

A low-angle photograph looking up at a series of solar panels mounted on a metal frame. In the foreground, there are lush green grapevines with leaves and small white flowers. The sun is shining brightly in the blue sky, creating a lens flare effect.

PROJET AGRIVOLTAÏQUE DU THOR
ANNEXE 8 – NOTICE DESCRIPTIVE DU PROJET

Table des matières

1	Contexte	3
2	L'agrivoltaïsme : outil agricole d'adaptation au changement climatique	5
2.1	Sun'Agri, filiale du groupe Sun'R	5
2.2	L'agrivoltaïsme dynamique par Sun'Agri	6
2.2.1	Le principe de l'agrivoltaïsme dynamique	6
2.2.2	Un pilotage agronomique intelligent	7
2.2.3	Une innovation issue d'un programme de recherche aux résultats agronomiques démontrés	7
2.2.4	Surfaces éligibles aux projets Sun'Agri	8
2.2.5	Une structure adaptée aux exploitations viticoles et arboricoles	9
3	Le projet agricole de la SARL Saint-Felix	11
3.1	Présentation du porteur projet	11
3.2	Intérêt agronomique et objectifs du projet	11
3.2.1	Un projet répondant à des problématiques agro-climatiques	11
3.2.2	Objectifs du projet pour l'exploitation	13
3.3	Choix de la parcelle de projet	13
3.4	Description du projet agricole	15
3.4.1	Surface agrivoltaïque et zone témoin	15
3.4.2	Cultures	15
3.4.3	Mode de culture	15
3.4.4	Géométrie de culture	16
3.5	Intérêt économique du projet pour l'exploitation	17
3.6	Garanties de la vocation agricole primaire du projet	19
3.6.1	Une gouvernance mettant l'agriculteur au cœur du processus	19
3.6.2	Une synergie entre système agrivoltaïque et production agricole du projet validée par l'Appel d'Offres Innovation du Ministère de la Transition Ecologique	22
3.6.3	La labélisation du projet « Projet agrivoltaïque sur cultures »	22
	SYNTHESE DU PROJET AGRICOLE :	23
4	Description technique du projet	24
4.1	Situation du projet	24
4.2	Caractéristiques techniques	24
4.2.1	Éléments constitutants	24
4.2.2	Description de l'installation technique	24
4.2.3	Architecture	Erreur ! Signet non défini.

4.2.4	Emprise et occupation du sol	25
4.2.5	Etude des accès	26
4.2.6	Stationnement et chemins	26
4.2.7	Raccordement électrique et alimentation en électricité	26
4.2.8	Démantèlement – Réversibilité de l'installation	27
4.3	Intégration du projet dans son environnement	28
4.3.1	Intégration du projet dans le milieu naturel	28
4.4	Intégration paysagère du projet.....	29
4.5	Alimentation en eau	30
4.5.1	Réseau d'irrigation.....	30
4.5.2	Estimation de la consommation en eau	30
4.6	Compatibilité avec les documents d'urbanisme	30
4.6.1	Plan Local d'Urbanisme	30
4.6.2	Risques naturels et technologiques.....	31
4.6.3	Autre (si concerné)	31
4.7	Concertation avec les acteurs locaux	32
	SYNTHESE PARTIE TECHNIQUE DU PROJET	32
5	Programme de recherche et résultats expérimentaux.....	1
5.1	L'aboutissement de 12 ans de R&D et de trois programmes de recherche.....	1
5.1.1	Positionnement par rapport aux autres technologies d'agrivoltaïsme.....	2
5.1.2	Les cultures et régions cibles	3
5.2	Des résultats ayant prouvé l'efficacité du système	3
5.2.1	Les dispositifs expérimentaux	3
5.2.2	Les démonstrateurs ou « projets pilotes »	4
5.2.3	Synthèse des résultats en viticulture.....	6
5.2.4	Synthèse des résultats en arboriculture.....	6
5.3	Enjeux du déploiement à plus grande échelle.....	7

1 Contexte

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

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

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

Le projet LE THOR concerne la SARL Saint Félix, créée en 1985 et gérée par M. Michel André. Située dans le Vaucluse et plus précisément sur la commune de Cavaillon, elle cultive aujourd'hui 75 ha de pommes, cerises et abricots en Agriculture Biologique et souhaite se diversifier vers de nouvelles cultures telles que la pistache et la poire.

Aujourd'hui, les vergers de M. André sont confrontés 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 gels printaniers. A 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 épisodes de grêles de plus en plus fréquents et intenses. Pour ce qui concerne la poire, les problématiques de gel et de grêle entre autres sont à l'origine d'une fragilisation de la filière.

M. André a de nouveau manifesté un vif intérêt pour la solution d'agrivoltaïsme dynamique Sun'Agri, en vue de répondre à l'ensemble de ces problématiques. En effet, lauréat de l'appel d'offres CRE Innovation 2020, son premier projet agrivoltaïque dynamique en abricots à Cavaillon devrait être construit en 2023. Convaincu par la technologie, il souhaite associer à ce nouveau projet une démarche tournée vers i) l'amélioration technique de sa conduite d'exploitation via une technologie innovante de protection de ses vergers et ii) la participation à la transition énergétique en associant deux systèmes de production sur son exploitation.

