé 55° localement) a été fatale pour les vignobles.



Figure 6. Vignes brûlées par le soleil lors de la canicule de juillet 2019 dans le Gard et l'Hérault (France TV info, 29/06/2019)

Outre la perte de récolte engendrée par cette canicule, les agriculteurs interviewés dans le reportage ont immédiatement évoqué la capacité du vignoble à se remettre de cet épisode : si la durée de vie du vignoble diminue, c'est immédiatement la survie de l'exploitation qui est en jeu. Or les épisodes climatiques tels que la canicule de début juillet 2019, sont appelés à se renforcer dans les décennies qui viennent, à gagner en intensité et à durer potentiellement plusieurs semaines (Serge Zaka, chercheur en agro climatologie à iTK).

Par ailleurs, du fait de **vendanges de plus en plus précoces** (à partir du 15 août), la composition des baies n'est parfois pas suffisamment complexe pour garantir des vins équilibrés et une palette aromatique intéressante répondant aux attentes du marché vinicole. Apporter de l'ombrage aux vignes permet de retarder la période des vendanges tout en conservant des taux de sucre raisonnables. Afin d'illustrer la valeur qualitative qu'apporte un système agrivoltaïque dynamique en cépages rouges, la vinification de la parcelle agrivoltaïque sera réalisée de manière à proposer rapidement une cuvée spécifique « agrivoltaïque » correspondant au projet du Domaine.

➔ *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 vignes, comme les travaux de Sun'Agri l'ont démontré. En baissant l'état de stress hydrique de la vigne, cette solution permettra au Domaine André Brunel d'obtenir des rendements lissés d'une année sur l'autre mais également de réduire*

la consommation en eau des vignes. 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 vignes.** 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.

Messieurs Brunel ont manifesté un vif intérêt pour la solution agrivoltaïque Sun'Agri en vue de répondre à l'ensemble de ces problématiques, et d'y associer une démarche environnementale tournée vers l'innovation : coupler une production agricole et une production l'électricité photovoltaïque sur une même parcelle en synergie, tout en limitant le recours à des intrants chimiques grâce à la protection apportée par les panneaux.

3.2.2 Objectifs du projet pour l'exploitation

Le projet a vocation d'apporter une solution d'adaptation aux problématiques agro-climatiques subies par le Domaine André Brunel et a pour objectifs :

- de **protéger la vigne** contre les aléas climatiques de plus en plus fréquents et intenses, impactant le rendement (gel, grêle, sécheresse, canicule etc.) et les profils aromatiques des vins ;
- de **diminuer le besoin en eau de la vigne** en réduisant le phénomène d'évapotranspiration grâce à la régulation du micro-climat à l'ombre des panneaux ;
- **d'assurer une sécurité des revenus agricoles de l'exploitation** en lissant les volumes annuels de production ;
- de **conforter la démarche tournée vers le développement durable** entreprise par le Domaine depuis quelques années.

3.3 Choix de la parcelle de projet

La zone de projet couvre une surface de 7,3ha constitué par les parcelles **A383/A543/A184/A185/A186 /A471 /A623/A595/A597/A598/A465**, située au nord de la commune de Travaillan, sur le lieu-dit « Gérenton ».

Jusqu'à l'été 2021, la parcelle était occupée par des vignes arrivées en fin de vie. Ayant passé leur stade de production optimale, le Domaine a pris la décision de les arracher dans l'optique de les renouveler. Les vieux plants ont été arrachés en juin 2021, et la parcelle sera plantée en luzerne d'ici à la réalisation du projet.



Figure 7. Parcelle à fin avril 2021 (à gauche) : vieux plants de vignes toujours présents // Parcelle à mi-juin 2021 (à droite) : plants de vignes arrachés

Cette parcelle du Domaine des Cailloux était la seule 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 4,1ha ouverte positionnée sur une parcelle nouvellement plantée en vignes ainsi qu'une zone témoin sans panneaux de 1,8ha, 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 :

Les cépages sélectionnés par le Domaine sont **rouges (Cinsault et Mourvèdre)**, une production de rosé est envisagée.

Production annuelle estimée :

En installant un système agrivoltaïque dynamique, le Domaine espère obtenir un rendement sous panneaux photovoltaïques de **80-100 hL/ha** aujourd'hui plutôt autour de 50 hL/ha. L'objectif est également d'homogénéiser les rendements d'une année sur l'autre, en évitant les pertes en volume et en quantité, provoquées par les épisodes climatiques.

Valorisation de la production :

Les vignes de cette parcelle agrivoltaïque produiront des **raisins de cuve**, destinés à la vinification. Le Domaine André Brunel envisage de réaliser une **cuvée spécifique** à cette parcelle afin d'étudier précisément les caractéristiques œnologiques de ce vin « agrivoltaïque. ». En capitalisant sur le retour d'expérience de plusieurs millésimes (5-10 ans), l'exploitant souhaite valider les gains qualitatifs qu'apporte la technologie Sun'Agri pour ensuite proposer un nouveau produit à un meilleur prix dans le cadre de nouvelles opportunités de marché.

3.4.2 Mode de culture

Certifications

La production de la parcelle agrivoltaïque sera conduite en agriculture raisonnée, selon un cahier des charges précis.

