



PROJET AVD ILE DU CHAT
ANNEXE 8 – NOTICE DESCRIPTIVE DU PROJET

Table des matières

1	L'agrivoltaïsme : outil agricole d'adaptation au changement climatique	3
1.1	ENGIE GREEN	3
1.2	Sun'Agri, pionnier de l'agrivoltaïsme dynamique	4
1.3	Partenariat ENGIE Green et Sun'Agri.....	4
1.4	L'agrivoltaïsme dynamique par Sun'Agri.....	4
1.4.1	Le principe de l'agrivoltaïsme dynamique.....	4
1.4.2	Un pilotage agronomique intelligent.....	5
1.4.3	Une innovation issue d'un programme de recherche aux résultats agronomiques démontrés	6
1.5	Les projets ENGIE Green, en collaboration avec Sun'Agri.....	7
1.5.1	Surfaces éligibles aux projets	7
1.5.2	Une structure adaptée aux exploitations arboricoles	8
2	Le projet agricole de la SCEA du Domaine Saint Georges, société des VERGERS DU SUD.....	10
2.1	Présentation du porteur projet	10
2.2	Intérêt agronomique et objectifs du projet.....	10
2.2.1	Un projet répondant à des problématiques agro-climatiques de la filière arboricole en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA).....	10
2.2.2	Objectifs du projet pour l'exploitation	14
2.3	Choix de la parcelle de projet.....	15
2.4	Description du projet agricole	15
2.4.1	Surface agrivoltaïque et zone témoin.....	15
2.4.2	Cultures.....	16
2.4.3	Mode de culture	16
2.4.4	Géométrie de culture	17
2.5	Intérêt économique du projet pour l'exploitation	17
2.6	Garanties de la vocation agricole primaire du projet.....	19
2.6.1	Une gouvernance mettant l'agriculteur au cœur du processus.....	19
2.6.2	Une synergie entre système agrivoltaïque et production agricole du projet validée par l'Appel d'Offres Innovation du Ministère de la Transition Ecologique.....	Erreur ! Signet non défini.
2.6.3	La labélisation du projet « Projet agrivoltaïque sur cultures ».....	21
	SYNTHESE DU PROJET AGRICOLE :	22
3	Programme de recherche et résultats expérimentaux	23
3.1	L'aboutissement de 12 ans de R&D et de trois programmes de recherche.....	23
3.1.1	Positionnement par rapport aux autres technologies d'agrivoltaïsme.....	24

3.1.2	Les cultures et régions cibles	25
3.2	Des résultats ayant prouvé l'efficacité du système.....	25
3.2.1	Les dispositifs expérimentaux	25
3.2.2	Les démonstrateurs ou « projets pilotes »	27
3.2.3	Synthèse des résultats en viticulture.....	Erreur ! Signet non défini.
3.2.4	Synthèse des résultats en arboriculture.....	28
3.3	Enjeux du déploiement à plus grande échelle.....	28

1 L'agrivoltaïsme : outil agricole d'adaptation au changement climatique

1.1 ENGIE GREEN



Leader français de l'éolien et du solaire en MW installés, **ENGIE Green** développe, finance, construit et exploite des installations de production d'énergie verte en concertation étroite avec les territoires et les entreprises. Avec ses 600 collaborateurs, ENGIE Green réalise des projets sur-mesure performants et novateurs qui donnent tout son sens à la transition

énergétique. Acteur engagé durablement en faveur des énergies renouvelables, ENGIE Green est une filiale détenue à 100% par le Groupe ENGIE.

Implantée sur tout le territoire, la société possède **une agence à moins de 2 heures de 90% des collectivités**. Cette proximité lui permet de conserver un contact permanent et réactif avec ses clients et ses partenaires.

Afin de répondre aux enjeux de transition énergétique tout en préservant l'agriculture de demain, ENGIE Green développe des solutions d'agrivoltaïsme adaptées à la diversité des pratiques agricoles et aux caractéristiques climatiques.

Un dialogue dense et ouvert est assuré avec les exploitants pour co-concevoir des projets intégrés dans les exploitations agricoles. ENGIE Green sort des schémas classiques pour proposer des montages financiers et fonciers adaptés au profil des exploitants.

Le principe essentiel est : partage des terres, partage de la lumière, partage de la valeur.

Chaque projet agrivoltaïque suit le même processus. Être « colocataire » de longue durée implique une réelle co-construction des projets. Les grandes phases sont les suivantes :



Qualification agronomique préalable

Quelles sont vos pratiques et vos problématiques ?



Calepinage de la structure

Comment notre outil s'adapte au mieux à vos plantations - élevage ?



Evaluation des bénéfices agro - enviro

Comment mettre en synergie les besoins de votre culture/élevage et l'outil agrivoltaïque ?



Fondement socio-économique du projet

Quel est votre profil et le modèle économique de votre exploitation ?



