

Qair

En partenariat avec  Sun'Agri

Annexe 8 : Notice descriptive Projet agrivoltaïque de Lapalud



Source : Sun'Agri

Table des matières

1.	CONTEXTE DU PROJET	5
2.	PRESENTATION DE QAIR ET DE QAIR France :	6
2.1.	Le groupe Qair	6
2.2.	Qair France	7
3.	Présentation de Sun'Agri	8
4.	L'AGRIVOLTAÏSME : OUTIL AGRICOLE D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	8
4.1.	Le principe de l'agrivoltaïsme dynamique.....	8
4.2.	Un pilotage agronomique intelligent	9
4.3.	Une innovation issue d'un programme de recherche aux résultats agronomiques démontrés 10	
4.4.	Surfaces éligibles aux projets Sun'Agri	11
4.4.1.	Une pertinence agronomique à valider.....	11
4.4.2.	Configuration de la parcelle et compatibilité avec les documents d'urbanisme	12
4.4.3.	Qualification agronomique et définition du projet agricole	12
4.4.4.	Une structure adaptée aux exploitations viticoles et arboricoles	13
5.	PROJET AGRICOLE DE LA SCEA LES GENESTES	15
5.1.	Présentation du porteur de projet	15
5.2.	Intérêt agronomique et objectifs du projet	15
5.2.1.	Un projet répondant à des problématiques agro-climatiques de la filière arboricole en région Provence-Alpes-Côte d'Azur	15
5.2.2.	Objectifs du projet pour l'exploitation	20
5.3.	Choix de la parcelle de projet.....	21
5.4.	Description du projet agricole	21
5.4.1.	Surface agrivoltaïque et zone témoin	21
5.4.2.	Cultures.....	22
5.4.3.	Mode de culture	22
5.4.4.	Géométrie de culture	23
5.5.	Intérêt économique du projet pour l'exploitation	24
5.6.	Garanties de la vocation agricole primaire du projet.....	26
5.6.1.	Une gouvernance mettant l'agriculteur au cœur du processus	26

5.6.2.	Une synergie entre système agrivoltaïque et production agricole du projet validée par l'Appel d'Offres Innovation du Ministère de la Transition Ecologique.....	28
6.	DESCRIPTION TECHNIQUE DU PROJET.....	31
6.1.	Situation.....	31
6.2.	Caractéristiques techniques	31
6.2.1.	Descriptif de l'installation technique.....	31
6.2.2.	Emprise au sol et impact sur la pluie.....	32
6.2.3.	Etude des accès	34
6.2.4.	Stationnement et chemins	34
6.2.5.	Raccordement électrique et alimentation en électricité	34
6.2.6.	Démantèlement – Réversibilité de l'installation	35
6.3.	Intégration du projet dans son environnement.....	35
6.3.1.	Intégration du projet dans le milieu naturel	35
6.3.2.	Intégration paysagère du projet.....	37
6.4.	Mesures d'accompagnement agricole	37
6.5.	Documents photographiques	37
6.6.	Patrimoine archéologique	38
6.7.	Alimentation en eau	38
6.7.1.	Réseau d'irrigation.....	38
6.7.2.	Estimation de la consommation en eau	38
6.8.	Documents d'urbanisme	39
6.8.1.	PLU de Lapalud	39
6.8.2.	Risques naturels et technologiques.....	39
6.9.	Concertation avec les acteurs locaux	39
7.	ANNEXE 1 : PROGRAMME DE RECHERCHE ET RESULTATS EXPERIMENTAUX DE SUN'AGRI.....	41
7.1.	L'aboutissement de 12 ans de R&D et de trois programmes de recherche	41
7.1.1.	Positionnement par rapport aux autres technologies d'agrivoltaïsme	42
7.1.2.	Les cultures et régions cibles.....	43
7.2.	Des résultats ayant prouvé l'efficacité du système.....	44
7.2.1.	Les dispositifs expérimentaux	44
7.2.2.	Les démonstrateurs ou « projets pilotes ».....	46
7.2.3.	Synthèse des résultats en viticulture	47

7.2.4.	Synthèse des résultats en arboriculture.....	48
7.3.	Enjeux du déploiement à plus grande échelle	49
8.	ANNEXE 2 : PLAN DE MASSE DE LA CENTRALE AGRIVOLTAÏQUE	50

1. CONTEXTE DU PROJET

Le projet de LAPALUD concerne la SCEA Les Genestes, créée en 1989 et reprise en 1991 par Vincent TOUCHAT. Située dans le Vaucluse et plus précisément à Mondragon (siège) elle exploite aujourd'hui plus de 350 hectares de céréales, tomates, carottes, pommes de terre et vergers. La surface totale plantée en pommiers par la SCEA avoisine les 20 hectares et la seule variété produite est la Rosyglow, valorisée sous la marque PinkLady.

Aujourd'hui, les cultures de pommes de M. Touchat sont confrontées à des conditions climatiques de plus en plus extrêmes, entraînant des stress hydriques, thermiques et radiatifs importants pour des plantes qui n'ont pas développé de mécanisme de résistance. Le verger est également menacé chaque année par des épisodes de gel. À titre d'exemple, le gel d'Avril 2021 a été dévastateur pour nombre de vergers. Les vergers sont également durement menacés chaque année par des orages de grêle de plus en plus fréquents et intenses. Pour ce qui concerne la pomme, la problématique de brûlures des fruits lors des épisodes de canicule est à l'origine d'une fragilisation de la filière.

M. Touchat a manifesté un vif intérêt pour la solution d'agrivoltaïsme dynamique développée par Sun'Agri et déployée par Qair France en vue de répondre à l'ensemble de ces problématiques, et d'y associer une démarche tournée vers i) la promotion de technologies innovantes pour la protection des vergers, et ii) le maintien de la qualité de production, et donc de la bonne valorisation de sa production.

Le projet de verger s'implante sur une surface totale de 8,6 hectares délimitée par le chemin d'exploitation. Il comprend 0,6 hectares de surface témoin et 4,1 hectares sous dispositif agrivoltaïque de plein champ. Le verger sera entièrement replanté en pommes avec une densité équivalente à celle pratiquée en plein champ traditionnel (2000 pieds/ha), et irrigué en goutte à goutte. Le verger sera équipé de filets insectes et paragrêles fixés sur la structure agrivoltaïque. Ces filets de protection permettront de protéger les cultures en cas d'attaques de punaises, très problématique sur la culture. De plus, il pourra apporter une protection complémentaire face à la grêle.

L'installation, pilotée selon les besoins de la pomme, devrait permettre d'augmenter les produits d'exploitation de la SCEA Les Genestes d'environ 7 300€ par hectare et par an en moyenne, en considérant les seules améliorations des performances de l'activité arboricole, essentiellement qualitatives, et de diminution des pertes liées aux épisodes climatiques extrêmes.

Qair France, filiale du groupe Qair est producteur d'énergie indépendant. Qair est le porteur du projet de LAPALUD. La société se positionne en tant qu'investisseur, développeur du projet et coordonnateur de sa construction et de son exploitation. Le foncier est sécurisé pour la centrale agrivoltaïque par la voie de baux emphytéotiques pour une durée de 30 ans avec Vincent Touchat et sa fille.

Qair France a conclu un partenariat avec la société Sun'Agri, spécialisée dans l'accompagnement agricole du projet et le pilotage des persiennes agrivoltaïques.

Dans ce projet, Sun'Agri est prestataire de service auprès de Qair France pour i) définir le système agrivoltaïque adapté au projet en phase de développement et ii) piloter les panneaux en fonction des besoins des cultures en phase d'exploitation.

Il convient de noter l'engagement fort de la société Qair France pour proposer un projet agrivoltaïque vertueux à M. Touchat. La société s'engage en effet à désoptimiser la production électrique au service du pilotage agronomique (en moyenne 24,5 % de perte de revenus) malgré l'investissement conséquent.

Ce projet est lauréat de l'appel d'offres CRE innovation. Il est complémentaire des autres projets arboricoles également présentés au précédent et au présent appel d'offre, qui visent d'autres espèces et variétés, ainsi que d'autres typologies d'exploitations agricoles, également menacées par les changements climatiques. En effet, c'est le premier projet agrivoltaïque de grande envergure mené sur la culture de pommes Rosyglow (marque Pink Lady®) et Story® en conduite raisonnée.

Le suivi de ce projet pilote se fera en continuité du programme de recherche et développement Sun'Agri 3 et impliquera un consortium agronomique composé de la coopérative fruitière Cofruid'Oc, et de la Chambre d'Agriculture du Vaucluse (84) pour le suivi agronomique.

À ces deux organismes locaux, il est également prévu d'associer Star Fruits, l'éditeur de la pomme Pink Lady®, ainsi que l'association Pink Lady® Europe garante de la qualité et de la promotion de la pomme Pink Lady®.

2. PRESENTATION DE QAIR ET DE QAIR France :

2.1. Le groupe Qair

Le Groupe Qair est un **Producteur Indépendant d'Electricité (IPP) d'origine exclusivement renouvelable**, qui intervient en France et à l'international. Qair possède une expérience diversifiée dont les origines remontent aux années 80.

Le Groupe s'appuie sur l'expertise unique de ses équipes et l'expérience de son fondateur et actionnaire de référence, Jean-Marc Bouchet. En France, ce sont plus de 600 MW qui ont été développés, construits et exploités.

Depuis la cession de ses actifs « onshore » (600 MW) et de son pipeline de développement français à Direct Energie en octobre 2017 (racheté par TotalEnergies depuis), le groupe s'est restructuré de manière à devenir un IPP à la croissance rapide, à la fois dans les domaines onshore et offshore

Via sa filiale Qair International, le groupe est présent dans 21 pays, développant, construisant et exploitant des actifs éoliens onshore et offshore, photovoltaïques, hydrauliques, des projets de production d'hydrogène vert et d'éco-combustion, souvent avec des partenaires locaux.

Qair France, est une filiale détenue à 100% par Qair. Elle est dédiée à la production d'électricité d'origine éolienne, solaire et hydraulique en France.

Qair Premier Élément, est la filiale du groupe dédiée la production, au stockage, à la distribution et à la commercialisation d'hydrogène vert. Qair Premier Élément est lauréat du programme « Littoral + » et Corridor H2 avec la région Occitanie pour le développement de la filière en Occitanie.