Le suivi de ce projet pilote sera en continuité du programme de recherche et développement Sun'Agri 3, lauréat du PIA, et impliquera les partenaires (dont INRAE) et notamment Chambre d'Agriculture de Vaucluse (84) pour le suivi agronomique.

Le projet est à candidat à l'Appel d'Offres Innovation PPE2 de la Commission de Régulation de l'Energie (dépôt du dossier mi-novembre 2021, en attente de la publication des lauréats). La technologie Sun'Agri proposée ici a déjà été maintes fois lauréate des dernières tranches de l'appel d'offres, validant à la suite de l'examen des dossiers par l'ADEME la vocation agricole primaire des projets et la synergie entre production agricole et production électrique secondaire.

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

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

Le projet est également **candidat à la labellisation « Projet agrivoltaïque sur cultures » par l'AFNOR Certification.**

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

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

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

2.1 Sun'Agri, filiale du groupe Sun'R

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



Volterres commercialise une offre innovante de fourniture d'électricité verte qui donne la possibilité aux entreprises et collectivités de s'approvisionner avec de l'électricité renouvelable produite sur leur territoire, grâce à la blockchain.



Producteur indépendant d'énergie, acteur historique du photovoltaïque en France, **Sun'R Power** développe, construit et exploite des projets innovants ou à fort impact pour accompagner les territoires dans la transition énergétique.



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 : 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.

Depuis le 15 avril 2021, le groupe Sun'R a fait évoluer ses statuts et est officiellement reconnu comme **société à mission**.

L'entreprise se donne pour raison d'être de « développer et mettre en œuvre des infrastructures et solutions intelligentes, répondant à l'urgence climatique et écologique, et permettant d'accélérer les transitions vers un monde durable alimenté par des énergies renouvelables ».

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).

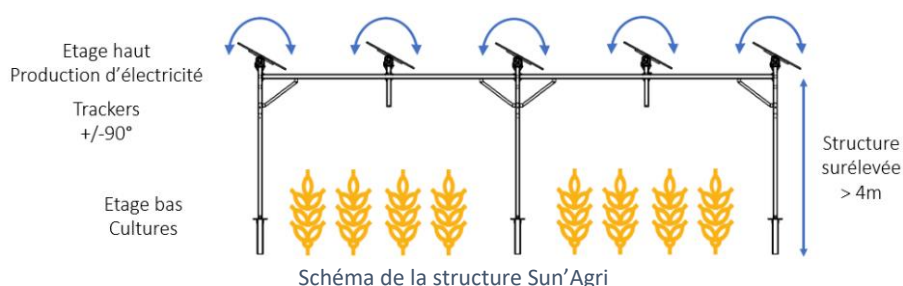
2.2 L'agrivoltaïsme dynamique par Sun'Agri

2.2.1 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

2.2.2 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 :

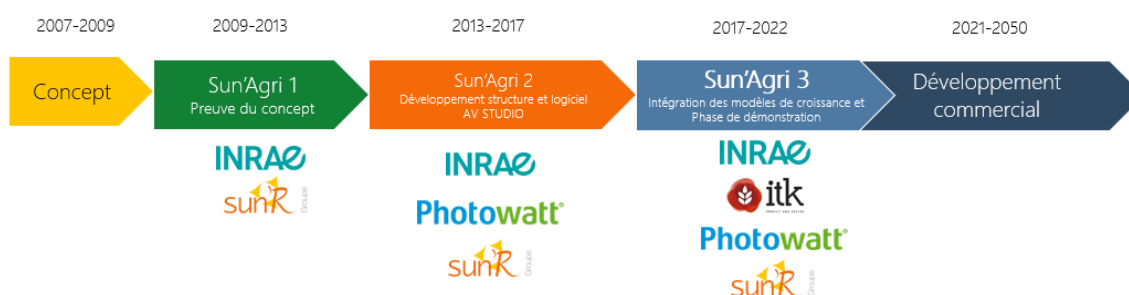
- En temps réel en fonction des données des capteurs installés *in situ* ;
- En tenant compte des conditions climatiques ambiantes ;
- En faisant appel à des modèles agronomiques numériques de croissance des plantes décrivant les comportements de l'espèce (et de la variété) ;
- Et en faisant appel à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

2.2.3 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 5 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)

2.2.4 Surfaces éligibles aux projets Sun'Agri

2.2.4.1 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 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.

2.2.4.2 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 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.

2.2.4.3 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.

2.2.5 Une structure adaptée aux exploitations viticoles et arboricoles

2.2.5.1 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 prévue au bout de quinze ans).

2.2.5.2 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 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.

3 Le projet agricole de la SARL Saint-Félix

3.1 Présentation du porteur projet

Le projet LE THOR concerne l'exploitation agricole **SARL Saint Félix**, dont le siège est basé à Cavaillon (84). Il s'agit d'une exploitation familiale, gérée par **Michel André et ses enfants**.

Monsieur André possède aujourd'hui **75 hectares en production à dominante arboricole, le tout en Agriculture Biologique**. Il se distingue par sa dynamique d'innovation forte, capable de prendre des risques sur des systèmes en rupture avec les usages traditionnels. Il a notamment été mis à l'honneur lors du Tech & Bio de septembre 2021 à Bourg-lès-Valence où il a été élu Talent 2021, saluant entre autres son futur projet agrivoltaïque dynamique en abricotiers². Fort de cette première expérience, M. André souhaite continuer à participer à des solutions innovantes, en développant un deuxième verger sous dispositif agrivoltaïque.