Concrétisation et exploitation

Autorisations administratives
Mise en place du dispositif puis des nouvelles cultures

ENGIE Green n'est pas un professionnel de l'agriculture ou de l'agronomie et fait le choix d'être systématiquement accompagné par des partenaires privés ou publics.

1.2 Sun'Agri, pionnier 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 scientist, spécialistes de machine learning.

Toute l'équipe de Sun'Agri partage des convictions fortes et l'envie de proposer des solutions porteuses de sens pour le monde agricole.

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).

1.3 Partenariat ENGIE Green et Sun'Agri

Depuis fin 2021 Engie Green s'est engagé dans l'agrivoltaïsme.

Un partenariat a été signé avec Sun'Agri, le pionnier des persiennes photovoltaïques pilotées et plusieurs projets sont développés dans ce cadre, dont celui présenté dans ce dossier.

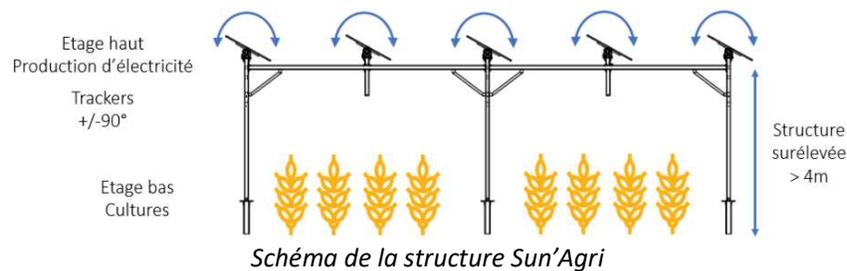
1.4 L'agrivoltaïsme dynamique par Sun'Agri

1.4.1 Le principe de l'agrivoltaïsme dynamique

Le fondement de l'agrivoltaïsme dynamique mis en œuvre par Sun'Agri consiste à **modifier le microclimat** (i.e. 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 :

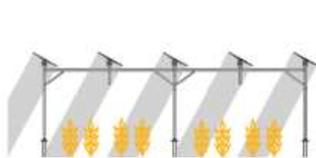
- Des **persiennes mobiles à +/-90° positionnées au-dessus de cultures**, constituée de panneaux photovoltaïques bifaciaux ;
- Une **structure porteuse adaptable aux besoins de l'exploitant agricole** (entraxe des poteaux, nombre de trackers, hauteur de la structure) ;
- Un **pilotage de la positionnement 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 mis 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.

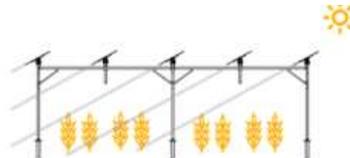
Selon le cas, la plante peut être :

- 1) **préservée** par un ombrage maximal,
- 2) **favorisée** par un ombrage minimal,
- 3) **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

1.4.2 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.

1.4.3 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)*



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

1.5 Les projets ENGIE Green, en collaboration avec Sun'Agri

1.5.1 Surfaces éligibles aux projets

1.5.1.1 Une pertinence agronomique à valider

Dans un premier temps ENGIE Green **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 doivent **répondre à un réel besoin d'adaptation des cultures aux conséquences du dérèglement climatique** (stress hydrique et hydrique élevé et croissant, vulnérabilité aux épisodes de gel et de grêle, etc.).

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

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

Dans un deuxième temps, ENGIE Green 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 urbanisme et les 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.

1.5.1.3 Qualification agronomique et définition du projet agricole

Une fois les principaux critères d'éligibilité vérifiés, ENGIE Green sollicite les ingénieurs agronomes de Sun'Agri afin d'affiner la **définition du projet agricole** avec l'agriculteur. Dans cette phase de développement du projet, Sun'Agri collabore en tant que prestataire pour ENGIE Green.

Le référent agronomique de Sun'Agri accompagne le chef de projet d'ENGIE Green 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 à ENGIE Green 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 actualisées avant l'enclenchement des phases de chantier à la suite d'éventuels changements survenus sur le projet initial.

1.5.2 Une structure adaptée aux exploitations arboricoles

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

La durée de vie prévisionnelle d'un verger est de 30 ans pour les Vergers du Sud.

La **durée contractuelle de l'implantation de la structure agrivoltaïque étant de 30 ans**, cela correspond parfaitement à la durée de vie d'un verger géré par les sociétés des Vergers du Sud.