Qair Marine, la filiale offshore de Qair détenue à 100% par le groupe, développe le projet Eolmed, l'un des quatre premiers parcs éoliens flottants en France. Qair Marine s'associe régulièrement à des partenaires de premier plan pour candidater aux appels d'offres offshore. À ce jour, le Groupe QAIR est le premier et seul industriel à avoir exploité une éolienne offshore française au Croisic (éolien flottant).

Le groupe détient également une participation minoritaire dans Primeo Energie France, aux côtés de Primeo Energie (ex-EBM), producteur et fournisseur indépendant d'électricité, vendant chaque année plus de 2 TWh d'électricité à des clients « B2B » en France.

Fort de son expérience en France et à l'international, et de la flexibilité que lui confère son statut d'entreprise intégrée à actionnariat indépendant et stable, le Groupe QAIR est porteur d'une capacité d'innovation technologique et sociétale. Le groupe poursuit ainsi sa stratégie d'expansion et vise 5 Giga Watts de capacités renouvelables connectés au réseau dans les 5 prochaines années.

En 2023, Qair rassemble plus de 500 collaborateurs.

2.2. Qair France

La société Qair France est dédiée à la production d'électricité d'origine éolienne, solaire et hydraulique en France. Grâce à des équipes pluridisciplinaires, la société maîtrise l'ensemble du cycle de vie d'une centrale électrique : depuis l'identification des sites jusqu'au démantèlement.

Qair France est basée à Montpellier mais possède de nombreux relais locaux afin d'être au plus proche des territoires.

3. PRESENTATION DE SUN'AGRI

La société Sun'Agri, est pionnière de l'agrivoltaïsme dynamique :



Sun'Agri répond à l'urgence du changement climatique en apportant aux agriculteurs une innovation de rupture aux résultats agronomiques démontrés visant à maintenir durablement voire améliorer les productions agricoles tout en produisant de l'électricité d'origine renouvelable et compétitive.

Sun'Agri intègre une équipe multidisciplinaire d'une trentaine de personnes : ingénieurs agronomes, spécialistes en agriculture, ingénieurs en génie mécanique et électrique, mais aussi data scientists, 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.

Les équipes de Sun'Agri sont réparties entre Lyon (équipes Projets et Agro-Opérations), Montpellier (équipes Recherche et Développement) et Paris (équipes juridiques et Pilotage).

4. L'AGRIVOLTAÏSME : OUTIL AGRICOLE D'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

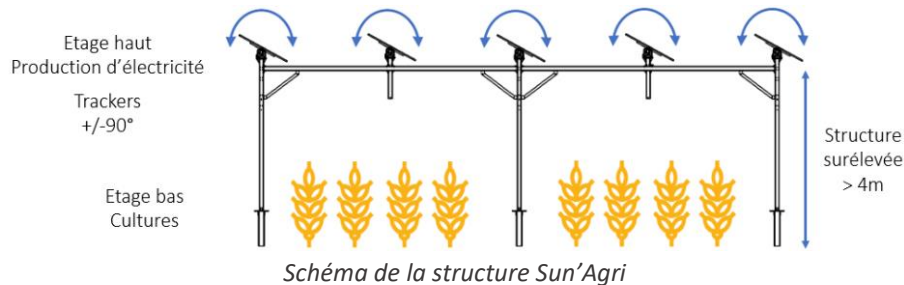
4.1. Le principe de l'agrivoltaïsme dynamique

Le fondement de l'agrivoltaïsme dynamique mis en œuvre par Sun'Agri consiste à **modifier le microclimat** (c'est-à-dire l'ensemble des paramètres climatiques de la parcelle cultivée : température, humidité, précipitations, intensité lumineuse) **pour maximiser le "bien-être" des plantes** à l'aide d'une "persienne" située en hauteur et composée de panneaux photovoltaïques mobiles.

La technologie Sun'Agri repose sur les grands principes suivants :

- Des **persiennes mobiles à +/-90° positionnées au-dessus de cultures**, constituée de panneaux photovoltaïques bifaciaux ;
- Une **structure porteuse adaptable aux besoins de l'exploitant agricole** (entraxe des poteaux, nombre de trackers, hauteur de la structure) ;
- Un **pilotage du positionnement des panneaux en temps réel** grâce au logiciel AV STUDIO © ;
- Un **suivi agronomique** sur le long terme : tous les projets possèdent une **zone témoin**, sans panneaux, pour comparaison scientifique opérée par des organismes indépendants ;

- Des projets calquées sur une plantation ou une replantation de parcelles agricoles, à densité similaire ;
- Une application mise à disposition des agriculteurs pour le suivi : **MySunAgri**.



Le principe du partage lumineux 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.



Ombrage maximal

Face à des épisodes d'ensoleillement excessif pour limiter voire éviter des stress hydriques et thermiques, ou lorsque la photosynthèse est inopérante



Ombrage minimal

Lorsque le stade physiologique de la plante nécessite une énergie lumineuse maximale, les panneaux sont en effacement



Préservation de la température

Les gelées printanières sont évitées si les panneaux sont mis à plat durant la nuit (+1 à 3°C)

Trois exemples d'orientation des panneaux, source Sun'Agri

4.2. Un pilotage agronomique intelligent

Le pilotage de la persienne est effectué via le logiciel **AV STUDIO** développé par la direction scientifique de Sun'Agri. Ce software unique au monde, véritable innovation technologique, permet d'orienter de façon optimale les panneaux photovoltaïques grâce à des algorithmes :

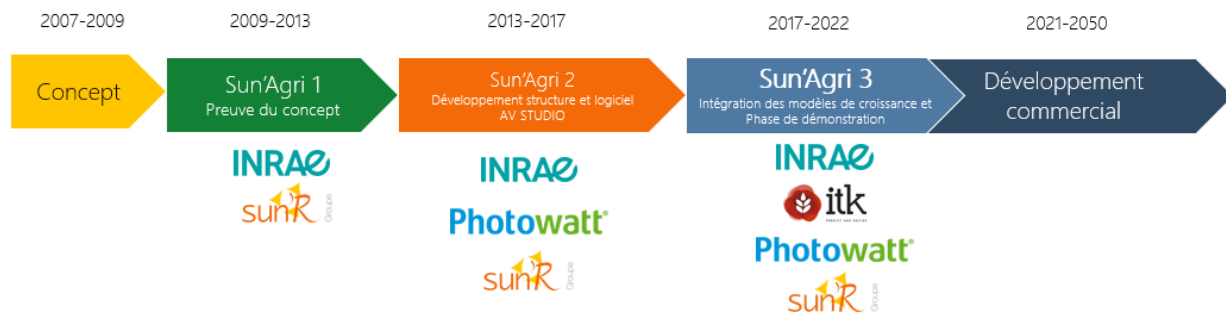
- En temps réel en fonction des données des capteurs installés *in situ* ;
- En tenant compte des conditions climatiques ambiantes ;
- En faisant appel à des modèles agronomiques numériques de croissance des plantes décrivant les comportements de l'espèce (et de la variété) ;
- Et en faisant appel à la technologie du big data et de l'intelligence artificielle.

Le pilotage est prioritairement effectué au bénéfice agronomique, conduisant à accepter une dégradation de la production d'électricité ("*taux d'effacement*").

Le point clé de l'innovation tient au fait que les panneaux sont pivotés de façon à optimiser le micro-climat pour la croissance de la culture, et non la production électrique.

4.3. Une innovation issue d'un programme de recherche aux résultats agronomiques démontrés

Pour aboutir à cette technologie, Sun'Agri a travaillé en partenariat avec un écosystème de chercheurs reconnus du monde agricole dont l'INRAE et ITK.



Chronologie des programmes de recherche Sun'Agri

La partie 3 de ce document présente plus en détails :

- Les **trois programmes de recherche successifs** ayant permis d'aboutir à la technologie actuelle ;
- Les **dispositifs expérimentaux** construits ayant permis d'évaluer l'intérêt agronomique de la technologie en fonction des cultures et de créer une base de données expérimentales afin d'alimenter les modèles de croissance permettant **d'établir des stratégies de pilotage des panneaux** ;
- Une **synthèse des résultats agronomiques en arboriculture et viticulture** ;
- Les **démonstrateurs (ou « projets pilotes ») d'ores et déjà en fonctionnement** : des projets à plus grande échelle, en condition réelles d'exploitation agricole, portés en partenariat avec des agriculteurs. Ils permettent une démonstration de la technologie dans des caractéristiques de terroirs, cépages et climats différents ;

- Les enjeux du déploiement à plus de projets à plus grande échelle.



*Dispositif expérimental en vignes à Piolenc (84) sur les parcelles de la Chambre d'Agriculture 84 (à gauche)
Dispositif expérimental en arboriculture à Mallemort (13) sur la station expérimentale de la Pugère (au centre)
Dispositif expérimental en cerisiers à Loriol-sur-Drôme (26) sur les parcelles de l'EARL Clair Fruits (à droite)*

Source : Sun'Agri



*Démonstrateur agrivoltaïque de Tresserre (66) – Domaine de Nidolères
Première centrale agrivoltaïque mondiale (construite en 2018)*

Source : Sun'Agri

4.4. Surfaces éligibles aux projets Sun'Agri

4.4.1. Une pertinence agronomique à valider

Dans un premier temps Sun'Agri cible les cultures à haute valeur ajoutée dans les zones à fort ensoleillement où l'impact du changement climatique est déjà une contrainte pour les exploitants. Ces cultures nécessitent une adaptation des systèmes de production afin de maintenir leur exploitation dans les bassins de production actuels.

Les projets Sun'Agri doivent répondre à un réel besoin d'adaptation des cultures aux conséquences du dérèglement climatique (stress hydrique élevé et croissant, vulnérabilité aux épisodes de gel et de grêle, etc.).

Si l'intérêt de la technologie pour le type de culture visée n'est pas avéré, le projet n'est pas sélectionné.

4.4.2. Configuration de la parcelle et compatibilité avec les documents d'urbanisme

Dans un deuxième temps, Sun'Agri applique des filtres, à la maille de chaque parcelle qui correspondent à des contraintes incompressibles :

- Terrain en **zone agricole** (zone A du PLU) ;
- 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 ;
- Les parcelles doivent pouvoir inclure une **parcelle témoin**, adjacente au projet AVD, qui sera nécessaire au bon suivi agronomique du projet.

Un pré-diagnostic sur les sujets de l'urbanisme et des contraintes techniques est réalisé en amont du développement, afin de vérifier qu'aucune contrainte rédhibitoire ne régit la zone. Y sont notamment étudiés les aspects environnementaux et paysagers.