3.2 Intérêt agronomique et objectifs du projet

3.2.1 Un projet répondant à des problématiques agro-climatiques

La culture de la poire est de plus en plus sensible aux stress climatiques, et de la même façon au changement climatique. Des aléas gagnant en intensité et redondants impactent désormais chaque campagne de production en Vallée du Rhône et viennent directement menacer la pérennité de la filière :

- **Des épisodes de grêle violents**

Le risque de **grêle** augmente ces dernières années, et couvrir les vergers devient une condition *sine qua non* pour ne pas exposer l'exploitation à des risques trop importants. En moyenne, les vergers de ce bassin de production subissent un à deux épisodes de grêle par an, impactant parfois jusqu'à 80% de la production avec des conséquences négatives pluriannuelles sur le végétal comme cela a pu être le cas fin Mai 2020 sur les hauteurs de Venasque (Vaucluse)³. Dans le cas du projet LE THOR, les filets alt-carpo installés rang par rang feront office de protection paragrêle, comme le fait habituellement M. André sur ses autres vergers.

- ➔ La structure du système agrivoltaïque permet la mise en place de filets à moindre coûts en servant de support au système de protection. Ainsi, l'agrivoltaïsme apporte une solution compétitive pour les arboriculteurs souhaitant adopter de tels systèmes⁴.

- **Des gelées printanières désastreuses pour les productions :**

Les vergers font aussi face certaines années à des **gelées printanières** pouvant être désastreuses pour la production : la catastrophe climatique d'Avril 2021 a provoqué des pertes allant jusqu'à 100% (coings) et de l'ordre de 70% pour les poires de Vaucluse⁵. Sur le verger de M. André, chaque année les gelées menacent les productions. En prévention, l'arboriculteur a recours à de l'aspersion dans le but de protéger les bourgeons et les fleurs sous une coque de glace. Cette technique est onéreuse et chronophage, et ne fonctionne pas toujours. En effet, l'aspersion représente un coût de 8 à 14 000 €/ha à l'investissement.

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

² Tech & Bio, septembre 2021, « SARL Saint Félix, Vaucluse – Panneaux solaires et pistachiers à l'essai »

³ La Provence, 31/05/20, « Vaucluse : cerise et vignes dévastées par la grêle »

⁴ Contrairement à l'intuition, les panneaux ont vocation à s'effacer en période de grêle, pour ne pas risquer des bris de verre sur la culture, et la protection s'effectue au moyen de filets anti-grêle.

⁵ DDT de Vaucluse, 22/07/2021, Gel 2021 – Taux de perte par culture

témoin sont particulièrement bénéfiques lorsque la température approche 0°C, afin d'éviter le gel, et protéger notamment les organes les plus sensibles du plant comme les bourgeons.

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



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

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

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

Aujourd'hui, M. André est contraint de trouver des solutions alternatives pour protéger son verger des **chaleurs excessives** de plus en plus fréquentes. Ce phénomène a pour effet de ralentir voire inhiber le grossissement des poires, le calibre pouvant diminuer de 20%. En apportant de l'ombrage de manière intelligente via un système agrivoltaïque dynamique, on pourrait empêcher ce phénomène ainsi que réduire le taux d'évapotranspiration des arbres fruitiers, comme les travaux de Sun'Agri l'ont démontré. En baissant l'état de stress hydrique de son verger, cette solution permettra à M. André d'obtenir des rendements lissés d'une année sur l'autre. Les **brûlures** que peuvent occasionner ces épisodes de fortes chaleurs, couplés à un temps très sec, représentent une perte sèche sur la récolte ou du moins un déclassement de la production vers de l'industrie quand c'est possible. Les pertes liées aux excès d'ensoleillement, notamment causées par les brûlures sur fruits et feuilles engendrent une perte pouvant atteindre 15% de la récolte.

Outre la perte de récolte engendrée par ces différents aléas climatiques, les agriculteurs témoignent de leurs doutes quant à la capacité des vergers à se remettre de ces épisodes : si la durée de vie du verger diminue, c'est immédiatement la survie de l'exploitation qui est en jeu. Or les épisodes climatiques, tels que le gel de ce printemps, sont appelés à se renforcer dans les décennies qui viennent, à gagner en intensité et à durer potentiellement plusieurs semaines (Serge Zaka, chercheur en agro climatologie à iTK)⁶.

- ➔ *En apportant de l'ombrage de manière intelligente via un système agrivoltaïque dynamique, on pourrait empêcher ce phénomène ainsi que réduire le taux d'évapotranspiration des arbres, comme les travaux de*

⁶ La France Agricole, 02/03/2020 « 2019, l'année de tous les extrêmes climatiques »

Sun'Agri l'ont démontré. En baissant l'état de stress hydrique des plantes, cette solution permettra à la SARL Saint-Felix des rendements lissés d'une année sur l'autre mais également de réduire la consommation en eau des vignes. Cet effet découle de la régulation du microclimat à l'ombre des panneaux, offrant des conditions hydriques, thermiques et radiatives plus confortables aux plantes. Ainsi on réduit la transpiration, l'irrigation et la consommation en eau. Les modalités ombrées montrent également une réserve eau supérieure (La Pugère, G-EAU, 2019 & 2020). Il a également été mesuré une économie d'eau sous AVD avec des apports en irrigation jusqu'à 30% inférieurs par rapport à la zone témoin (La Pugère, GEAU, 2019).