1.5.2.2 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** :



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

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

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

2 Le projet agricole de la SCEA du Domaine Saint Georges, société des VERGERS DU SUD

2.1 Présentation du porteur projet

Le projet AVD Ile du Chat concerne l'exploitation agricole de la SCEA du Domaine Saint Georges, rattachée à la société Les Vergers du Sud, présidée par Didier Miollan, située dans le département des Alpes-de-Haute-Provence, et plus précisément sur la commune de Valensole. La famille Miollan a commencé à cultiver 150 ha de vergers de pommiers dès la Seconde Guerre mondiale. A la suite de ses études d'agronomie, Didier Miollan rejoint l'exploitation agricole de son père en 1995, période difficile où les vergers sont menacés par les conditions climatiques. Il entreprend d'étendre l'activité en reprenant plusieurs domaines de vergers dans le secteur Sud-Est et Sud-Ouest de la France. Aujourd'hui, la SAS Les Vergers du sud possède 1200 ha de vergers répartis sur six départements : les Alpes-de-Haute-Provence, les Hautes-Alpes, les Bouches-du-Rhône, le Gard, Le Tarn et le Tarn-et-garonne. Leur production s'élève à 52 000 tonnes de fruits par an : en majorité des pommes ainsi que des poires et des kiwis.

Les Vergers du Sud se distingue par leur dynamique d'innovation forte, capable de prendre des risques sur des systèmes en rupture avec les usages traditionnels. Portant déjà un intérêt pour les énergies renouvelables, la société a installé des panneaux photovoltaïques sur les toitures de ses hangars agricoles, sur la plupart de ses domaines, à des fins d'autoconsommation. Elle souhaite à présent participer à des solutions innovantes, en développant un verger du futur sous dispositif agrivoltaïque.

2.2 Intérêt agronomique et objectifs du projet

2.2.1 Un projet répondant à des problématiques agro-climatiques de la filière arboricole en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (PACA)

La région Provence-Alpes-Côte d'Azur compte **30 700 ha 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 produits**. La pomme est largement représentée, avec 343 600 tonnes produites sur 10 200 ha, 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 1000 ha ; les cerises représentent 2 700 tonnes pour 2700 ha principalement localisés dans le Vaucluse ; les poires représentent 52 000 tonnes pour 2200 ha, 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 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,

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

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

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 soit 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 ont 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 :

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)

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/Plaquette%20Gel%20des%20cultures%202.pdf>

○ **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. A cause de leur débourrement et floraison précoces, les productions ont été victimes des gelées d'avril. Puis pendant l'été, les températures sont montées jusqu'à 37 à 41°C, suivi 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 records 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 : récolte deux fois plus faibles 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)*

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

○ **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 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 ont fait de nombreux dommages. De plus, près de trois mois de pluie sont tombés : bien que le secteur souffre 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)*

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>

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/>

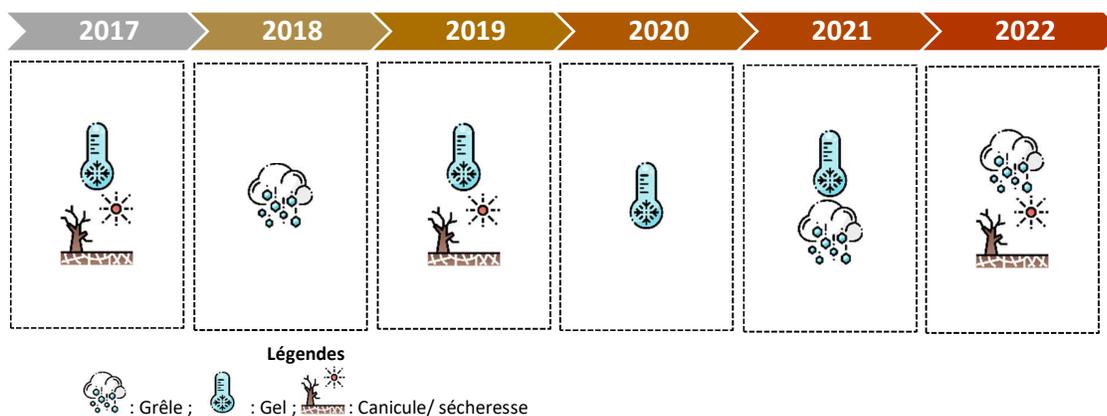
○ **Pluviométrie :**

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 a notamment fragilisé la tenue des variétés précoces de cerise¹⁶. De plus, une humidité trop importante favorise le développement des maladies, telles que le mildiou.



Cerises éclatées
(Photo : France3)

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



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.

2.2.2 Objectifs du projet pour l'exploitation

Aujourd'hui, la société Les Vergers du sud 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 :

- Depuis 2019, la canicule et la sécheresse touchent les vergers tous les ans.
- Le gel impacte également les vergers tous les ans : les pertes peuvent s'élever jusqu'à 50%. La majorité des parcelles sont équipées de système antigel pour pouvoir y faire face.

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

- Localisée dans un secteur hautement grélifère, la grêle fait des dégâts chaque année, causant jusqu'à 100% de perte les années les plus dures comme celle en 2017. L'exploitation agricole n'a d'autres choix que de protéger ses cultures avec des filets paragrêles.