Le Domaine André Brunel – Les Cailloux est certifié par le label HVE, assurant la volonté de respect de l'environnement de son exploitation.

Irrigation

Une irrigation de type **goutte-à-goutte enterré** 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).

Mécanisation

Le dimensionnement du vignoble agrivoltaïque a été pensé de manière que la mécanisation soit la plus efficace possible. Ainsi, l'ensemble des travaux seront mécanisés à la parcelle.

Pour exemple :

- les vendanges,
- les traitements phytosanitaires par le biais d'un pulvérisateur avec panneaux récupérateurs, permettant de confiner la pulvérisation et de limiter les pertes de produits dans l'environnement et notamment sur les panneaux photovoltaïques,
- les labours et tailles mécaniques.

3.4.3 Géométrie de culture

Les rangées de vignes seront plantées :

- Selon un **axe nord-sud** ;
- Avec pour distance de plantation : **2,25m d'inter-rang pour 1m d'inter-pied**, ce qui est strictement identique à un vignoble classique. Pour permettre la continuité de la mécanisation dans l'exploitation un rang de vignes sur cinq, le rang sous les panneaux ne sera pas planté. Le vignoble agrivoltaïque aura une densité de plantation de **3721 pieds/ha**.

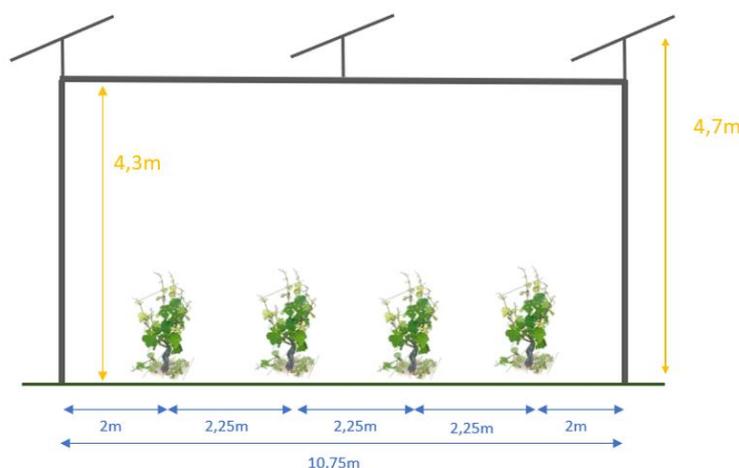


Figure 8. Schéma de la structure (coupe Est-Ouest)

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 sera candidat à **l'appel d'offres PPE2 de la Commission de Régulation de l'Énergie en octobre 2021** - 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 plus de trente projets utilisant la technologie Sun'Agri sur les deux derniers appels d'offres, le Ministère de la Transition écologique, à travers la CRE et l'ADEME, a approuvé la synergie agricole des projets 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 André Brunel – Les Cailloux 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 est le premier intéressé au projet dans toutes ses composantes, il est au cœur de sa conception : son itinéraire technique, ses objectifs et ses priorités ont été la base de la conception de la géométrie du projet.

3.5.2.2 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 d'électricité s'engagent à suivre la charte Sun'Agri qui est la suivante :

- 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 : 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.

3.5.2.3 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 30 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 Travaillan 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.

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 en comparant les résultats à ceux du dispositif expérimental viticole de Piolenc. 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 de Travaillan, 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.