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

3.2.2 Objectifs du projet pour l'exploitation

Pour toutes ces raisons, la SARL Saint Félix souhaite renouveler son intérêt pour installer un système agrivoltaïque dynamique dans le but :

- De faire évoluer et **moderniser les pratiques agricoles** en testant des systèmes synergiques innovants : mutualisation des pratiques agricoles avec la structure (filets alt-carpo, système de palissage sur poteaux de la structure, intégration de l'irrigation) ;
- **D'établir des références technico-économiques** sur l'utilisation des systèmes agrivoltaïques dynamiques en poires ;
- D'optimiser la performance du verger en produisant mieux et plus, grâce à **la maîtrise du microclimat du verger** ;
- De **redynamiser la production de poires** grâce au développement de solutions innovantes face aux contraintes climatiques et phytosanitaires.

3.3 La culture de poires sous structure agrivoltaïque

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

Sun'Agri a construit en 2021 la première installation agrivoltaïque grande échelle sur poiriers sur la commune de Lllupia dans les Pyrénées-Orientales. Le groupe Ille Roussillon, géré par Pierre Batlle, est une structure coopérative importante pour les filières arboricole et maraîchère du Roussillon. Depuis 1923, l'entreprise se transmet de génération en génération et se développe sur la commune de Thuir et ses alentours.

La structure agrivoltaïque de **2,3ha abrite des poiriers de la variété Harrow Sweet (similaire à celle choisie pour le projet du Thor)**. Une zone témoin de 0,4ha, sans panneaux, est associée.



Installation agrivoltaïque Sun'Agri sur poiriers – Llupia (66)

Les données provenant du site en exploitation de Llupia permettront de :

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

3.4 Choix de la parcelle de projet

Le choix de la zone de projet s'est porté sur un ensemble de parcelles de **7,23ha (AO 4/5/6/7/42/43/46/47/48/49/50)** actuellement plantée en pommiers.

Ayant passé leur stade de production optimale, Monsieur André a prévu de les arracher dans l'optique de se diversifier avec des poiriers. Les vieux plants feront l'objet d'un arrachage courant 2024.



Parcelle de projet : verger de pommiers en fin de vie

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.

Elle présentait également l'avantage d'être **en recul de la route et d'être entourée d'un réseau de haies arborées** (peupliers et cyprès) réduisant sa visibilité.

3.5 Description du projet agricole

3.5.1 Surface agrivoltaïque et zone témoin

Le projet consiste en une **structure agrivoltaïque de 3,9ha** ouverte positionnée sur une parcelle nouvellement plantée en **poiriers** ainsi qu'une **zone témoin représentative sans panneaux de 0,6ha** qui servira pour la comparaison agronomique.

La surface agrivoltaïque du projet correspond à **0,05%** de la surface totale de l'exploitation agricole (75ha).

La **zone témoin répond aux exigences du label agrivoltaïque de l'AFNOR** : elle sera conduite dans des conditions similaires que la parcelle agrivoltaïque, possède une surface représentative (0,2ha 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.

3.5.2 Cultures

Espèces et variétés agricoles :

Ce projet pilote sera une structure agrivoltaïque **ouverte en plein champ** sur une parcelle nouvellement plantée en poiriers palissés en axe. Les variétés sélectionnées par l'agriculteur sont la **Harrow Sweet** et la **Conférence**. Ces variétés ont été sélectionnées pour leur compatibilité avec le cahier des charges AB ainsi que leurs propriétés organoleptiques répondant à la demande des consommateurs.

Production annuelle estimée :

A ce jour, la SARL Saint Félix ne produit pas encore de poires, le rendement estimé alterne aujourd'hui entre 30 et 50t/ha/an. En installant un système agrivoltaïque dynamique, M. André espère obtenir un rendement « lissé » avoisinant **40 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 plus de 40%. La parcelle de 3,9 ha produirait donc annuellement 156 tonnes sous panneaux photovoltaïques, et 178 tonnes en comptant la production de la zone témoin.

Valorisation de la production :

Le verger agrivoltaïque produira des poires biologiques de gros à moyens calibres, à destination de grossistes. Les fruits ne rentrant pas dans le cahier des charges des grossistes (les fruits présentant des défauts) sont envoyés au marché de l'industrie.

3.5.3 Mode de culture

Certifications

La production de la parcelle agrivoltaïque sera certifiée **Agriculture Biologique** selon un cahier des charges précis⁷. M. André mettra en place un itinéraire technique basé sur :

⁷ (CE) No834/2007, Conseil de l'Union Européenne

- L'apport d'intrants d'origine organique (engrais verts, compost...) ;
- L'utilisation de filets alt-carpo pour protéger son verger des carpocapses mais également afin d'ajouter une barrière physique complémentaire contre la grêle et la pluie ;
- La mise en place du couvert végétal dans le but d'augmenter la biodiversité du verger.

Par ailleurs, toujours dans la même démarche de respect de l'environnement et afin de mieux valoriser commercialement ses poires agrivoltaïques, l'exploitant agricole a la volonté de conserver les signes de qualité suivants : HVE, DEMETER et Global Gap.