Ainsi, la SCEA du Domaine Saint Georges, rattachée à la société Les Vergers du Sud, souhaite installer un système agrivoltaïque dynamique dans le but :

- De protéger la production des dégâts engendrés par les aléas climatiques ;
- D'adapter son mode de culture dans un contexte de changement climatique en maîtrisant le microclimat des pommiers.

D'autre part, les porteurs de projet expriment une certaine sensibilité dans la production d'énergie renouvelable, de par leurs projets d'installation de panneaux photovoltaïques sur toiture, et portent un grand intérêt pour l'innovation. Ainsi ils démontrent la forte volonté de tester la technologie de l'AVD sur leurs vergers.

2.3 Choix de la parcelle de projet

La zone de projet couvre une surface de 4,5 ha constitué par la partie Est de la parcelle **G 2140**, située au sud-ouest de la commune de Valensole, sur le lieu-dit « Ile du Chat ».

La partie de la parcelle concernée par le projet agrivoltaïque est actuellement occupée par des cultures maraîchères (type melons). La SCEA du Domaine Saint Georges souhaite planter un nouveau verger de pommes dans les années proches à venir.

Cette parcelle était la seule répondant parfaitement aux critères de sélection auxquels se tient ENGIE Green :

- **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.

2.4 Description du projet agricole

2.4.1 Surface agrivoltaïque et zone témoin

Le projet consiste en une **structure agrivoltaïque de 4,3 ha ouverte positionnée sur une parcelle nouvellement plantée en pommiers ainsi qu'une zone témoin représentative sans panneaux de 0,2 ha qui servira pour la comparaison du suivi agronomique.**

La surface agrivoltaïque correspond à **0,3%** de la surface totale des exploitations agricoles de la SAS des Vergers du Sud.

La zone témoin répond aux exigences du label agrivoltaïque : elle sera conduite dans les mêmes conditions que la parcelle agrivoltaïque, sur une surface représentative (minimum 0,2 ha 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.

2.4.2 Cultures

Espèces et variétés agricoles :

Ce projet sera une structure agrivoltaïque **ouverte en plein champ** sur une parcelle nouvellement plantée en pommier. La variété sélectionnée par l'agriculteur est la Rosy Glow. Cette variété, produisant des pommes fermes et très sucrées, permettra de commercialiser la récolte sous la marque Pink Lady.

Production annuelle estimée :

A ce jour, les rendements tournent autour de 80 t/ha/an. En installant un système agrivoltaïque dynamique, l'agriculteur espère obtenir un rendement « lissé » avoisinant **90 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. La parcelle de 4,5 ha produirait donc annuellement 405 tonnes sous panneaux photovoltaïques, et 430 tonnes en comptant la production de la zone témoin.

Valorisation de la production :

Le verger agrivoltaïque produira des pommes de table Pink Lady, destinés à la vente en GMS.

2.4.3 Mode de culture

Certifications :

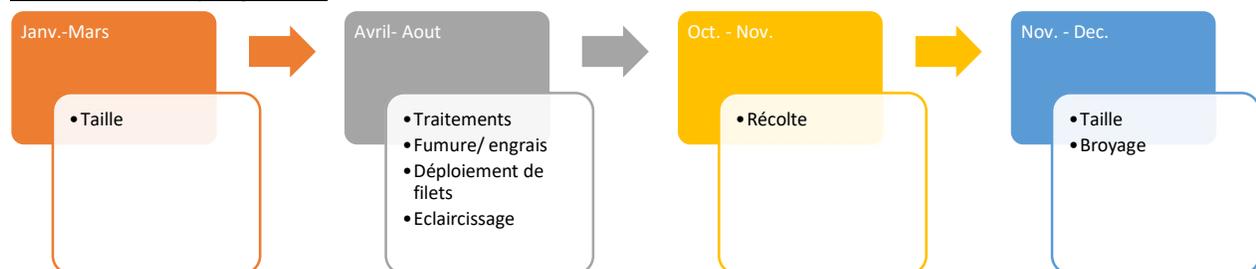
Dans une démarche de respect de l'environnement et afin de mieux valoriser commercialement les pommes agrivoltaïques, la société Les Vergers du Sud s'est engagée dans une démarche de qualité et est 100% certifié :

- Production Fruitière Intégrée (PFI) : mode de production de pomme qui donne la priorité aux méthodes écologiquement sûres dans le but d'améliorer la protection de l'environnement et la sécurité alimentaire ;
- Haute Valeur Environnementale (HVE);
- et Global G.A.P qui est un référentiel axé sur les bonnes pratiques agricoles.