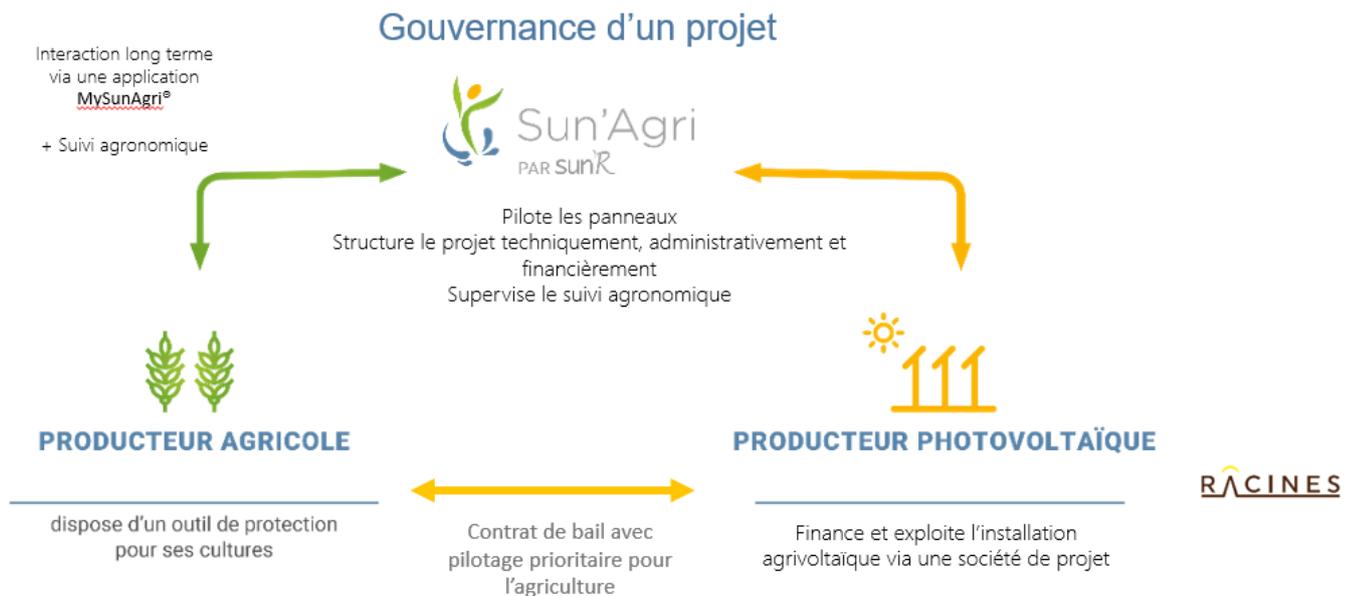


Figure 9. Montage des projets agrivoltaïques – Sun'Agri tiers de confiance pour la priorité donnée à la plante

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 30 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 André Brunel**

– **Les Cailloux :**

- **Surface en vignes plantés sous dispositif agrivoltaïque dynamique = 4,1 ha**
- **Augmentation des coûts de travaux mécanisés :** liés à la présence de la structure au vignoble, variable selon les travaux à mener (et donc selon les années) et dégressif sur les 10 premières années d'exploitation, une augmentation moyenne estimée à +15%.
- **Diminution de la densité de plantation :** une vendange mécanisée est impossible sur le rang de poteaux de la structure agrivoltaïque, soit 1 rangée sur 5. Cette rangée ne sera pas plantée, ou éventuellement pour un enherbement contrôlé. La perte de densité sera compensée grâce à une légère modification des distances de plantation.
- **Suppression des coûts d'assurance :** en protégeant physiquement son vignoble, l'exploitant viticole ne souscrit plus à une assurance aléas climatiques.
- **Diminution de la consommation en eau de la plante :** -20% de coût d'irrigation. L'ombrage permettrait de diminuer le phénomène d'évapotranspiration des plantes. En limitant leurs pertes hydriques, elles consomment moins d'eau.

- **Limitation des pertes sur la récolte lors de grêle** : simulation d'une dizaine d'épisodes de grêle sur 30 ans, soit environ tous les 3 ans. Cet évènement est ordinairement à l'origine de 30% de pertes sur la totalité de la production ces années-là par blessures des baies et feuilles, prolifération de ravageurs et cassures des rameaux (certaines années, cet indicateur peut monter à 100% de pertes). Grâce à la protection agrivoltaïque, on évite la majorité des pertes, en descendant à 10% de pertes sur la récolte.
- **Limitation des pertes sur la récolte lors de gel** : simulation de 2 épisodes de gel sur 30 ans en N+10 et N+20. Cet évènement est ordinairement à l'origine de 40 à 50% de pertes sur la totalité de la production ces années-là par brûlures voire mort des plants. Grâce à la protection agrivoltaïque, on estime les pertes à seulement 10% (dans le cas de températures trop faibles pour l'action de microclimat créée par les panneaux).
- **Limitation des pertes sur la récolte lors de sécheresse** : simulation d'une vingtaine d'épisodes de sécheresse sur 30 ans, quasiment tous les ans. Cet évènement – récent – est ordinairement à l'origine de 15% de pertes sur la totalité de la production ces années-là par brûlures et échaudage des baies. Grâce à la protection agrivoltaïque, on évite toutes les pertes.
- **Alternative à l'irrigation** : la protection apportée par les panneaux permet une réduction de l'ETP et du stress hydrique, et donc de la consommation en eau de la plante. Cette solution est donc une alternative pour les vignobles non irrigués.

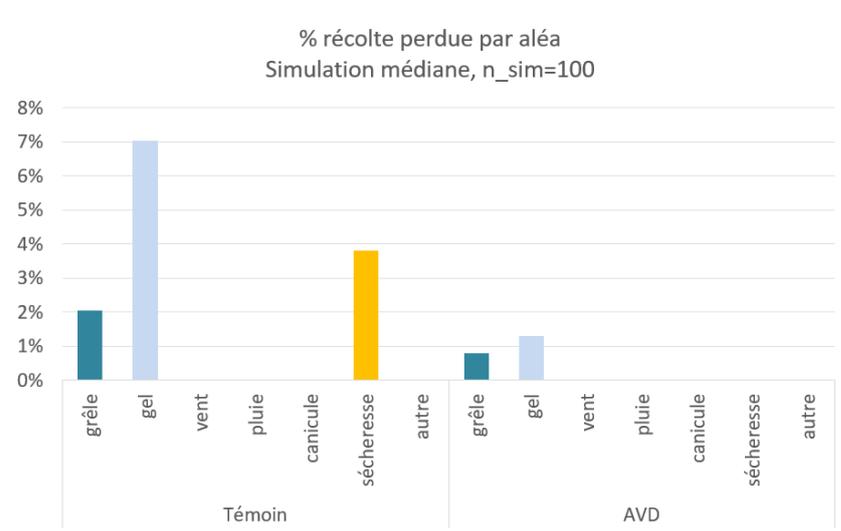


Figure 10 : Estimation du pourcentage de récolte perdue en fonction de l'aléa – sur la zone témoin et sous la structure AVD