Irrigation

Une irrigation sera mise en place à la parcelle de **type goutte à goutte** au pieds des arbres, et **micro-jet sous frondaison** dans le but de démultiplier les bienfaits d'un ombrage intelligent, tout en apportant la juste quantité d'eau nécessaire à la plante.

Itinéraire technique général :



Itinéraire technique du projet LE THOR

Mécanisation

Le dimensionnement du verger agrivoltaïque a été pensé de manière à conserver des distances de plantation similaire à celles d'un verger classique en poiriers afin que la conduite soit la plus efficace possible.

En capacité d'employer de la main d'oeuvre permanente et saisonnière, M. André réalisera l'intégralité des travaux sur la parcelle agrivoltaïque de façon manuelle, comme il le fait habituellement sur ses autres vergers.

3.5.4 Géométrie de culture

Les rangées de vignes seront plantées :

- Selon un **axe nord-sud** ;
- Avec pour distance de plantation : **4m d'inter-rang pour 2m d'inter-pied**, ce qui est similaire à des vergers classiques.

Le verger agrivoltaïque aura une densité de plantation de **1 250 pieds/ha**.

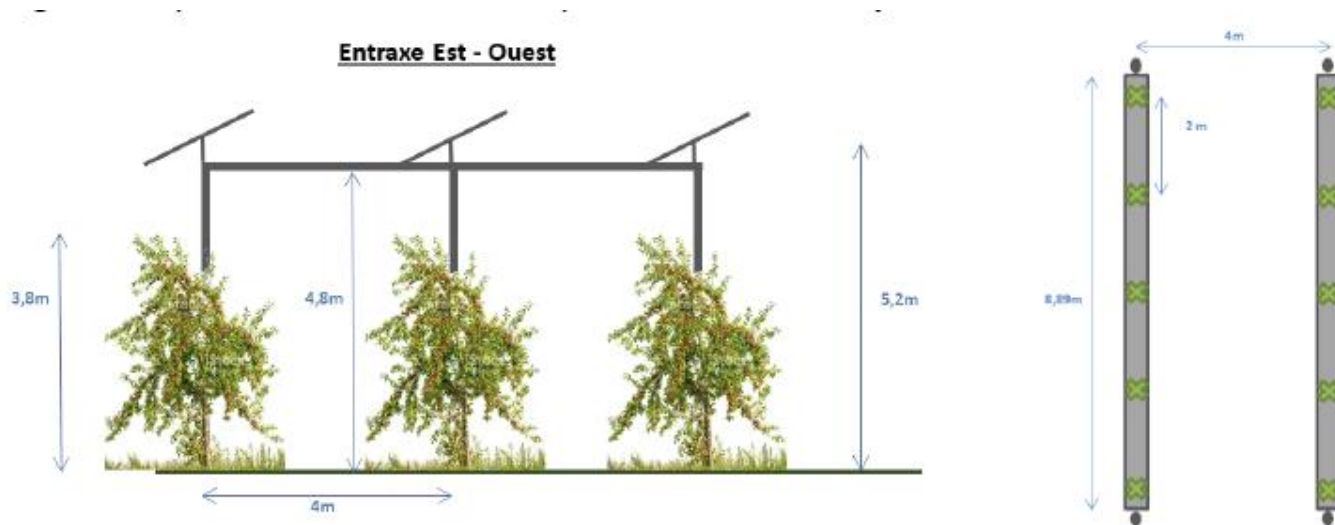


Schéma de la structure (coupe Est-Ouest)

La structure servira de support pour :

- Les **fils de palissage** : ils seront directement intégrés dans la structure et permettent une économie sur l'achat des poteaux en bois classiques ;
- Les **tuyaux d'irrigation** ;
- Les **filets para-grêles et anti-insectes**.

Comme schématisé ci-dessus, la totalité des rangs sera plantée 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.

3.6 Intérêt économique du projet pour l'exploitation

3.6.1 Modification des itinéraires agricoles

Les hypothèses formulées pour ce modèle d'affaires sont appliquées au **contexte de production agricole de la SARL Saint Félix**. Les hypothèses suivantes ont été préalablement définies et justifiées :

- **La durée de vie prévisionnelle du verger est de 30 ans :**
 - l'année N0 correspond à l'année de plantation ;
 - les arbres rentrent en phase productive à partir de l'année N+3.
- **Surface de verger plantée sous dispositif agrivoltaïque dynamique = 3,9 ha**
- **Augmentation des temps et coûts de travaux** : liés à la présence de la structure au verger, variable selon les travaux à mener (et donc selon les années) et dégressif sur les 10 premières années d'exploitation, une augmentation moyenne estimée à +15%.
- **Diminution de la consommation en eau de la plante** : -27% de coût d'irrigation. L'ombrage permettrait de diminuer le phénomène d'évapotranspiration des plantes. En limitant leurs pertes hydriques, elles consomment moins d'eau.
- **Synergie avec des outils agricoles complémentaires** : la structure installée permet la synergie avec d'autres outils en utilisant les poteaux en place pour le palissage, l'installation de filets alt-carpo rang par rang ainsi que le système d'irrigation, ne laissant à la charge de l'exploitant que les coûts de filets.