Irrigation :

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

Itinéraire technique général :



Itinéraire technique du projet AVD Ile du Chat à Valensole

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 (voir 2.4.4) 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, tonte de l'herbe, broyage des bois de taille) ;
- L'éclaircissage ($h > 1,8m$) ;
- Les traitements phytosanitaires et l'épandage de fumure et engrais.

En capacité d'employer de la main d'œuvre permanente et saisonnière, Les Vergers du sud réalisera sur la parcelle agrivoltaïque :

- une récolte manuelle,
- des tailles manuelles ($h < 1,8m$) et mécanisées ($h > 1,8m$).

2.4.4 Géométrie de culture

Les rangs d'arbres seront plantés selon un axe nord-sud avec pour distances de plantation **3,8 m** d'inter-rang et **1,25 m** d'inter-pied (voir schémas ci-dessous), similaire à la distance de plantation pratiquée sur les vergers actuels. Le verger agrivoltaïque aura une densité de plantation de **2105 pieds/ha**.

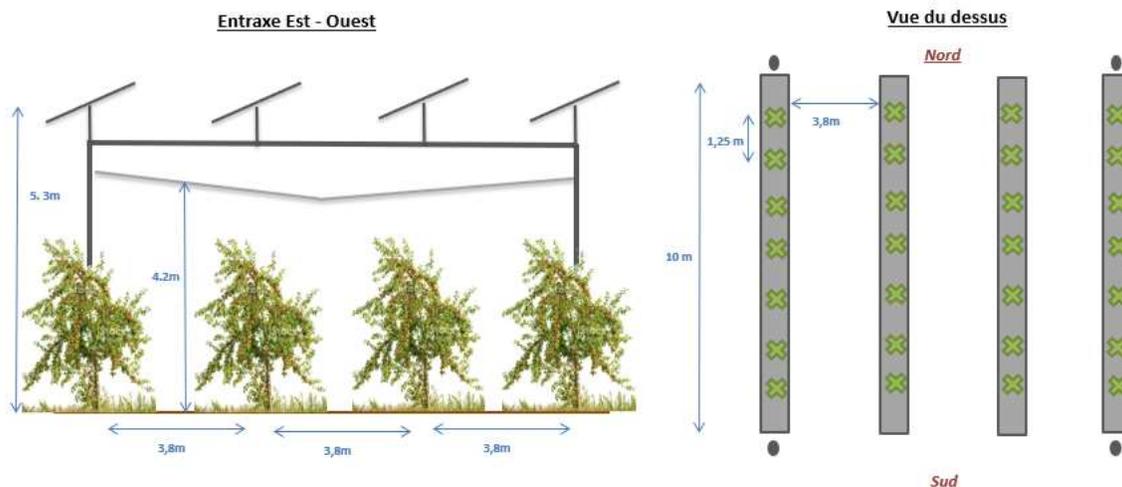


Schéma coupe et vue du ciel de la structure AVD du projet VALENSOLE

Comme schématisé ci-dessus, un rang de pommiers sur trois sera planté sur la rangée de poteaux de la structure agrivoltaïque, **et ne nécessiterait donc plus l'installation de poteaux de palissage**. Ceci représente un gain non négligeable sur le coût d'implantation du verger. L'emplacement pour poser des filets parasolaire à 4,2 m de hauteur sera également prévu, ainsi que celui pour le système antigel par aspersion basse pression.

2.5 Intérêt économique du projet pour l'exploitation

Seul le modèle d'affaires de la partie agricole est détaillé dans ce document. Pour rappel, **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.

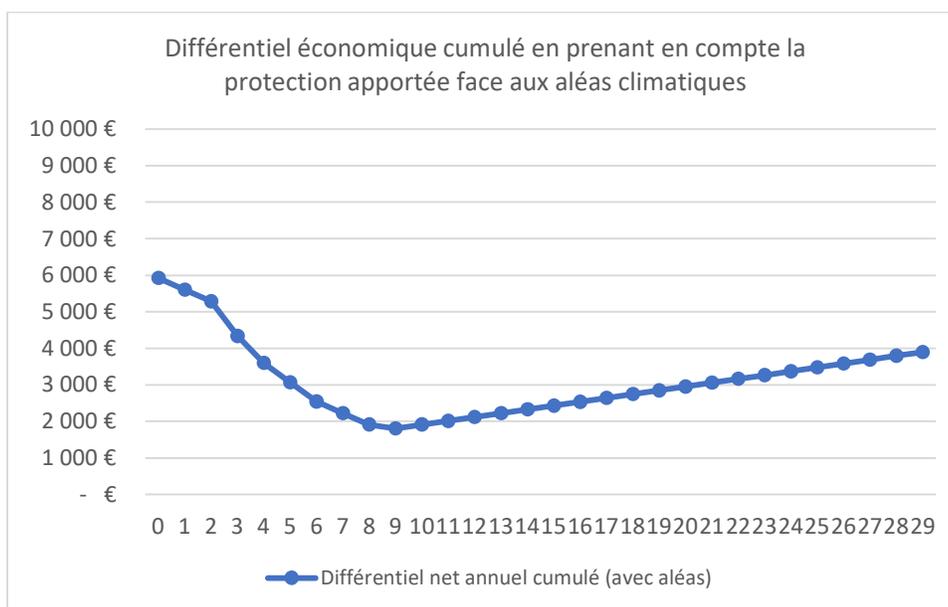
Hypothèses de travail pour la construction du modèle d'affaire :