4.4.3. Qualification agronomique et définition du projet agricole

Une fois les principaux critères d'éligibilité vérifiés, les ingénieurs agronomes engagent une phase de **définition du projet agricole** avec l'agriculteur.

Le référent agronomique du projet se rend sur place pour rencontrer l'agriculteur 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 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 à l'exploitant agricole** : 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), un business plan économiquement viable sur les 30 ans du projet.

Ces informations sont confirmées au moment de l'appel d'offres, puis actualisées avant l'enclenchement des phases de chantier à la suite d'éventuels changements survenus sur le projet initial.

4.4.4. Une structure adaptée aux exploitations viticoles et arboricoles

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

La durée de vie prévisionnelle de la vigne est d'environ 30 ans, celle d'un verger de 15 ans.

La **durée contractuelle de l'implantation de la structure agrivoltaïque étant de 30 ans**, cela correspond parfaitement à la durée de vie de la vigne et à deux fois celle d'un verger (renouvellement des plants prévus au bout de quinze ans).

4.4.4.2. Une structure adaptée aux exigences du monde agricole

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



Dimensions adaptées aux pratiques agricoles



Effacement total du système



Ancrage sans impact pour l'agriculture

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 à utiliser la structure pour palisser les arbres ou les vignes.

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.

5. PROJET AGRICOLE DE LA SCEA LES GENESTES

5.1. Présentation du porteur de projet

Le projet LAPALUD concerne l'exploitation agricole de la SCEA Les Genestes, située à Mondragon (siège), et plus précisément sur la commune de Lapalud (projet) dans le Haut Vaucluse. V. TOUCHAT a repris l'exploitation de son grand-père en 1991 et l'a développée jusqu'à aujourd'hui. Il possède désormais plus de 350 hectares partagés entre grandes cultures industrielles (semences etc.), céréalières et légumières (tomates conserves, carottes, pommes de terre, etc.) et de l'arboriculture (variétés culturales de pommiers valorisés sous la marque Pink Lady®). L'exploitation agricole se distingue par sa dynamique d'innovation forte, capable de prendre des risques sur des systèmes en rupture avec les usages traditionnels. V. TOUCHAT, et sa fille qui prendra la suite, souhaitent participer à des solutions innovantes, en développant un verger du futur sous dispositif agrivoltaïque.

5.2. Intérêt agronomique et objectifs du projet

5.2.1. Un projet répondant à des problématiques agro-climatiques de la filière arboricole en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur compte **30 700 hectares de vergers**, dont 50% en fruits à pépins, 18% de fruits à noyau et 32% en oléiculture. En 2019, **530 000 tonnes de fruits ont été produites**. La pomme est largement représentée, avec 343 600 tonnes produites sur 10 200 hectares, en particulier dans les départements des Hautes-Alpes, des Alpes-de-Haute-Provence, du Vaucluse et des Bouches-du-Rhône. Pour le reste, les olives représentent une production de 14 000 tonnes pour 10 00 hectares ; les cerises représentent 2 700 pour 2700 hectares principalement localisés dans le Vaucluse ; les poires représentent 52 000 tonnes pour 2200 hectares, en majorité dans les Bouches-du-Rhône (Chambres d'agriculture PACA¹ & DRAAF PACA², 2020).

Or, la filière est aujourd'hui fortement menacée par les effets du changement climatique : en 60 ans, il a été observé une **augmentation de la température de +1,8°C** pour la région PACA (tendance observée de +0,3°C par décennie depuis 1960). Il a aussi été constaté un accroissement des températures estivales (+3°C en 60 ans), une augmentation de nombre de journées chaudes (>25°C : +36°C en 60 ans) et des

¹ Chambre d'agriculture PACA, 2020 : <https://paca.chambres-agriculture.fr/notre-agriculture/productions-vegetales/#c53933>

² DRAAF PACA, 2020 : https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Memento2020-07-ProductionVegetales_cle815453.pdf

précipitations annuelles qui présentent une variabilité interannuelle, alternant entre des années de sécheresse et des années avec de fortes pluies (GREC-SUD³, 2021). De plus, les arboriculteurs doivent également faire face à des événements climatiques de plus en plus fréquents et intenses, tels que des **gels** printaniers, de violents épisodes de **grêle**, une **pluviométrie** élevée favorisant les maladies, ainsi que des **canicules** et **sécheresses**. Le changement climatique modifie les pratiques culturales, pénalisent fortement les productions, en rendement et qualité, et à terme pourraient impacter durablement les terroirs.

Pour exemple, ces dernières années, la région PACA a été sévèrement touchée par divers aléas climatiques de forte ampleur :

- **Gelées printanières :**

Au printemps, les gels peuvent provoquer de nombreux dégâts, et leur impact est particulièrement marqué quand ils succèdent des stades phénologiques sensibles comme la floraison. Que ce soient pour les fruits à pépins ou à noyau, le gel détruit les bourgeons et les fleurs, brûle les fruits en formation, et dans le cas spécifique des kiwis, endommage les rameaux fructifères et peut provoquer l'éclatement de l'écorce (causant la mort de l'arbre).

Les épisodes de gel sont observés chaque année, certaines années sont plus marquantes telles que :

- En **avril 2017**, de fortes gelées nationales ont frappé l'ensemble des productions arboricoles et viticoles françaises. En PACA, les pertes ont été très variables, entre 10 à 100% selon les localisations, avec des dommages plus importants dans la partie alpine de la région⁴. Selon l'INSEE, ce gel aurait réduit de 30% la production de pommes, qui étaient en fleurs lors de l'aléa⁵.
- En **2019**, des gelées printanières tardives ont impacté les productions d'abricots, de pêches et de pommes⁶.
- Fin **mars 2020**, la région PACA a été touchée par des forts épisodes de gel : dans le Var et dans les Alpes-de-Haute-Provence, les températures seraient descendues à -7°C. Les dégâts, conséquents, varient selon les secteurs⁷.
- La gelée d'**avril 2021** a été la plus marquante : les effets ont été particulièrement dévastateurs à cause des températures qui sont descendues jusqu'à -5°C et -7°C pendant la nuit, en pleine période de débourrement pour les arbres fruitiers. Toutes les cultures ont été touchées et les pertes ont été historiquement importantes, telles que le montre le tableau ci-dessous⁸ :

³ GREC-SUD, 2021 : <http://www.grec-sud.fr/wp-content/uploads/2017/09/GREC-PACA-Publication-changement-climat-27Mo.pdf>

⁴ DRAAF PACA, 2017 : https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/BSV_PACA_Arbo_28_13_dec_2017_Bilan_cle86a2a9.pdf

⁵ INSEE, 2017 : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3549306?sommaire=3550596>

⁶ DRAAF PACA, 2019 : https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/116_Bilan_Agricole_2019_PACA_cle8a51da.pdf

⁷ Arboriculture-fruitière, mars 2020 : <https://www.arboriculture-fruitiere.com/articles/technique-fruit/gel-des-degats-importants-dans-plusieurs-departements>

⁸ Préfet des Bouches-du-Rhône, 2021 : <https://www.bouches-du-rhone.gouv.fr/content/download/42979/244034/file/Plaque%20Gel%20des%20cultures%202.pdf>

Production	Taux de perte moyen	Production	Taux de perte moyen	Production	Taux de perte moyen
Abricots	85%	Pommes	75%	Olives	60%
Pêches	85%	Poires	90%	Kaki	40%
Nectarines	85%	Amandes	95%	Noyer	90%
Cerises	84%	Grenades	50%	Kiwi	70%
Prunes	86%	Figues	75%		

Taux de pertes moyens déclarés dans les Bouches-du-Rhône (Source : préfet des Bouches-du-Rhône, 2021)



Gel de printemps dans des vergers.
(Source : arboriculture-fruitière)

○ Canicule et sécheresse :

Les canicules ont des effets conséquents sur les vergers. Le soleil brûle le feuillage ainsi que les fruits, assèche la plante, et peuvent provoquer des arrêts de grossissement des fruits, engendrant à l'évidence de fortes pertes de rendement. Dans les cas les plus désastreux, des incendies peuvent se déclencher et tout ravager. Par ailleurs, les fortes chaleurs ont également un impact sur la phénologie des arbres fruitiers : ceux-ci sont de plus en plus précoces, et l'avancement des stades phénologiques, en particulier des stades sensibles tels que la floraison, rend les cultures plus vulnérables aux gels printaniers.

Outre les pertes engendrées par la canicule, les agriculteurs évoquent également la difficulté du verger à se remettre de ce type d'épisode : si la durée de vie du verger diminue, c'est immédiatement la survie de l'exploitation qui est en jeu. Or les épisodes de canicule sont appelés à se renforcer dans les décennies à venir, à gagner en intensité et à durer potentiellement plusieurs semaines (Serge Zaka, chercheur en agro climatologie à ITK).

Ces dernières années, la région PACA a connu plusieurs évènements de canicule/sécheresse :

- **L'année 2017** a connu des chaleurs exceptionnelles : dès le printemps, les températures ont été largement supérieures aux normales de saison, engendrant une évolution très rapide des stades phénologiques. À cause de leurs débournements et floraisons précoces, les productions ont été victimes des gelées d'avril. Puis pendant l'été, les températures sont montées jusqu'à 37 à 41°C,

et ont été suivies d'une sécheresse exceptionnelle en intensité et en durée : en moyenne, le bilan pluviométrique de l'année a été déficitaire de 30 à 45%⁹.

- La canicule de **juin-juillet 2019** fut la plus marquante : un nouveau record de températures a été battu en France, avec des pics de températures atteignant 45°C et une sévère sécheresse estivale. La canicule et le déficit hydrique des sols ont fortement entravé le grossissement des fruits. Ainsi, les rendements et la qualité des productions arboricoles ont globalement été très impactés¹⁰ :
 - Pommes : abondance de petits calibres avec des défauts de coloration. Perte de rendement estimée à 10%.
 - Abricots : petits calibres et difficultés qualitatives qui ont eu un fort impact sur la commercialisation.
 - Pêches et Nectarines : deuxième récolte la plus faible par rapport aux cinq dernières années.
- De nouveau en **2022**, la France connaît une canicule conséquente, une sécheresse marquée dès le mois de mai, et la mise en place de restrictions d'eau qui inquiète fortement les agriculteurs¹¹.