Ces hypothèses annuelles sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Verger classique	Verger AVD	Sources
Coûts des temps de travaux mécanisés	2 300 €/ha	2 645 €/ha	M. André
Coûts de palissage	8 000 €/ha (poteaux)	0 €/ha (poteaux)	M. André
Consommation en eau	300 €/ha	219 €/ha	Expérimentations Yassin Elamri et Hélène Marrou, simulation grâce à l'outil AV Studio ®

L'implantation d'un système agrivoltaïque sur le verger de la SARL Saint Félix répond à la volonté croissante de M. André de protéger ses vergers des aléas climatiques, de sécuriser sa production et de réduire ses frais d'irrigation et d'installation de filets de protection. En effet, la structure agrivoltaïque permet entre autres d'être utilisée comme support pour le palissage et l'installation de filets alt-carpo.

A partir des hypothèses prises sur les produits (prix de vente, répartition calibre), les paramètres retenus pour le modèle d'affaire sont explicités dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Verger classique & AVD	Sources
Répartition de la production : Grossiste – Gros calibre Grossiste – Moyen calibre Industrie	20% 70% 10%	M. André
Prix de vente Grossiste – Gros calibre Grossiste – Moyen calibre Industrie	2 €/kg 1,5 €/kg 0,5 €/kg	M. André
Production totale	40 t/ha/an	M. André
Chiffre d'affaires	213 000 €/an	M. André

3.6.2 Aléas climatiques : pertes évitées par la protection Sun'Agri

La **nature aléatoire des aléas climatiques** rend impossible de fournir un business case exact sur les 30 ans de vie du projet. Ces aléas et leur impact sur le résultat économique sont donc simulés à l'aide de **lois statistiques**. Les paramètres de ces lois proviennent de bases de données météorologiques, d'avis experts et des exploitants agricoles eux-mêmes. Les dégâts sur la récolte de l'exploitant sont aussi simulés par une loi statistique.

Des simulations sur 30 ans sont réalisées en grand nombre, pour fournir un large jeu de données d'aléas. On en extrait des indicateurs statistiques pertinents décrivant leur force et leur variabilité, ainsi qu'une simulation médiane étant la plus probable de se réaliser.

Pour le projet LE THOR, les paramètres considérés sont :

- **Limitation des pertes sur la récolte lors d'épisodes de grêle** : Ces années-là, on estime des dégâts par blessures des fruits et feuilles, prolifération de ravageurs et casse des rameaux d'en moyenne 5% de la production.

Grâce à la protection agrivoltaïque et aux filets présents, on évite 100% des pertes.

- **Limitation des pertes sur la récolte lors d'épisodes de gel** : Lors des gels printaniers, les dégâts varient selon l'intensité de la vague de froid. Ainsi, les pertes sur récoltes par brûlures avoisinent 20% habituellement sur l'exploitation de M. André, mais des années comme celle de 2021 peut occasionner jusqu'à 100% de pertes. La protection apportée par le système agrivoltaïque permet de protéger à hauteur de 60% de cet aléa.

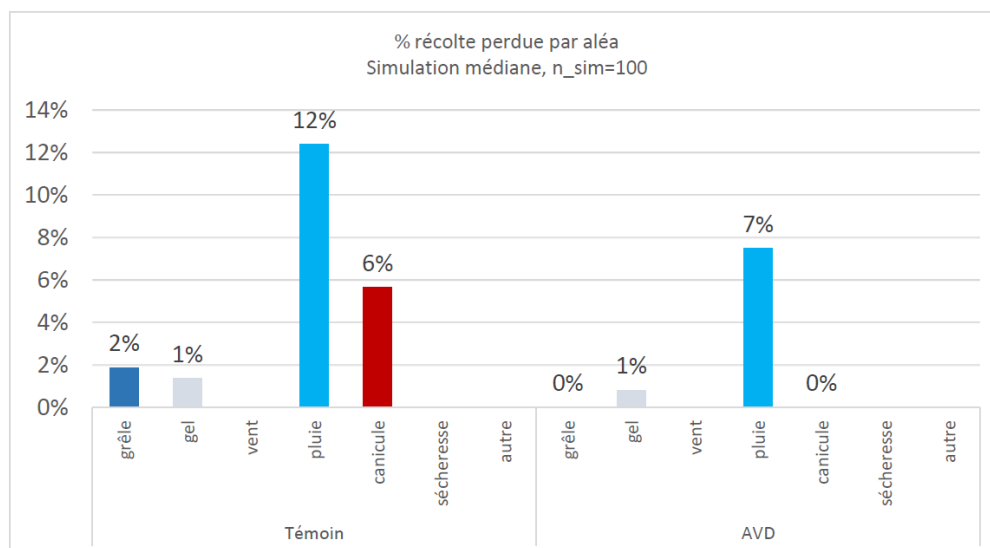
Limitation des pertes sur la récolte lors de pluie : La pluie à partir de la floraison jusqu'à la récolte peut être vectrice de maladie fongique telle que la tavelure. Ce phénomène occasionne en moyenne 15% de pertes. Grâce à la protection physique apportée par les panneaux au-dessus de chaque rang d'arbres, on évite 40% de ces pertes.

- **Limitation des pertes sur la récolte lors d'épisodes caniculaires** : Ce phénomène de plus en plus oppressant pour la filière arboricole occasionne habituellement 10% de pertes sur la récolte par brûlures et coups de soleil. La protection apportée par l'ombrage pilotée permet d'éviter intégralement ces effets délétères.