Les simulations issues de ces hypothèses ont permis d'estimer l'évolution du gain net cumulé sur 30 ans comme illustré sur le graphique ci-dessous :

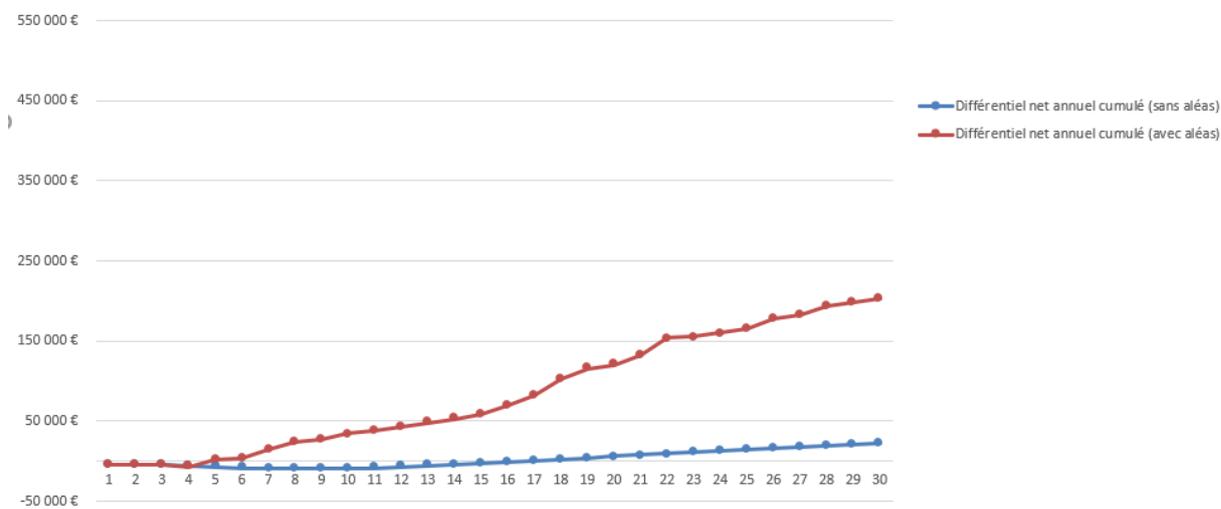


Figure 11 : Evolution du gain net cumulé sur 30 ans en situation agrivoltaïque dynamique pour le Domaine André Brunel

En prenant en compte les charges impactées (cf. consommation en eau, coût des temps de travaux mécanisés, protection des vignes...) et les gains réalisés récapitulés dans le tableau ci-dessus, le système agrivoltaïque dynamique apporterait **un gain net total sur 30 ans de 203 104€ pour la surface considérée de 4,1ha**. Soit un **gain annuel moyen de 6 770€** sur la durée considérée.

Ainsi, le **système agrivoltaïque dynamique apporte un bénéfice net au Domaine André Brunel – Les Cailloux**, 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 :

- Phase développement : évaluation des moyens sur la base d'une évaluation documentaire ;
- Mise en service et à la mise en culture : audit sur site par l'AFNOR pour valider la mise en œuvre des engagements ;
- 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 vignoble** en fin de vie → **les vignes seront replantées quoiqu'il arrive et l'activité agricole maintenue** ;
- Une recherche de solution d'adaptation au changement climatique pour la **pérennisation du rendement**, aujourd'hui de plus en plus impacté et hétérogène d'une année à l'autre ;
- Une géométrie de la structure et des cultures définies **selon les exigences et contraintes agricoles** du Domaine André Brunel – Les Cailloux ;
- Un **suivi agronomique opéré par la Chambre d'Agriculture du Vaucluse**, 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 Travaillan (84).

Le paysage est dominé par la culture de la vigne.

4.2 Caractéristiques techniques

4.2.1 Implantation

Les parcelles concernées par le projet sont **A383/A543/A184/A185/A186/A471/A623/A595/A597/A598/A465**.

La zone de projet couvre une surface de 7,31ha et est accessible directement par le Chemin Séverine. Elle comprend :

- **Une structure agrivoltaïque de 4,1ha de puissance 3MWc ;**
- **Une zone témoin de 1,8 ha** sans structure agrivoltaïque, nécessaire au suivi agronomique pour comparaison et évaluation des résultats sous ombrage piloté ;
- **Un local technique de 32,5m²** combinant poste de livraison et poste de transformation.