*Pommes et abricots brûlés (canicule de 2019)
(Source : Agroressource & France3)*

○ Grêle :

En parallèle, les vergers sont menacés par des épisodes de grêles, phénomènes fréquents et localisés, qui peuvent avoir lieu entre mars et août. Outre l'impact direct sur le rendement de l'année, le phénomène peut aussi provoquer des blessures sur les branches et les bois qui sont propices au développement de maladies, ainsi que d'engendrer des pertes sur la production de l'année suivante, voir la mort définitive de l'arbre. Ces dernières années, des épisodes de grêles de plus en plus violents sont apparus :

- L'année **2018** a connu deux épisodes de grêle majeurs : Pendant le mois de **mai**, une violente averse de grêle a détruit les cultures de cerises et de raisins dans le secteur du Luberon, dans le Vaucluse¹². Les agriculteurs ont perdu entre 60 et 80% de leur production. Puis en **août**, le

⁹ DRAAF PACA, 2017 : https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/BSV_PACA_Arbo_28_13_dec_2017_Bilan_cle86a2a9.pdf

¹⁰ Agreste PACA, 2019 : https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/116_Bilan_Agricole_2019_PACA_cle8a51da.pdf

¹¹ Challenge, 2022 : https://www.challenges.fr/economie/secheresse-historique-et-canicule-mettent-a-mal-l-agriculture-francaise_823033

¹² France3, mai 2018 : <https://france3-regions.francetvinfo.fr/provence-alpes-cote-d-azur/vaucluse/luberon-recoltes-cerises-raisin-detruites-grele-bonnieux-lacoste-goult-1479473.html>

secteur des Entrevaux, dans les Alpes-de-Haute-Provence, a subi de violentes chutes de grêlons de la taille d'une balle de ping-pong¹³.

- En **juillet 2021**, le secteur de Sisteron, dans les Alpes-de-Haute-Provence, a subi un orage de grêle qui a fait de nombreux dommages. Certains poteaux en bois, qui supportent les filets paragrêles, ont cassé à cause des grêlons et les jeunes vergers ont été les plus impactés¹⁴.
- En **mai 2022**, un orage de grêle s'est abattu sur les Alpes-Maritimes qui a fait de nombreux dommages. De plus, près de trois mois de pluie sont tombés : bien que le secteur souffrait de sécheresse depuis un an, les pluies diluviennes ont eu un impact négatif sur les plantations et la terre, qui n'était pas capable d'absorber une telle quantité d'eau¹⁵.



*Abricots et poires frappés par la grêle (2018-2019)
(Photo : LeParisien & Franceinfo & freshplaza)*

○ Pluviométrie :

Les fortes pluies occasionnent également des dégâts importants sur les fruits les plus fragiles. C'est notamment le cas des cerises, dont la forte quantité d'eau peut faire éclater la chair. En **mai 2019**, un épisode de pluie notamment fragiliser la tenue des variétés précoces de cerise¹⁶. De plus, une humidité trop importante favorise le développement des maladies, telles que le mildiou.

¹³ HauteProvenceInfo, 2018 : <https://www.hauteprovenceinfo.com/article-21443-entrevaux-les-vergers-impactes-par-les-violentes-chutes-de-grele.html>

¹⁴ Chambre d'agriculture PACA : <https://paca.chambres-agriculture.fr/les-actualites-proches-de-vous/detail-de-lactualite/actualites/grele-la-ddt-sur-le-terrain-pour-constater-les-degats/>

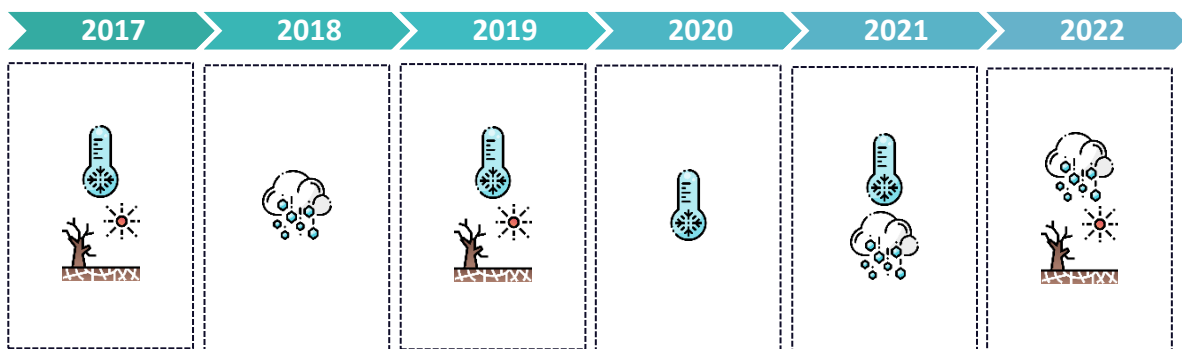
¹⁵ Coordination Rurale, mai 2022 : <https://www.coordinationrurale.fr/alpes-maritimes-dimpressionnants-orages-de-grele-sabattent-sur-les-cultures-et-les-exploitations/>

¹⁶ DRAAF PACA, 2019 : https://draaf.paca.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/116_Bilan_Agricole_2019_PACA_cle8a51da.pdf



Cerises éclatées
(Photo : France3)

En résumé, au total sur les dix dernières années, six années ont connu des évènements climatiques aux conséquences importantes :



Légendes

 : Grêle ;  : Gel ;  : Canicule/ sécheresse

Ainsi, dans ces conditions, l'installation d'un système agrivoltaïque dynamique présente un véritable avantage dans l'adaptation des vergers de la région PACA face au changement climatique et aux différents aléas climatiques.

5.2.2. Objectifs du projet pour l'exploitation

Aujourd'hui, la SCEA Les Genestes est contrainte de trouver des solutions alternatives pour protéger ses vergers de l'impact du changement climatique. En effet, ses domaines sont régulièrement touchés par des aléas climatiques, de plus en plus fréquents et intenses. L'exploitation est notamment soumise à des canicules tous les ans, provoquant de coups de soleil sur les cultures, ainsi qu'à des gels, plus périodiquement, qui peuvent néanmoins causer jusqu'à 50% de dégâts. Aujourd'hui, la grêle a lieu plus rarement sur la parcelle, toutefois V. TOUCHAT observe une modification du climat qui laisserait attendre une intensification de ce phénomène.

Ainsi, V. TOUCHAT souhaite installer un système agrivoltaïque dynamique dans le but :

- De protéger la production des dégâts engendrés par les aléas climatiques et d'obtenir un rendement lissé d'une année à l'autre ;
- D'adapter son mode de culture dans un contexte de changement climatique en maîtrisant le microclimat des pommiers ;
- De maintenir la qualité de la production pour une bonne valorisation à la commercialisation ;
- D'entreprendre une démarche d'innovation dans l'agriculture et d'être moteur sur le territoire.

5.3. Choix de la parcelle de projet

La zone de projet couvre une surface de 8,6 hectares en incluant les chemins d'exploitation agricole, les surfaces plantées sous panneaux de 4,1 hectares et les surfaces du verger sans panneaux. Elle s'implante sur parcelles ZC47 et ZC106, située à l'est de la commune de Lapalud, sur le lieu-dit « Les Contrats sud ».

À ce jour, les parcelles sont occupées au nord par une pépinière de pommiers. Ces plants seront retirés avant la construction de la centrale. Le sud du site est cultivé en grandes cultures.

Cette parcelle 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.

5.4. Description du projet agricole

5.4.1. Surface agrivoltaïque et zone témoin

Le projet consiste en une **structure agrivoltaïque de 4,1 hectares ouverte positionnée sur une parcelle nouvellement plantée en pommiers ainsi qu'une zone témoin représentative sans panneaux de 0,6 hectares qui servira pour la comparaison du suivi agronomique.**

La surface agrivoltaïque correspond à 1% de la surface totale de l'exploitation agricole.

La zone témoin sera conduite dans des conditions similaires que la parcelle agrivoltaïque. Elle possède une surface représentative (2000 m² par variété) non influencée par la structure (évitement des effets de bord et de l'ombrage). Elle sera plantée en même temps que la plantation de la surface agrivoltaïque.

5.4.2. Cultures

Espèces et variétés agricoles :

Ce projet pilote sera une structure agrivoltaïque ouverte en plein champ sur une parcelle nouvellement plantée en pommes. Les variétés sélectionnées par l'agriculteur sont la Rosy Glow (une des trois variétés autorisées à être commercialisée sous la marque Pink Lady®) sur une majorité de la parcelle, ainsi que de la Story®. Ces deux variétés ont été sélectionnées de manière concertée pour leurs très bonnes qualités organoleptiques qui en font des variétés attractives pour le consommateur.

Production annuelle estimée :

À ce jour, les rendements de la SCEA Les Genestes varient entre 50 et 55 t/ha/an. En installant un système agrivoltaïque dynamique, V. TOUCHAT espère obtenir un rendement « lissé » avoisinant 55 t/ha/an sous le système. L'objectif est d'homogénéiser les rendements d'une année sur l'autre, en réduisant l'impact délétère des épisodes climatiques qui peuvent diminuer le volume de production de 25%. La parcelle de 4,1 hectares produirait donc annuellement 225 tonnes sous panneaux photovoltaïques et 258 tonnes en comptant la production de la zone témoin.

Valorisation de la production :

Le verger agrivoltaïque produira des pommes brutes de cueille, destinées à la coopérative Cofruid'Oc.

5.4.3. Mode de culture

Certifications :

La production de la parcelle agrivoltaïque sera conduite selon un mode de production raisonné. V. TOUCHAT mettra en place un itinéraire technique basé sur :

- L'apport d'intrants majoritairement d'origine organique (engrais verts, compost...) ;
- L'utilisation de filets anti-insectes afin de lutter contre la pression des ravageurs de façon la plus respectueuse de l'environnement possible qui serviront aussi de protection pour la grêle ;
- La limitation de l'usage de produits phytosanitaires.

Irrigation :

Une irrigation sera mise en place sur la parcelle de type goutte à goutte dans le but de démultiplier les bienfaits d'un ombrage intelligent.

Itinéraire technique général :

Itinéraire technique du projet LAPALUD, source Sun'Agri

Mécanisation :

Le dimensionnement du verger agrivoltaïque a été pensé de manière à conserver des distances de plantation strictement égales à celles d'un verger classique afin que la mécanisation soit la plus efficace possible. Ainsi, une partie des travaux sera **mécanisée** à la parcelle, notamment :

- Les entretiens mécaniques du sol (labour, désherbage sur le rang, broyage des bois de taille),
- Les traitements phytosanitaires,
- Les tailles.