Les hypothèses formulées pour ce modèle d'affaires sont appliquées au **contexte de production agricole des Vergers du Sud**. Les hypothèses suivantes ont été préalablement définies et justifiées :

- **Surface de verger plantée sous dispositif agrivoltaïque dynamique = 4,3 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.
- **Augmentation des coûts de plantation** : Aujourd'hui, les exploitants réalisent la plantation en mécanique. Or, la présence des poteaux de la structure agrivoltaïque sur les rangs rendra impossible l'utilisation de la planteuse. Ainsi, nous considérons que la plantation sera réalisée en manuelle, engendrant un surcoût estimé à +55%, dû à l'augmentation de la main-d'œuvre nécessaire.
- **Diminution de la consommation en eau de la plante** : -20% 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.
- **Suppression du coût d'installation des poteaux de palissage** : La structure en portique de 11,4 mètres du dispositif AVD pourra être utilisée comme support au palissage pour 33% des pommiers (un rang sur trois), ainsi que pour les filets paragrêles.
- **Limitation des pertes sur la récolte lors de canicules** : Simulation d'une trentaine d'épisodes de canicule sur 30 ans. Cet aléa devient une problématique récurrente depuis quelques années. Cet évènement est en moyenne à l'origine de 25% de pertes sur la totalité de la production ces années-là par brûlures.
- **Concernant le gel et la grêle** : du fait de la présence d'un système antigel par aspersion et des filets paragrêles sur le verger classique, nous n'avons pas pris en compte ces aléas dans les simulations. Néanmoins, à terme, le système AVD pourra se substituer au système antigel pour apporter une protection contre le gel pour les cultures, périodiquement ou définitivement, et permettra ainsi de réduire la consommation en eau et l'énergie de fonctionnement du système antigel, qui représentent des coûts conséquents.

L'implantation d'un système agrivoltaïque sur le verger répond à la volonté croissante des Vergers du sud 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 et l'installation de filets paragrêles. C'est pourquoi, afin de rendre d'autant plus réaliste le modèle d'affaire du projet AVD Ile du Chat à Valensole, une trentaine d'épisodes de canicules sur 30 ans ont été simulés. Le système agrivoltaïque offre donc la possibilité de limiter les pertes de production ces années, en limitant les effets de brûlures, soit éviter 25% de pertes sur le rendement.

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



Evolution du gain net cumulé sur 30 ans en situation agrivoltaïque dynamique

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 4 000 € par hectare**, soit un **gain annuel moyen de 130 €/ha** sur la durée considérée.

2.6 Garanties de la vocation agricole primaire du projet

Outre les critères d'éligibilité des projets exigeants fixés par ENGIE Green, en collaboration avec Sun'Agri (cf §2.3), 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.

2.6.1 Une gouvernance mettant l'agriculteur au cœur du processus



- **Le développeur et producteur photovoltaïque :**

ENGIE Green, développeur du projet, est le producteur photovoltaïque. L'entreprise finance, apporte des garanties et exploite l'installation agrivoltaïque au travers de la création d'une société de projet (SPV) dédiée, dans laquelle l'agriculteur (propriétaire et/ou exploitant) a la possibilité de co-investir.

- **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 prises 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 l'équipe d'ENGIE Green et les ingénieurs agronomes de Sun'Agri.

- **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.**

Sun'Agri assure la priorité et la performance de la production agricole sur la production électrique.

Un contrat de services agrivoltaïques est 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 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.

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. A 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**

Un organisme indépendant est désigné responsable du suivi agronomique du projet selon un protocole de suivi agronomique précis 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 la SCEA du Domaine Saint Georges, appartenant à la société des Vergers du Sud, l'organisme de suivi sera **de préférence la Chambre d'Agriculture des Alpes-de-Haute-Provence**. Sun'agri est en discussion pour définir les modalités de la convention de suivi agronomique.

2.6.2 Une synergie entre système agrivoltaïque et production agricole du projet

Jusqu'en 2022, l'agrivoltaïsme en était à ses prémices et les différents projets qui s'y référaient, étaient présentés comme une solution innovante. L'appel d'offres Innovation de la CRE intégrait ce type de projets, avec des critères de sélection bien précis : caractère agricole principal, production photovoltaïque secondaire en synergie, innovation de la solution (outils et services de pilotage...).