Ces paramètres sont repertoriés dans le tableau ci-dessous :

Aléa	Incidence sur 30 ans :	Pertes moyennes par évènement		Sources
		Verger classique	Verger AVD	
<i>grêle</i>	10 incidences, <i>Loi Normale</i>	5% <i>Loi Normale</i>	0%	M. André, et résultats d'expérimentations 2019 et 2020, La Pugère, INRAE
<i>gel</i>	3 incidences, <i>Loi Normale</i>	20% <i>Loi Normale</i>	8%	Idem
<i>pluie</i>	25 incidences, <i>Loi Normale</i>	15% <i>Loi Normale</i>	9%	Idem
<i>canicule</i>	15 incidences <i>Loi Normale</i>	10% <i>Loi Normale</i>	0%	Idem

Après simulation, la perte économique totale sur 30 ans liée à chacun de ces aléas peut être représentée (Figure ci-après). L'effet du système agrivoltaïque sur les conditions climatiques extrêmes semble significatif et rend compte de la valeur ajoutée d'une telle solution.



Selon notre modèle, le système agrivoltaïque dynamique apporte **un gain net total sur 30 ans de 759 233 € pour la surface considérée de 3,55 ha**. Soit un **gain annuel moyen de 25 308 €** sur la durée considérée.

3.7 Garanties de la vocation agricole primaire du projet

Outre les critères d'éligibilité des projets exigeants fixés par Sun'Agri (cf §2.2.4), 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.

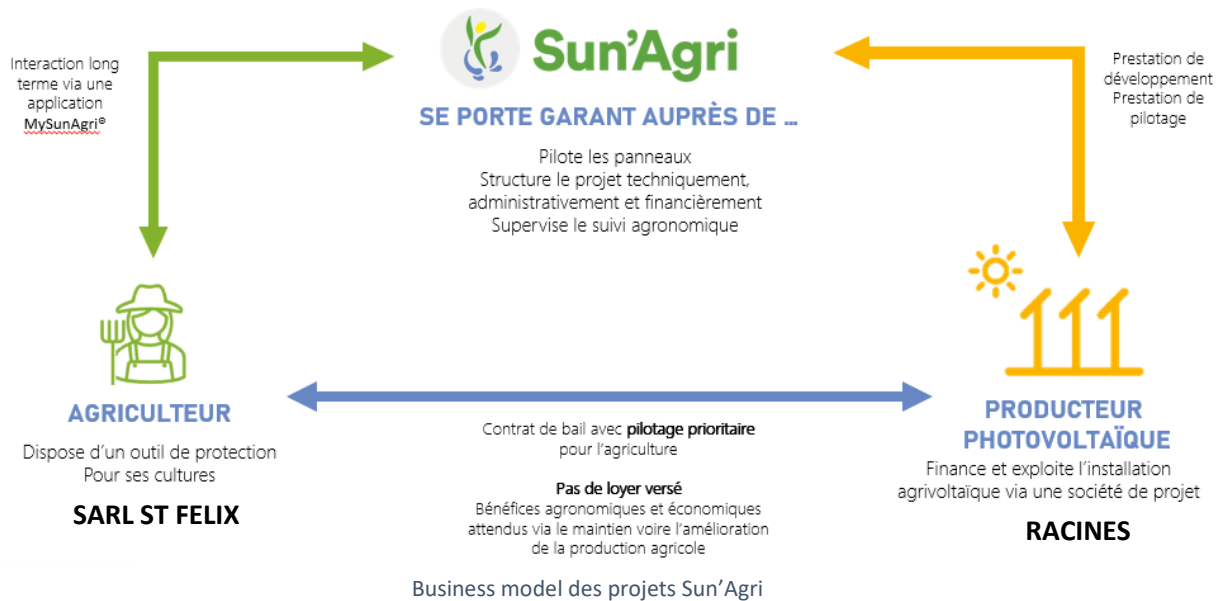
3.7.1 Une gouvernance mettant l'agriculteur au cœur du processus

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.

Alors que, jusqu'à présent, les agriculteurs possesseurs de foncier étaient considérés par les producteurs d'électricité comme des « hébergeurs », Sun'Agri a conçu un contrat de partenariat radicalement innovant dans lequel l'agriculteur est le client et le donneur d'ordre, et donc au centre du jeu.

Ce modèle est une réelle rupture par rapport aux schémas contractuels classiques dans le monde du photovoltaïque.

Le schéma contractuel engageant chaque partenaire est résumé dans la figure ci-dessous.



- **L'investisseur :**

Il pourra être :

- L'agriculteur, prioritaire (à 100% ou en co-investissement dans le cadre de Cultivons Demain !)
- Râcines, plateforme de financement dédiée aux projets agrivoltaïques ;
- Un producteur indépendant d'électricité (IPP), souhaitant utiliser la technologie Sun'Agri pour ses projets.

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 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 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 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.

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**

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 du Thor, l'organisme de suivi sera **la Chambre d'Agriculture du Vaucluse (84)**. La convention de suivi agrivoltaïque a été signée le **19/10/2021**.

3.7.2 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 lauréat à l'appel d'offres Innovation PPE2 5.1 de la CRE, qui permet de confirmer le caractère agricole principal, en synergie avec une production photovoltaïque secondaire.

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

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 3MWc, impliquant des surfaces couvertes entre 3 et 5ha, permet également d'envisager un développement raisonné de l'agrivoltaïsme.