En capacité d'employer de la main d'œuvre permanente et saisonnière, V. TOUCHAT réalisera sur la parcelle agrivoltaïque une récolte manuelle.

5.4.4. Géométrie de culture

Les rangs d'arbres seront plantés selon un axe nord-sud avec pour distances de plantation **4 m** d'inter-rang et **1,25 m** d'inter-pied (voir schémas ci-dessous), ce qui est très similaire à des plantations de vergers classiques.

Le verger agrivoltaïque aura une densité de plantation de **2 000 pieds/ha**.



Schéma coupe et vue du ciel de la structure AVD du projet LAPALUD, source : Sun'Agri

Comme schématisé ci-dessus, la totalité des rangs sera plantée sur la rangée de poteaux de la structure agrivoltaïque, **et ne nécessiterait donc plus de l'installation de poteaux de palissage**. Ceci représente un gain non négligeable sur le coût d'implantation du verger.

5.5. Intérêt économique du projet pour l'exploitation

Nous ne détaillons ici que le modèle d'affaires de la partie agricole. Nous rappelons également que **l'agriculteur ne perçoit pas de loyer**. Le gain économique attendu par l'agriculteur dépend donc de l'amélioration des performances de son exploitation grâce au système agrivoltaïque.

La modélisation économique de l'exploitation agricole consiste à réaliser le **calcul de la différence entre le résultat du budget partiel avec et sans système agrivoltaïque** sur la durée du projet, soit trente ans. Cela revient à comparer les résultats de la parcelle agrivoltaïque avec les résultats de la zone témoin.

Hypothèses de travail pour la construction du modèle d'affaires

Les hypothèses formulées pour ce modèle d'affaires sont appliquées au **contexte de production agricole de LA SCEA LES GENESTES**. Les hypothèses suivantes ont été préalablement définies et justifiées :

- **Surface de verger plantée sous dispositif agrivoltaïque dynamique = 4,1 ha.**
- **Augmentation des coûts de travaux mécanisés** : liée à la présence de la structure dans le verger, variable selon les travaux à mener (et donc selon les années), une augmentation moyenne est estimée à +20% et dégressif sur les 10 premières années d'exploitation.
- **Diminution de la consommation en eau de la plante** : -22,6% de coût d'irrigation. L'ombrage permet de diminuer le phénomène d'évapotranspiration des plantes. En limitant leurs pertes hydriques, elles consomment moins d'eau.

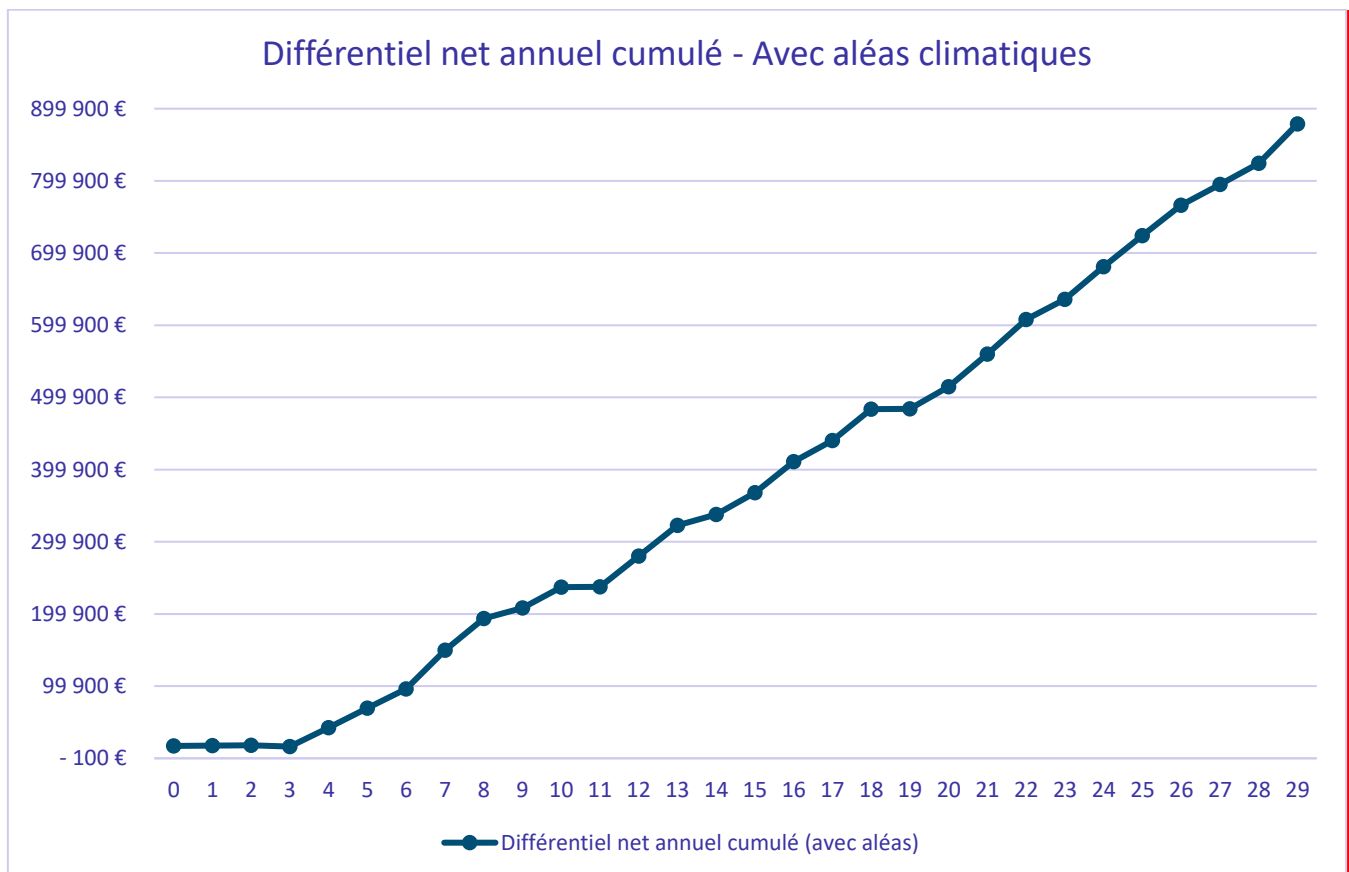
Annexe 8 : Notice descriptive – projet agrivoltaïque de Lapalud

- **Suppression du coût d'installation des poteaux de palissage** : les poteaux du dispositif AVD pourront être utilisés comme support pour l'installation du palissage.
- **Synergie avec des outils agricoles complémentaires** : la structure installée permet la synergie avec d'autres outils en utilisant les poteaux en place pour l'installation de filets anti-insectes, ne laissant à la charge de l'exploitant que les coûts de filets.
- **Limitation des pertes sur la récolte lors des épisodes de gel printanier** : Ces années-là, on estime l'impact des dégâts par brûlures des bourgeons, fleurs ou petits fruits de l'ordre de 10% sur la production.
- **Limitation des pertes sur la récolte lors des canicules estivales** : Les épisodes caniculaires sont à l'origine de brûlures sur fruits et de la diminution des calibres des fruits, dégradant la production. On estime l'impact de cet aléa de l'ordre de 10% sur la production.
- **Limitation des pertes sur la récolte lors d'orages de grêle** : Lorsque la grêle impacte le verger, elle occasionne des blessures sur les branches, les fruits et les feuilles. Ces impacts peuvent se répercuter de façon pluriannuelle. Grâce à la protection physique apportée par les panneaux, et de l'action indirecte des filets anti-insectes on évite 100% des pertes.

L'implantation d'un système agrivoltaïque sur le verger répond à la volonté croissante de V. TOUCHAT de protéger son verger des aléas climatiques, de sécuriser sa production et de réduire ses frais d'irrigation. La structure agrivoltaïque permet entre autres d'être utilisée comme support pour le palissage, voir également pour l'installation de filets de protection contre les ravageurs.

C'est pourquoi, afin de rendre d'autant plus réaliste le modèle d'affaire du projet de LAPALUD, nous avons simulé des épisodes de canicules, de gels et de grêles sur 30 ans. Le système agrivoltaïque offre donc la possibilité de limiter les pertes de production sur ces années, en protégeant contre le gel, et en limitant les effets de brûlures.

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution du gain net cumulé sur les 30 ans :



Evolution du gain net cumulé sur 30 ans pour 4,1 ha en situation agrivoltaïque dynamique, source : Sun'Agri

En prenant en compte les charges impactées (cf. coût des temps de travaux mécanisés...) et les gains réalisés, **ainsi que l'impact des aléas climatiques**, le système agrivoltaïque dynamique apporte **un gain net total sur 30 ans de 880 000 € pour les 4,1 ha, soit 220 000 € par hectare sur 30 ans**, et donc un **gain annuel moyen de 7 300 €/ha**.

5.6. Garanties de la vocation agricole primaire du projet

Outre les critères d'éligibilité des projets exigeants fixés par Sun'Agri, la société veille par plusieurs engagements forts à garantir la vocation agricole primaire du projet ainsi que la priorité donnée aux cultures et ce sur toute sa durée de vie.

5.6.1. Une gouvernance mettant l'agriculteur au cœur du processus

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.



- **L'investisseur :**

Qair est l'investisseur dans ce projet. Une société de projet (SPV) sera créée spécifiquement pour ce projet.

Un contrat de services agrivoltaïques sera conclu entre Sun'Agri et la Société de projet (SPV) pour toute la durée d'exploitation du projet agrivoltaïque (environ 30 ans).

Ce document s'articule autour des trois enjeux majeurs du pilotage agronomique :

1. Acter la **désoptimisation de la production électrique au bénéfice de la production agricole**,
2. Garantir l'**indépendance financière de Sun'Agri** pour sa prestation de pilotage (rémunération au forfait et non en fonction de la production électrique),
3. Apporter de la **visibilité à l'investisseur concernant la variabilité du taux d'effacement** propre au projet donné afin qu'il puisse monter un dossier et obtenir un financement bancaire.

- **L'agriculteur :**

L'agriculteur 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 sont pris en compte dans la conception de la géométrie du projet.

Il ne touche aucun loyer et la structure lui est mise à disposition pour lui comme un outil de protection.