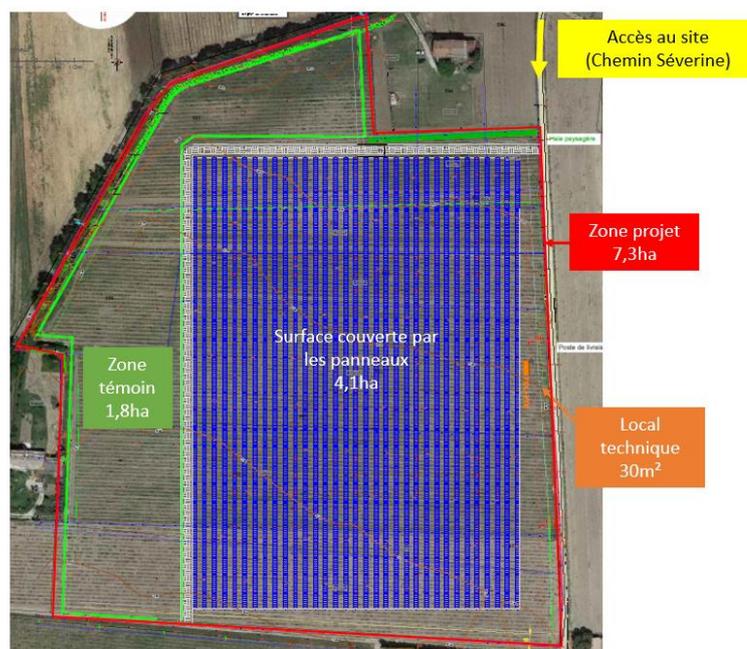


Figure 11 : Plan d'implantation simplifié

→ 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 surface plancher** de 29,5 m² et sera **surélevé de 0,7m** par rapport au terrain naturel, afin de respecter les préconisations du PPRI du Bassin Versant de l'Aigues pour la Zone Vert Aléa Résiduel (à savoir placer les équipements sensibles au moins 0,2m au-dessus de la côte de référence fixée à 0,7m).

Il sera revêtu d'un **bardage bois**, pour améliorer son insertion paysagère. Le local sera accessible directement par le chemin Séverine.

La structure agrivoltaïque comprendra :

- **Une structure métallique** supportant les panneaux, composée de poteaux type pieux battus d'une hauteur de 4,3 m et de largeur 15cm par 15cm. Cette hauteur est compatible avec le passage d'engins agricoles. Les poteaux seront espacés de 10,75 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 des Cailloux, en fonction de ses besoins d'exploitation ;
- **Des rangées panneaux photovoltaïques bi-faciaux positionnés sur trackers**, qui pivotent en fonction de la course du soleil. Les trackers sont positionnés sur un axe placé à 40cm au-dessus de la structure métallique, soit à une hauteur de 4,7m. 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 :

$$\text{Emprise structure AVD} = \text{'nombre de panneaux'} \times \text{'surface de chaque panneau'} = 7\,128 \times 2,10 = \mathbf{14\,968,8\,m^2}$$

- Local technique :

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

$$\text{Emprise local technique} = \mathbf{29,5\,m^2}$$

- 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 14 998,3 m².

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 15cm de large. Au total, il y aura 476 pieux battus, chacun espacés de 10,75m (est-ouest) et de 9m (nord-sud).

La surface d'occupation au sol du projet est donc de : $(0,15 \times 0,15) \times 476 = 10,71\,m^2$.

Soit un pourcentage d'occupation du sol de : $((0,15 \times 0,15) / (10,75 \times 9)) \times 100 = 0,02\%$

L'occupation du sol du projet est de 10,71m², soit 0,02%.

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 2,10) 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'inclinaison 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 Séverine à l'est de la zone.

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

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 3,5m entoureront la structure et permettront d'y accéder facilement pour des interventions techniques. Ces chemins serviront majoritairement à l'activité agricole (passage des engins).

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 3MWc va être réalisée auprès d'Enedis par le maître d'ouvrage une fois le permis de construire obtenu.

Le tracé du raccordement ainsi que le poste d'injection retenu ne peuvent donc être connus qu'après le résultat de l'étude technique menée par le gestionnaire de réseau et ne peuvent donc pas être communiqués à ce stade.

Enedis priorise le passage des câbles le long du domaine public et l'enfouissement des câbles. Ils recherchent le raccordement souterrain au réseau HTA le plus proche.

L'électricité sera possiblement injectée dans le réseau national à travers le poste source de **Sainte-Cécile-les-Vignes**, celui-ci étant le plus proche (~3km) du site du projet et ayant de la capacité disponible.

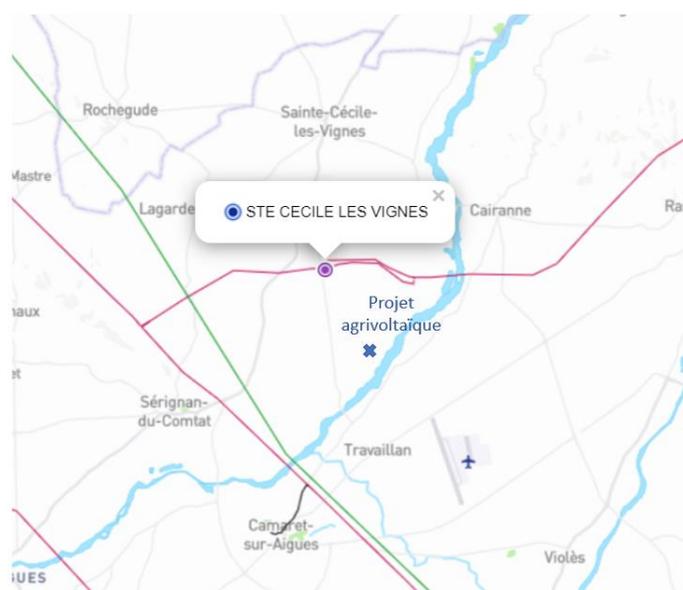


Figure 13 : Localisation du poste source de Sainte-Cécile-les-Vignes (Source : Caparéseau)