Fin 2022, la CRE a considéré que l'agrivoltaïsme était devenu mature et a donc transféré les projets d'agrivoltaïsme dans l'Appel d'Offres PV Bâtiment. Cependant, avec la publication de la nouvelle loi d'accélération de la production des EnR et les décrets en découlant à venir, le cahier des charges actuel de cet AO sera probablement amené à évoluer dans les prochains mois.

Ce projet agrivoltaïque devrait donc être candidat à l'appel d'offres PV Bâtiment de la CRE.

2.6.3 La labélisation du projet « Projet agrivoltaïque sur cultures »

Un premier outil de cadrage développé par France Agrivoltaïsme en partenariat avec **AFNOR Certification** est un **label « Projet agrivoltaïque de classe A sur cultures »** (<https://certification.afnor.org/energie/label-agrivoltaique-positif>) qualifiant les projets "favorisant la production agricole et améliorant durablement la performance agricole de la parcelle et de l'exploitation agricole".

Ce label, dont le processus d'évaluation est assuré par AFNOR Certification, valide la **priorité agricole d'un projet et détermine un suivi à minima jusqu'à 5 ans après la mise en culture** pour évaluer l'impact de la technologie. Ce processus facilitera le partage de retour d'expériences et de données. Le cahier des charges compte une cinquantaine d'exigences techniques, socio-économiques et environnementales évaluées pour chaque projet candidat au label.



Label « Projet Agrivoltaïque de classe A sur culture » -

ENGIE Green suivra les critères du label AFNOR pour le projet AVD Ile du Chat à Valensole. Le projet est d'ores et déjà conforme à la majorité des exigences techniques, particulièrement celles relatives aux critères obligatoires.

SYNTHESE DU PROJET AGRICOLE :

- **Un projet s'insérant dans une démarche de développement et d'innovation des Vergers du sud ;**
- Une recherche de solution d'adaptation au changement climatique pour la **pérennisation du rendement** de l'exploitation de pommiers ;
- Une géométrie de la structure et des cultures définies **selon les exigences et contraintes agricoles** des Vergers du Sud ;
- Un **suivi agronomique certainement opéré par la Chambre d'Agriculture des Alpes-de-Haute-Provence**, qui permettra d'assurer un pilotage adapté aux besoins de la plante dans le temps.

3 Programme de recherche et résultats expérimentaux

3.1 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 d'alors est 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.

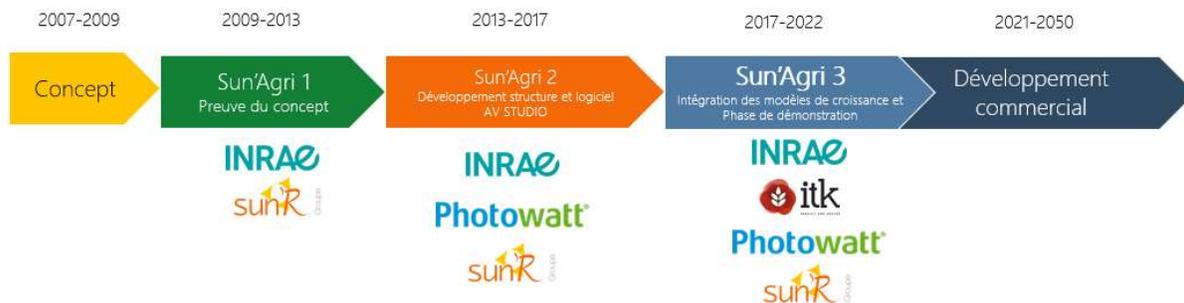
Sun'Agri 3 : Industrialiser en tenant compte de la spécificité de chaque culture ciblée en France

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.