La structure agrivoltaïque est un outil au bénéfice de l'exploitation agricole et c'est la vente d'électricité qui finance la structure

Il achète les plants et cultive les terres **sur lesquelles sera implantée la structure, tout au long de sa durée de vie**, et dans les conditions définies avec les ingénieurs agronomes de Sun'Agri.

L'agriculteur aura la possibilité d'investir dans la SPV et donc de devenir actionnaire de la société de projet.

- **Sun'Agri :**

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

Plus particulièrement, Sun'Agri réalise les services agrivoltaïques suivants :

- Définition du cahier des charges du suivi agronomique, en partenariat avec l'organisme sous-traitant,
- Installation d'une instrumentation *in situ* afin de mesurer les variables climatiques et la réponse de la plante à l'ombrage,
- Coordination du suivi agronomique et stockage des données de la parcelle,
- Réalisation d'un suivi socio-économique précis pour chaque projet en lien avec l'organisme de suivi. À partir des modèles d'affaires existants, le travail consiste à mesurer la valeur ajoutée d'un système AVD pour les productions agricoles des projets. 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,
- Transposition des stratégies de croissance dans le pilotage du système agrivoltaïque dynamique en implantant dans le système d'information du projet pilote 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.

Sun'Agri est l'interlocuteur privilégié de l'agriculteur en phase exploitation, notamment via l'application **MySunAgri**.

L'application utilisateur MySunAgri sera accessible gratuitement, en version mobile ou web, à l'exploitant agricole pour qu'il puisse tirer le meilleur parti de l'AVD.

Elle lui apportera :

- Un accès en temps réel aux données d'instrumentation agronomique et à leur historique ;
- Des prévisions météo locales et des alertes personnalisables selon les données météo et les données capteurs ;
- Une plateforme d'échange de données et d'informations en instantané : transfert de documents, contacts avec Sun'Agri... ;
- La possibilité d'intervenir sur le pilotage dans des cas spécifiques bien définis en amont du projet.

- **Les organismes de suivi agronomiques et scientifiques**

Les projets Sun'Agri s'inscrivent dans un contexte scientifique majeur rassemblant des organismes professionnels et scientifiques aux compétences agronomiques et agricoles, qui interviendront dans le suivi technique de chacun des projets.

Un organisme indépendant est désigné responsable du suivi agronomique du projet selon un protocole de suivi agronomique précis pendant 6 ans après la mise en service du projet.

Sa contribution sera essentielle :

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

Dans le cadre du projet de V. TOUCHAT, l'organisme de suivi sera **la chambre d'agriculture du Vaucluse**.

5.6.2. Une synergie entre système agrivoltaïque et production agricole du projet validée par l'Appel d'Offres Innovation du Ministère de la Transition Ecologique

Ce projet agrivoltaïque a été désigné lauréat de l'appel d'offres CRE Innovation en date du 4 janvier 2023.

La définition donnée par l'ADEME pour qualifier les projets à cet Appel d'Offre est :

« 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. Dans ce cas, les innovations concerneront des systèmes photovoltaïques équipés d'outils et de services de pilotage permettant d'optimiser les productions agricole et électrique. »

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 auxquelles 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.

Le cahier des charges exigeant sur le plan agronomique de l'Appel d'Offres permet de sélectionner des projets à réel caractère agricole.

Le plafond maximal de puissance des projets fixé à 3 MWc (marge de plus ou moins 10%), impliquant des surfaces couvertes entre 3 et 5ha, permet également d'envisager un développement raisonné de l'agrivoltaïsme.

SYNTHESE DU PROJET AGRICOLE :

- **Un projet s'insérant dans une démarche de développement et d'innovation de l'exploitation ;**
- Une recherche de solution d'adaptation au changement climatique pour la **pérennisation du rendement** d'une exploitation grandissante et qui se diversifie ;
- Une géométrie de la structure et des cultures définies **selon les exigences et contraintes agricoles** de la SCEA Les Genestes ;
- 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.

6. DESCRIPTION TECHNIQUE DU PROJET

6.1. Situation

Le projet envisagé est situé dans une zone agricole localisée à l'est de la commune de Lapalud (84). Le projet est situé sur l'exploitation de la SCEA Les Genestes. Le paysage agricole est dominé par les grandes cultures.

6.2. Caractéristiques techniques

Les parcelles concernées par le projet sont les ZC47 et ZC106. Elles sont accessibles par le chemin rural qui longe la parcelle ZC106 au sud. Un échange de parcelle est en cours entre la SCEA et le voisin propriétaire de la parcelle ZC106. Cet échange donnera lieu à une division cadastrale et à la vente d'une partie de la parcelle ZC106 à la famille Touchat.

La zone de projet s'insère dans ces parcelles. Le projet totalise une surface de 8,6 ha comprenant :

- Une structure agrivoltaïque de 4,1 ha sous panneaux photovoltaïques ;
- Une zone témoin sans panneaux photovoltaïques de 0,6 ha, nécessaire au suivi expérimental des différentes variétés sous ombrage piloté ;
- Un local technique rassemblant les onduleurs pour la transformation du courant électrique en courant alternatif ;
- Un local technique combinant poste de livraison et poste de transformation ;
- Une zone plantée en pommiers mais sans aucun suivi.

→ Cf plan de masse en annexe 2 de ce document

6.2.1. Descriptif de l'installation technique

Le local technique, combinant un poste de livraison et un poste de transformation, aura une superficie de 27 m² de surface de plancher.

Le local des onduleurs aura une superficie de 25 m² de surface de plancher.

La structure agrivoltaïque comprendra :

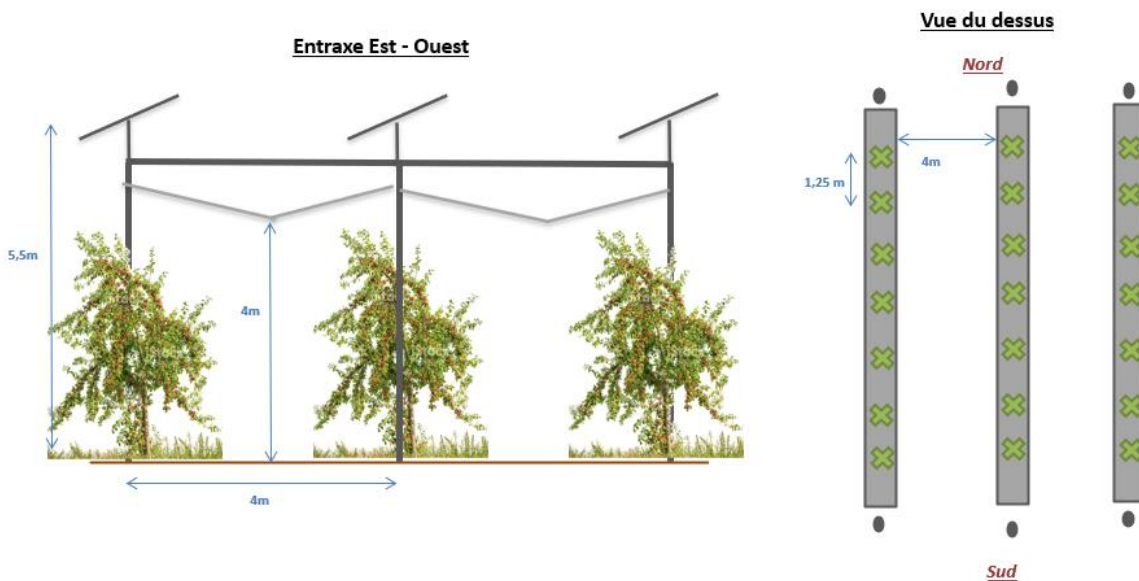
- Une structure métallique supportant les panneaux, composée de poteaux type pieux battus d'une hauteur de 5,2 m et de largeur 20cm par 20cm. Cette hauteur est compatible avec le passage d'engins agricoles. Les poteaux seront espacés de 4 m sur

l'axe est-ouest et de 8,89 m sur l'axe nord-sud. Cette configuration a été définie en concertation avec la SCEA les Genestes, en fonction de ses besoins d'exploitation ;

- Des rangées de panneaux photovoltaïques positionnés sur trackers, qui pivotent en fonction de la course du soleil. Les trackers sont positionnés sur un axe placé à 30cm au-dessus de la structure métallique, soit à une hauteur de 5,5 m. 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.

Récapitulatif des spécifications techniques de l'installation	Hauteur (m)
H filet	4
H bas de panneaux (panneau position verticale)	4,3
H structure (barre horizontale)	5,19
H trackers (panneau à plat)	5,49
H max (panneau à la verticale)	6,08



6.2.2. Emprise au sol et impact sur la pluie

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 :

Emprise structure AVD = 'nombre de panneaux' x 'surface de chaque panneau' = 9128 x 1,87 = 17 054 m²

- Locaux techniques :

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

Emprise Poste de transformation/livraison = 27 m²

Emprise local onduleurs = 25 m²

- Emprise au sol totale :

Elle correspond à la somme de l'emprise au sol de la structure AVD et de celles des locaux techniques.

L'emprise au sol totale du projet est donc de 17 106m².

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 1200 pieux battus, chacun espacés de 4 m (est-ouest) et de 8,89 m (nord-sud).

La surface d'occupation au sol du projet est donc de : $(0,20 \times 0,20) \times 1200 = 48 \text{ m}^2$.

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 2,22 m. 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 1.052 m) 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.

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'évènements 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*

6.2.3. Etude des accès

L'accès au site se fera par le sud. Un deuxième accès par le nord est également envisagé si l'emprise foncière est rachetée par la famille Touchat. Au sud, un chemin sera créé à travers champ pour permettre l'accès au site. Ce chemin sera connecté au chemin rural existant au sud. Au nord, l'accès serait créé en limite de la parcelle ZC42. Il se raccorderait ainsi au chemin rural revêtu au nord.

Les accès existants sur le domaine public sont compatibles avec le passage des camions et ne nécessitent pas de travaux particuliers. Les chemins créés mesureront 5 mètres de largeur et seront conçus de manière à permettre le passage des engins et camions sur le site aussi bien pour le chantier, l'entretien de la centrale que pour les besoins du SDIS 84.

6.2.4. 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 entoureront la structure. Ils permettront d'y accéder facilement pour des interventions techniques. Ces chemins serviront majoritairement à l'activité agricole (passage des engins). Un chemin périmétral d'une largeur de 12 mètres, réduit à 6 m sur les côtés sud et nord de la centrale, permettra les tournières. Un chemin transversal sous panneau sera également créé.