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 sur cinq ans 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 (2020/2021) :

- Si la phase la plus impactante pour la biodiversité est la construction du parc, un retour rapide et croissant de la biodiversité locale a été observé 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 (deux colonies confirmées), 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. La proportion d’espèces sciaphiles (affectionnant les milieux ombragés) est plus importante sur la structure ;
- L’installation ne semble pas hermétique au développement des insectes et à l’activité des chiroptères, qui chassent aussi bien sur la parcelle en agrivoltaïsme que sur la zone témoin.

4.3.1.2 Réalisation d'un diagnostic écologique

Pour le projet de Travaillan, Sun'Agri a fait appel au bureau d'étude Naturalia pour la **réalisation d'un diagnostic écologique**. Le bureau d'étude a réalisé un état initial de la zone lors de sorties terrain au printemps et à l'été et a analysé les effets potentiels du projet sur la biodiversité. L'étude est présentée en Annexe 10 de ce dossier.

L'étude a mis en évidence des **enjeux principalement situés sur les abords de la zone de projet** (notamment au niveau de la haie et du fossé en limite Ouest et Nord de l'emprise, d'importance pour la fonctionnalité écologique locale et favorable à diverses espèces protégées). L'implantation de la structure a donc été revue pour conserver un recul maximal vis-à-vis de cet espace à enjeux, qui sera **maintenu intact dans le cadre du projet**.

Au regard de la proximité avec les périmètres d'une ZNIEFF de type II et d'un site Natura 2000 impliquant la présence potentielle d'espèces d'oiseaux à enjeux (Outarde Canepetière, Œdicnème Criard), **un effort particulier a été entrepris sur la définition de mesures de réduction et d'accompagnement** (cf paragraphe suivant). Un formulaire d'évaluation simplifiée d'incidence Natura 2000 est également joint au diagnostic écologique (Annexe 10 §9.3).

Naturalia conclut que, **de par sa nature, sa taille, sa conception, ses modalités de construction et les mesures entreprises pour réduire ses impacts, le projet agrivoltaïque de Travaillan présentera un impact faible à négligeable 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, que Sun'Agri s'engage à mettre en œuvre :

- Mesure d'évitement en amont :
 - o Implantation de la centrale réfléchie conservant un recul maximal vis-à-vis des espaces à plus forts enjeux (ruisseau) ;
 - o Accès au site via un chemin existant ;
 - o Protection des secteurs d'intérêt écologique lors du chantier (préservation des secteurs à enjeux et limitation des emprises, des voies d'accès et des zones de stockage).
- Mesures de réduction en phase chantier :
 - o Adaptation du calendrier de réalisation du chantier, hors des périodes de sensibilité : de septembre à décembre ;
 - o Travaux uniquement diurnes ;
 - o Surveillance/Suppression d'Espèces Végétales Exotiques Envahissantes ;
 - o Création d'habitats de substitution pour la faune : création d'hibernaculums et installation de nichoirs à oiseaux (favorables à la nidification du Petit-Duc scops et/ou de la Chevêche d'Athéna) ;
 - o Suivi de la phase chantier par un écologue.
- Mesures d'accompagnement destinées à favoriser la biodiversité :
 - o Constitution de haies éco-paysagère (sans pour autant enfermer la parcelle, ce qui serait défavorable pour les espèces appréciant les milieux ouverts) ;
 - o Maintien des bandes enherbées ;
- 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 (avec attention particulière sur le suivi de la recolonisation et/ou du maintien des espèces patrimoniales).

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 viticulture, 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 Travaillan, 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 de projet est située au cœur d'une plaine agricole, en retrait du bourg de Travaillan, occupée par des domaines viticoles, des boisements et une trame bocagère. Ainsi, ce **maillage relativement dense et persistant vient masquer les vues depuis le paysage lointain**, réduisant la visibilité du projet. L'enjeu de visibilité est très faible.

Les enjeux identifiés concernent principalement les quelques habitations situées à proximité. **L'étude présente notamment la manière dont le projet a été adapté et les mesures définies en fonction**.

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 sa visibilité depuis les habitations et la route départementale à proximité, il a été décidé de **conserver les haies et alignements en périphérie de la ZIP, de positionner le bloc de la structure à l'est et de reculer légèrement l'implantation depuis le chemin Séverine pour s'éloigner de l'axe visuel de la route départementale au nord**.

De la même manière, le local technique, initialement positionné au plus proche de la route départementale au nord-est de la zone de projet, a été **déplacé plus au sud sur le chemin Séverine** permettant un recul de plus de 150m à l'habitation et une moindre visibilité depuis la route. **Le local technique fera également l'objet d'un aménagement paysager** (bardage bois, végétation au pied) afin d'améliorer son insertion.