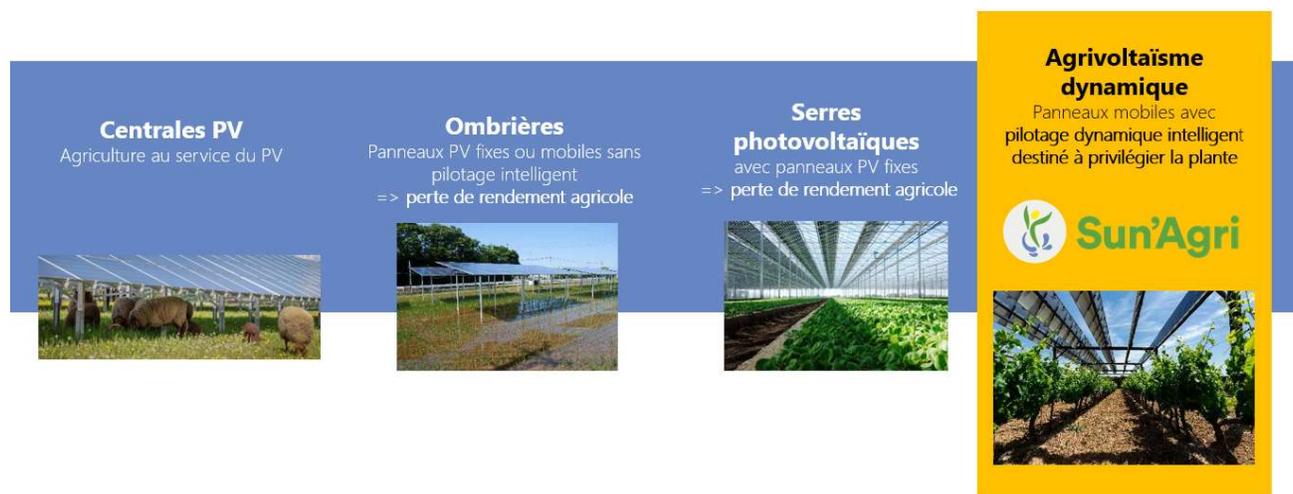
Sun'Agri est devenue en 2019 une filiale dédiée au développement de projets agrivoltaïques dynamiques, et surtout à l'élaboration des outils et modèles de pilotage optimal (pour les plantes) des panneaux. Sun'Agri est le pionnier et le leader mondial de la technologie agrivoltaïque dynamique.



Chronologie du programme de recherche Sun'Agri

3.1.1 Positionnement par rapport aux autres technologies d'agrivoltaïsme

L'agrivoltaïsme a donné lieu à des initiatives diverses dans le monde pour s'associer à des pratiques agricoles diversifiées en élevage ou en culture. La solution Sun'Agri est la seule qui s'adresse aux cultures de vignes et vergers avec un pilotage performant.



Exemple de 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.**

3.1.2 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 cette zone géographique dont le **besoin de protection est suffisamment élevé** pour justifier d'un réel intérêt économique ;
- enfin, les **cultures pour lesquelles il n'existe pas de solution d'adaptation existante ou du moins satisfaisante**. C'est ce que l'on appelle l'urgence climatique.

Cultures visées	Besoin des cultures
Viticulture (Pour le vin, tous types de cépages)	- Adaptation des vignes menacées durablement par les changements climatiques (cf. Hannah et al, 2013), en particulier par les fortes chaleurs, la sécheresse et les brûlures des baies par le soleil. Concerne la plupart des vins mondiaux spécialement les vins méditerranéens, californiens, australiens... - Diminution / optimisation de la consommation d'eau et des pertes erratiques liées au gel et à la grêle. - Limitation du taux de sucre 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)	- Cultures sensibles aux fortes chaleurs, déficits hydriques, grêle, pluies fortes, 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 perennes et de garantir leur durée de vie (env 15 ans)
Maraîchage sous abri (Concombres, salades, tomates)	- 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.

3.2 Des résultats ayant prouvé l'efficacité du système

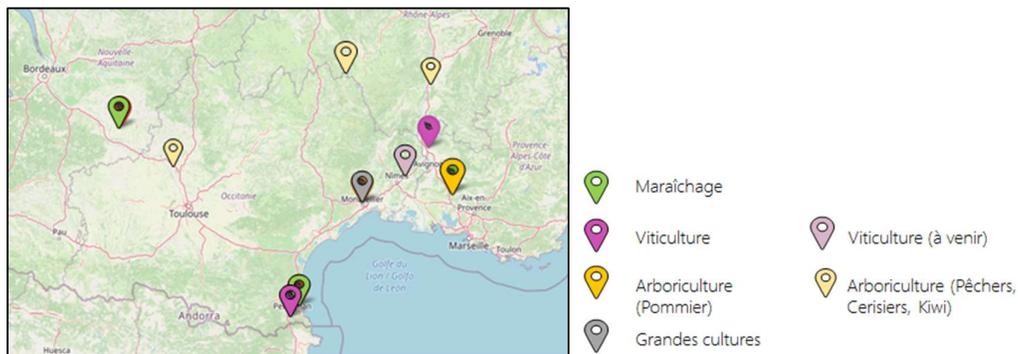
Les expérimentations sont menées sur :

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

3.2.1 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**.



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 (pommes)	En fonctionnement
Piolenc (84)	Dispositif Expérimental	Vigne adulte	En fonctionnement
Alenya	Dispositif Expérimental	Maraîchage	En fonctionnement
Brinkhoff	Dispositif Expérimental	Maraîchage	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 en Rhône.**

3.2.2 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 1ère 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 (Poirés – 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 noyaux.

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.

3.2.3 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 La Pugère 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.

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

3.3 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 ressources 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, ENGIE Green déploie des projets à plus grande échelle, en collaboration avec Sun'Agri, 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 structuration de la filière est capitale pour cadrer le développement, élever les standards et maintenir l'acceptabilité.