6.2.5. 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 3,3 MWc sera réalisée auprès d'Enedis dès que le projet aura obtenu un permis de construire.

La solution privilégiée est de se raccorder à un départ HTA existant à proximité du site.

Une pré-étude technique et financière a été commandée à Enedis afin de connaître le tracé exact et les modalités de raccordement.

Quelle que soit la solution adoptée, les câbles seront enterrés le long du domaine public et n'entraîneront pas d'emprise supplémentaire sur des habitats naturels.

6.2.6. Démantèlement – Réversibilité de l'installation

La centrale sera entièrement démantelée par Qair à la fin de la période d'exploitation de la centrale. Le site sera remis à son état initial avant la construction de la centrale.

6.3. Intégration du projet dans son environnement

6.3.1. Intégration du projet dans le milieu naturel

6.3.1.1. 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),

Annexe 8 : Notice descriptive – projet agrivoltaïque de Lapalud

certaines passereaux nidifient dans les structures métalliques creuses, certains mammifères terrestres s'abritent sous les persiennes pour se reposer et se rafraichir 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.

6.3.1.2. Réalisation d'un diagnostic écologique

Pour le projet de Lapalud, Qair a fait appel au bureau d'étude Auddicé Environnement pour la réalisation d'un diagnostic écologique. Le bureau d'étude a réalisé un état initial de la zone lors de sorties terrains conduites du printemps jusqu'à l'été. Il a ensuite analysé les effets potentiels du projet sur la biodiversité.

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

6.3.1.3. Mesures favorisant la biodiversité et suivi écologique

Le diagnostic écologique détaille les mesures suivantes :

- Mesures en phase chantier :
 - Limitation adaptée et balisage des emprises de travaux ;
 - Adaptation de la période des travaux ;
 - Modalités d'élagage des arbres ;
 - Mesures préventives de lutte contre la pollution ;
- Mesures destinées à favoriser la biodiversité :
 - Installation de gîtes et nichoirs pour la faune volante sur la structure ;
 - Renforcement des haies ;
 - Maintien des bandes enherbées le long des chemins ;
 - Mesures de suivi écologique en phase exploitation.

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.

6.3.2. Intégration paysagère du projet

6.3.2.1. Présentation de l'étude paysagère

Pour le projet de Lapalud, QAIR 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.

L'étude est présentée en Annexe 11 du dossier de demande d'examen au cas par cas.

6.3.2.2. Mesures paysagères

Dans l'optique d'améliorer l'intégration du projet dans le paysage et particulièrement de réduire la visibilité du projet depuis les habitations riveraines du projet et les chemins alentours, le bureau d'étude a préconisé le renforcement des haies situées à l'est et à l'ouest du projet.

Qair 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.

6.4. Mesures d'accompagnement agricole

L'exploitant agricole envisage d'étendre la plantation de haies tout autour de la pommeraie sauf dans les zones d'évitement écologique. Cette mesure permettra de protéger les plantations des vents dominants. Les essences seront choisies en concertation avec les organismes agricole et le bureau d'étude écologie afin de favoriser la biodiversité locale et les auxiliaires de cultures.

6.5. 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 4 du dossier d'examen au cas par cas.

6.6. 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.

6.7. Alimentation en eau

6.7.1. Réseau d'irrigation

Le système d'irrigation choisi pour la parcelle sera de type goutte à goutte dans le but d'apporter la juste quantité nécessaire en eau à la plante et ainsi optimiser la consommation de la ressource.

L'eau proviendra du forage situé au nord-est du site. Ce forage capte les eaux de la nappe du Rhône. Sa capacité est d'environ 50 m³/h et il n'y a pas de restrictions d'usage.

Un système en peigne sera branché sur la vanne du forage.

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

6.7.2. Estimation de la consommation en eau

La structure agrivoltaïque permettra à la culture de pommiers 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.

À 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 4,1 ha de zone AVD et à 2,7 ha de zone cultivée sans panneaux dont la surface témoin, nous estimons une consommation annuelle de :

$4,1 \times 1750$ (zone AVD) + $2,7 \times 1750 = 11\,900$ m³/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.

6.8. Documents d'urbanisme

6.8.1. PLU de Lapalud

La zone de projet est localisée en zone agricole A du PLU de la Commune de Lapalud approuvé le 14 juin 2018. Le règlement de la zone autorise les constructions et installations nécessaires à l'exploitation agricole. Il autorise aussi les constructions et installations nécessaires à des équipements collectifs, dès lors qu'elles ne sont pas incompatibles avec l'exercice d'une activité agricole dans l'unité foncière où elles sont implantées et qu'elles ne portent pas atteinte à la sauvegarde des espaces naturels et des paysages.

Le projet de centrale agrivoltaïque en tant qu'outil agricole est donc compatible avec le règlement d'urbanisme. Il s'agit également d'une installation nécessaire à des équipements collectifs compatibles à l'activité agricole. Les études écologiques et paysagères réalisées démontrent que le projet ne porte pas atteinte à la sauvegarde des espaces naturels et des paysages.

6.8.2. Risques naturels et technologiques

La zone de projet est en dehors des zones de risques naturels et technologiques.

6.9. 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 M. Vincent Touchat, propriétaire/exploitant de la SCEA Les Genestes
Tout au long du développement du projet	Réunions d'avancement avec la mairie de Lapalud
Tout au long du développement du projet	Réunions d'avancement avec la Chambre d'Agriculture du Vaucluse

Annexe 8 : Notice descriptive – projet agrivoltaïque de Lapalud

2022	Présentation du projet à Cofruid'Oc et Pink lady Europe
21/02/2022	Présentation du projet au conseil municipal de la commune de Lapalud
05/10/2022	Présentation du projet au Président de la Communauté de communes de Bollène
20/12/2023	Présentation du projet aux organismes agricoles : Chambre d'Agriculture, Cofruid'Oc, GRCETA

7. ANNEXE 1 : PROGRAMME DE RECHERCHE ET RESULTATS EXPERIMENTAUX DE SUN'AGRI

7.1. L'aboutissement de 12 ans de R&D et de trois programmes de recherche

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

Trois 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 1 : La plante a besoin de lumière dans les moments clés

Ce programme a permis de montrer que, sous nos climats, un système agrivoltaïque n'a d'effet globalement positif sur les cultures que s'il est dynamique et capable de laisser passer un maximum de lumière à certaines heures ou périodes précises, qui dépendent de la plante, de son état et des conditions météorologiques. Sun'Agri 1 a ainsi conduit à écarter les ombrières fixes.

Sun'Agri 2 : 1^{er} dispositif complet de pilotage de panneaux pour assurer les besoins des plantes

Ce dispositif combine des équipements spécifiques (hardware) et des outils logiciels de pilotage infra-journalier dédiés (software), afin d'optimiser production agricole (prioritaire) et production photovoltaïque (secondaire). Sun'Agri utilise désormais le terme « agrivoltaïque dynamique (AVD) » pour souligner la notion de pilotage.

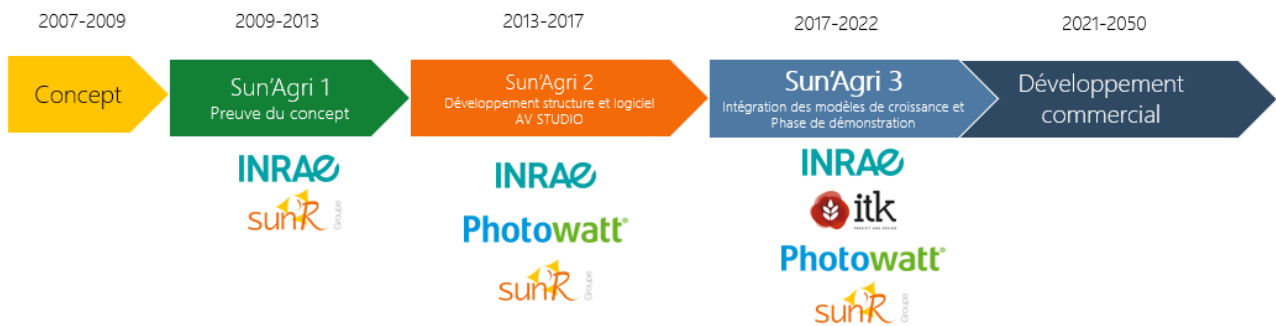
Sun'Agri 3 : Industrialiser en tenant compte de la spécificité de chaque culture ciblée en France

Ce programme, unique au monde de par son envergure, vise à démontrer les bénéfices de l'AVD en situation réelle sur les 3 filières visées (cultures viticoles, arboricoles et maraîchage sous serre), développer et étendre les modèles de croissance spécifiques à chaque plante, améliorer l'efficacité de la solution technique par l'introduction de produits complémentaires, et proposer des référentiels techniques afin d'encourager un développement harmonieux de cette filière dans le respect de l'intérêt général.

D'autres projets R&D complémentaires à Sun'Agri 3 sont en cours de montage, notamment pour caractériser l'effet de l'ombrage sur les maladies (caractérisation du microclimat propice aux maladies cryptogamiques).

Les résultats de l'ensemble de ces recherches sont consolidés grâce à un programme d'analyse scientifique utilisant les méthodes de l'intelligence artificielle afin d'améliorer les modèles agronomiques et les bénéfices du pilotage.

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.



Chronologie du programme de recherche Sun'Agri

7.1.1. Positionnement par rapport aux autres technologies d'agrivoltaïsme

L'agrivoltaïsme a donné lieu à des initiatives disparates dans le monde depuis une quinzaine d'années, ne donnant généralement pas la priorité à l'agriculture : soit les cultures les moins sensibles sont sélectionnées, soit des pertes de rendement agricole sont acceptées.