Enfin **une haie paysagère** sera positionnée au nord afin de réduire la visibilité du projet depuis l'habitation à proximité. En concertation avec le bureau d'étude écologique, il a été décidé de ne pas entourer le projet de haies

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 goutte-à-goutte enterré** 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 puits du forage (déclaré) déjà présent sur la parcelle.

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 4,1ha de zone AVD et à 1,8 ha de zone témoin, nous estimons une consommation annuelle de :

$4,1 \times 1750 \times 0,8$ (zone AVD) + $1,8 \times 1750 = 5\,740 + 3\,150 = \mathbf{8\,890\ m^3 / an}$.

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 Travaillan

La zone de projet est localisée en **zone agricole Ai4 du PLU de Travaillan**, autorisant les installations nécessaires aux activités agricoles et les équipements d'intérêt collectifs.

Dans le secteur Ai3, Ai4 et Api4, pour toutes les constructions et installations admises dans le présent article, les planchers utiles créés devront être situés à 20 cm au-dessus de la cote de référence, **soit 0,70m au-dessus du terrain naturel**.

Le site de projet est concerné par deux servitudes T4 et T5 relatives au plan de servitudes aéronautiques de l'aérodrome Orange-Plan de Dieu. Après consultation des services de la SDRCAM Sud (réponse datant du 11 mars 2021), le projet n'est pas soumis à des préconisations de leur part, au regard de ses caractéristiques.

4.5.2 Risques naturels et technologiques

- Risque sismique

La commune de Travaillan est classée en **zonage sismique 1 (très faible)**. La commune n'est pas couverte par un Plan de Prévention des Risques Sismiques. Au regard de ses caractéristiques, le projet n'est pas susceptible d'avoir un impact sur la sismicité de la zone, ni d'en être impacté.

- Aléa retrait-gonflement des argiles

La parcelle est située en **aléa faible retrait-gonflement des argiles**. La commune n'est pas concernée par un Plan de Prévention Retrait-Gonflements. Au regard de ses caractéristiques, le projet n'est pas susceptible d'avoir un impact sur le retrait-gonflement des argiles, ni d'en être impacté.

- Risque d'inondation

La zone de projet est concernée par le **PPRI du Bassin Versant de l'Aigues, approuvé le 24 février 2016**, en zone Verte correspondant aux aléas résiduels (crue exceptionnelle). Les constructions y sont permises dans le respect de certaines prescriptions édictées au regard du niveau d'exposition au risque.

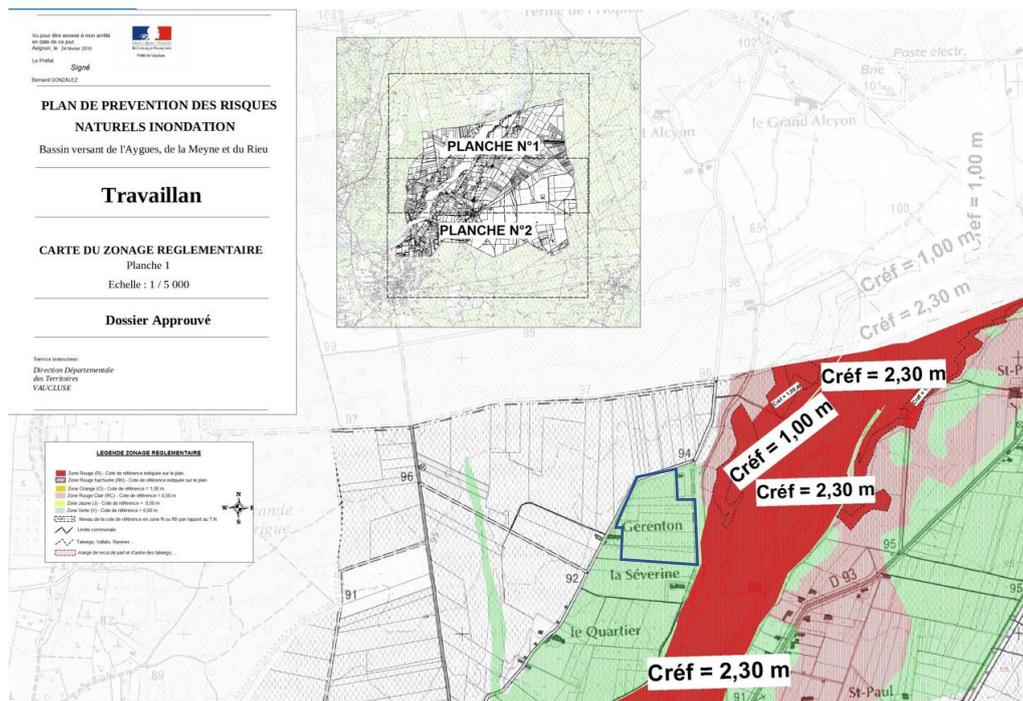


Figure 13 : Extrait du plan de zonage du PPRI du bassin versant de l'Aigues

Le règlement du PPRI du Bassin Versant de l'Aigues préconise, entre autres, les éléments suivants :

- Côte de référence : 0,50m ;
- Par mesure de précaution, le premier niveau de plancher des constructions sera calé 20cm au-dessus de la cote de référence ;
- Les installations (et en particulier les mâts d'ancrage au sol) doivent résister aux pressions hydrauliques des crues, écoulements et ruissellements pour la crue de référence et ne doivent pas entraver le libre écoulement des eaux et ne réduise pas le champ d'expansion des crues.

Sun'Agri a missionné le bureau d'étude SERTEC pour la réalisation d'une étude de résistance de la structure aux crues. Cette étude est présentée Annexe 7. **L'étude conclut que l'installation de la structure ne fait pas apparaître de désordre structurel pour la configuration donnée (aléa résiduel)**, à savoir une vitesse de crue maximale de 0,5m/s et une hauteur d'eau de 0,5m. L'installation résistera bien à cette pression hydraulique.

Les trackers, panneaux photovoltaïques et équipements sensibles seront bien implantés au-dessus de la côte des plus hautes eaux (+0,70m).

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 André Brunel et Fabrice Brunel (gérants du Domaine) et David Marseille (Chef de culture)
Tout au long du développement du projet	Echanges avec la Chambre d’Agriculture du Vaucluse
29/01/2021	Présentation du projet à Madame Bénédicte Martin – Conseillère Régionale – Présidente de la Commission « Agriculture, Viticulture, Ruralité, Forêt ».
07/07/2021	Présentation de Sun’Agri et du projet de Travaillan à la DREAL PACA (visio-conférence).
31/08/2021	Présentation du projet en mairie de Travaillan, en présence de Mme le Maire, de Monsieur Brunel et de Monsieur Marseille (chef des cultures)
28/09/2021	Transmission des informations sur le projet à la DDT84 (Guichet Unique)

SYNTHESE PARTIE TECHNIQUE DU PROJET

- Une structure agrivoltaïque sur **4,1ha** assortie d’une zone témoin sans panneaux de **1,8ha** ;
- Un projet s’insérant dans les **temporalités du travail agricole** du Domaine André Brunel – Les Cailloux (renouvellement d’un vignoble arrivé en fin de production optimale) et s’insérant dans une démarche de développement durable mise en place par le Domaine ;
- Un **projet innovant d’adaptation au changement climatique**, unique dans le département (vignes) ;
- Une zone de projet correspondant à un milieu cultivé (zone Ai4 du PLU de Travaillan) excentré par rapport au bourg de Travaillan à la **visibilité faible** ;
- 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 ;
- Une **occupation du sol très faible** 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.) ;
- Une durée d’exploitation de **30 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, rejoins 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.

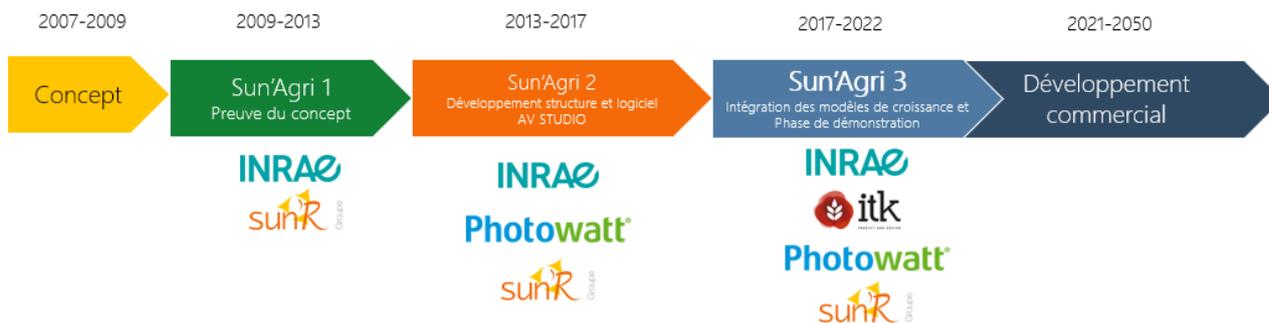
- **2009 – 2012 : Sun'Agri 1.** Les principaux résultats obtenus ont démontré qu'en pleine densité des panneaux, les rendements sont fortement réduits (de l'ordre de 40%). En condition de semi-densité (30% d'ombrage), certaines cultures ont maintenu un rendement agricole équivalent, voire supérieure 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 écophysiological 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)	<ul style="list-style-type: none"> - 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)	<ul style="list-style-type: none"> - Cultures sensibles aux fortes chaleurs, déficits hydriques, grêle, pluies fortes, gel printanier. - Pertes erratiques et croissantes 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)	<ul style="list-style-type: none"> - 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

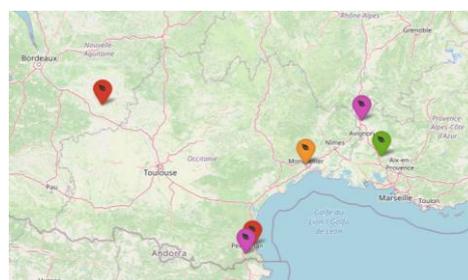
Sun'Agri dispose aujourd'hui de 7 dispositifs avec lesquels sont étudiés l'impact d'un ombrage spécifique sur culture, dont :

- 3 sur vigne, 1 sur pommier, 2 sur maraîchage 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. @Alénya	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 – Alénya	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 jusque +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 jusque -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 jusque 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.