<p>Centrales PV Agriculture au service du PV</p>	<p>Ombrières Panneaux PV fixes ou mobiles sans pilotage intelligent => perte de rendement agricole</p>	<p>Serres photovoltaïques avec panneaux PV fixes => perte de rendement agricole</p>	<p>Agrivoltaïsme dynamique Panneaux mobiles avec pilotage dynamique intelligent destiné à privilégier la plante</p>
---	--	---	--

Pluralités des couplages agriculture/PV

- Il est possible d'utiliser des panneaux qui peuvent laisser passer beaucoup plus de lumière ou qui la diffusent, et ce même si cela ne résout pas totalement le problème d'un ombrage persistant et hétérogène.
 - Certaines installations agrivoltaïques dynamiques utilisent des panneaux ayant une inclinaison fixe vers le sud. Cela ne permet pas d'avoir un ombrage homogène au cours de la journée et entraîne une forte hétérogénéité de la croissance des cultures (bande d'ombrage et lumière fixes se rapprochant des systèmes de panneaux fixes, comme ceux des serres). Plusieurs stratégies de pilotage (pluie, ombrage partiel de la canopée) ne sont par ailleurs mécaniquement pas possibles.
 - 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**.
 - **La solution la plus avancée consiste à mettre les panneaux parallèles aux rayons du soleil**. Cette approche demande cependant de veiller à ce que le système de pilotage permette un **mouvement des panneaux suffisamment important pour qu'ils puissent être mis parallèles aux rayons du soleil et qu'ils puissent guider l'eau de pluie**.
- C'est l'agrivoltaïsme dynamique créé par Sun'Agri.

7.1.2. Les cultures et régions cibles

Sun'Agri fait le choix 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 ces zones géographiques 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 des baies, et in-fine, du degré d'alcool du vin. - Nécessité de protéger ces cultures pérennes et de garantir leur durée de vie (env 30 ans).
Arboriculture (Abricot, cerisier, pêches, pommes)	<ul style="list-style-type: none"> - Cultures sensibles aux fortes chaleurs, déficits hydriques, grêle, fortes pluies, gel printanier. - Pertes erratiques et croissante de rendement, liées à ces aléas climatiques. - Synergies avec les usages déjà en vigueur dans ce secteur : utilisation de poteaux avec filets de protection, système d'irrigation. - Nécessité de protéger ces cultures perrennes et de garantir leur durée de vie (env 15 ans).
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, toute l'année : extension des périodes de récolte. - Évite le blanchiment des serres ou des abris.

7.2. Des résultats ayant prouvé l'efficacité du système

Les expérimentations sont menées sur :

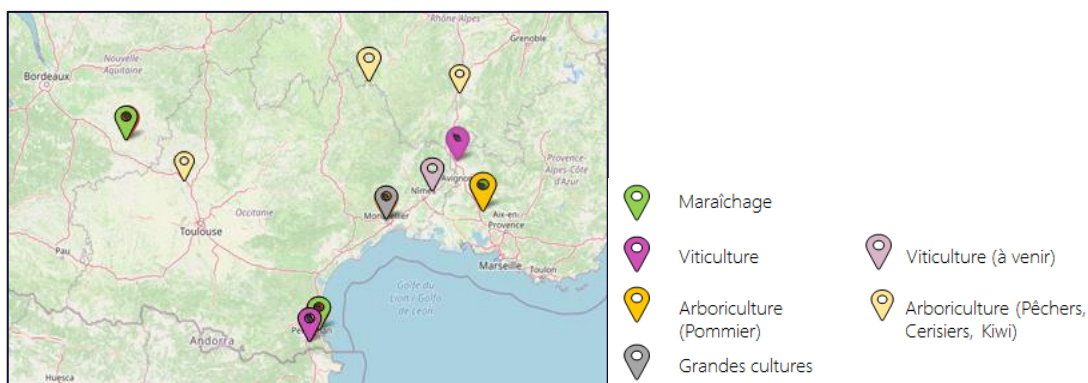
- Des dispositifs expérimentaux de petite taille (1500m² max) ;
- Des démonstrateurs à taille réelle (3 à 5 ha).

7.2.1. Les dispositifs expérimentaux

Les dispositifs expérimentaux de Sun'Agri ont été mis en place dès le début des travaux de recherche en 2009. Il s'agit de petites structures (max 1 500m²), non raccordées au réseau et construites sur cultures existantes (permettant d'obtenir des résultats rapidement dès la première année). Ils sont le support d'expérimentations conduites par l'INRAE dans le cadre des programmes Sun'Agri. Ils font l'objet d'un suivi agronomique très poussé et d'une sur-instrumentation à la parcelle.

Ces dispositifs ont permis **d'évaluer l'intérêt agronomique** de la technologie en fonction des cultures et de **créer une base de données expérimentales** afin d'alimenter les modèles de croissance permettant **d'établir des stratégies de pilotage des panneaux**.

Annexe 8 : Notice descriptive – projet agrivoltaïque de Lapalud



Localisation des dispositifs expérimentaux de Sun'Agri

Site	Type d'installation	Culture	Etat
Tresserre (66)	Démonstration	Vignes plantées en 2018 (première vendange)	En fonctionnement
La Pugère (13)	Dispositif Expérimental	Verger adulte (pommès)	En fonctionnement
Piolenc (84)	Dispositif Expérimental	Vigne adulte	En fonctionnement
Alenya	Dispositif Expérimental	Maraichage	En fonctionnement
Brinkhoff	Dispositif Expérimental	Maraichage	En fonctionnement
Etoile (26)	Dispositif Expérimental	Verger adulte (pêches)	En fonctionnement
Loriol (26)	Dispositif Expérimental	Verger adulte (cerises)	En fonctionnement
Rodilhan (30)	Dispositif Expérimental	Vigne adulte (cépage blanc)	En développement
Castelsarrasin (82)	Dispositif Expérimental	Kiwis	En développement



Dispositif expérimental en vignes à Piolenc (84) sur les parcelles de la CA84 (à gauche)

Dispositif expérimental sur pommiers à Mallemort sur la station expérimentale de la Pugère (au centre)

Dispositif expérimental sur cerisiers à Loriol-sur-Drôme (26) sur les parcelles de l'EARL Clair Fruits (à droite)

Afin d'affiner les stratégies de pilotage en fonction des espèces, **d'autres dispositifs vont être construits prochainement : en kiwi dans le Tarn-et-Garonne, en cépage blanc dans le Gard, en fruits rouges dans le Rhône.**

7.2.2. Les démonstrateurs ou « projets pilotes »

Les **démonstrateurs (ou « projets pilotes »)** s'insèrent dans la continuité du développement de Sun'Agri : ce sont des projets à plus grande échelle, en **condition réelles d'exploitation agricole**, portés en partenariat avec des agriculteurs. Ils permettent une démonstration de la technologie dans **des caractéristiques de terroirs, cépages et climats différents**.

Ces projets sont **lauréats de l'Appel d'Offres** Innovation de l'Etat, autrement dit **la synergie agricole a bien été validée par l'ADEME**. Leur **surface est limitée par le cahier des charges** de l'appel d'offres (maximum 5ha, puissance maximale 3MWc) et sont toujours associés à une zone témoin avec suivi agronomique.

La plantation a lieu après la construction de la structure.

Le premier démonstrateur d'agrivoltaïsme dynamique au monde a été installé par Sun'Agri en 2018 sur 4,5 ha sur une 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 3 ha. La 1^{ère} récolte a eu lieu en 2021. Le suivi agronomique est réalisé par la Chambre d'Agriculture des Pyrénées Orientales.



Démonstrateur agrivoltaïque de Tresserre (66) – Domaine de Nidolères

En 2021, Sun'Agri a achevé la construction de trois nouveaux démonstrateurs dans les communes de Llupia (Poires – Pyrénées Orientales), de Thuir (Maraîchage – Pyrénées-Orientales) et d'Etoile-sur-Rhône (Pêches, Abricots – Drôme).

Le **projet d'Etoile-sur-Rhône est le premier projet agrivoltaïque de Sun'Agri dans la Drôme**. Ce projet pilote en pêche et abricots est développé sur les terrains de la SEFRA (Station d'Expérimentation Fruits d'Auvergne-Rhône-Alpes), site de la Chambre d'Agriculture départementale. La surface sous les persiennes agrivoltaïques est de 2,6ha (pour une puissance de 1,9MWc) et la zone témoin fait 1ha.



Démonstrateur agrivoltaïque d'Etoile-sur-Rhône (26) - SEFRA

Le **suivi agronomique sera opéré par la SEFRA**. Au total, 14 zones de pilotages distinctes pour 7 variétés seront délimitées, ce qui permettra d'obtenir un référentiel solide de résultats sur les fruits à noyau. La structure permet la mutualisation d'équipements agricoles : les poteaux sont utilisés pour le palissage des arbres et la structure intègre un système d'accroche pour des filets de protection anti-grêle et anti-insectes.

7.2.3. Synthèse des résultats en viticulture

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 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.

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

➔ **Des résultats plus détaillés ainsi que l'ensemble des publications et articles scientifiques relatifs aux programmes de recherche Sun'Agri sont présentés en partie 4.**

7.2.4. Synthèse des résultats en arboriculture

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 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.
- Des résultats plus détaillés ainsi que l'ensemble des publications et articles scientifiques relatifs aux programmes de recherche Sun'Agri sont présentés en partie 4.

7.3. Enjeux du déploiement à plus grande échelle

Les résultats des travaux de recherche ont démontré que la solution Sun'Agri apporte un bénéfice net pour l'agriculture et une réponse aux contraintes des agriculteurs ; baisse des rendements, contrainte sur la ressource hydrique, épisodes climatiques exceptionnels (gel printanier, canicule) provoqués notamment par les changements climatiques. Plusieurs types de cultures ont été testées, et seules celles pour lesquelles la technologie apporte une plus-value ont été retenues. Les travaux ont également permis d'acquérir une compréhension globale du comportement général des espèces retranscrits dans des modèles de croissance.

Aussi, Sun'Agri peut aujourd'hui envisager une sortie de la phase expérimentale et une entrée dans une phase de déploiement, toujours en appliquant les critères d'éligibilité garantissant l'intérêt agronomique et la vocation agricole des projets.

Chaque projet est différent, chaque variété, selon la région dans laquelle elle est cultivée, est pratiquement exposée à un problème unique :

- D'un point de vue scientifique, une fois acquise une compréhension globale du comportement général des espèces, il est nécessaire d'aborder les spécificités des interactions *variété x localisation* en affinant le pilotage ;
- Les agriculteurs ainsi que les ODG ont besoin de pouvoir se référer à des projets proches de leurs enjeux en termes de cépage et de pédoclimat pour être convaincus ;
- Les territoires et administrations territoriales ont également besoin de références dans leur périmètre géographique.

L'agrivoltaïsme est une opportunité unique de solution d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques. La notion, émergente, peut prendre divers visages aux finalités agricoles plus ou moins avérées. La structuration de la filière est capitale pour cadrer le développement, élever les standards et maintenir l'acceptabilité.

8. ANNEXE 2 : PLAN DE MASSE DE LA CENTRALE AGRIVOLTAÏQUE