3.7.3 La labélisation du projet « Projet agrivoltaïque sur cultures »



La structuration de la filière est capitale pour cadrer le développement, élever les standards et maintenir l'acceptabilité. C'est le but de l'association **France Agrivoltaïsme**.

L'association – qui regroupe aujourd'hui plusieurs dizaines de membres représentant des dizaines de milliers d'agriculteurs mais aussi de nombreux énergéticiens – **visent à promouvoir l'agrivoltaïsme, comme une filière à part entière, en priorisant les solutions à fort impact agricole**, à représenter la filière auprès des différentes parties prenantes (pouvoirs publics, organisations professionnelles...), à étudier et défendre les droits et intérêts de ses membres, et à développer l'information et la formation sur l'agrivoltaïsme.

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-agrivoltaïque-positif>) qualifiant les projets "favorisant la production agricole et améliorant durablement la performance agricole de la parcelle et de l'exploitation agricole".

Grâce à ce signe de reconnaissance et au processus d'évaluation assurée par AFNOR Certification, **l'exigence de priorité agricole sera validée et le projet sera suivi à minima jusqu'à 5 ans après sa mise en cultures** 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 »

Sun'Agri s'engage à faire labeliser le projet du Thor. 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 de renouvellement des vergers de la SARL Saint-Félix ;
- Une recherche de **solution d'adaptation au changement climatique pour la culture de poiriers en Agriculture Biologique** ;
- Une géométrie de la structure et des cultures définies **selon les exigences et contraintes agricoles** de la SARL ;
- 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 ;
- Un projet répondant aux exigences du Label « **Projet agrivoltaïque sur culture** » d'AFNOR Certification.

4 Description technique du projet

4.1 Situation du projet

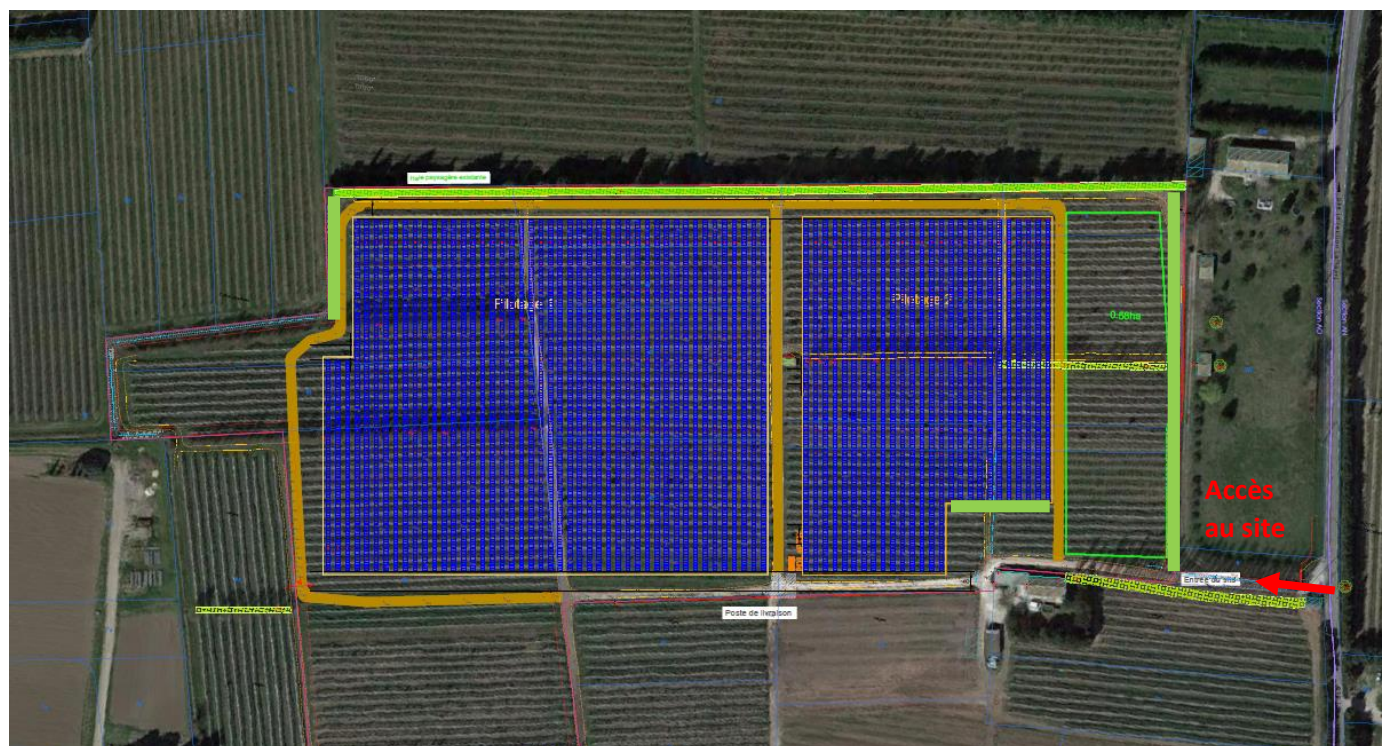
Le projet envisagé est **situé dans une zone agricole** sur la commune du Thor, dominée par des vergers.

4.2 Caractéristiques techniques

4.2.1 Eléments constitutifs

Les parcelles concernées par le projet sont : **AO 4/5/6/7/42/43/46/47/48/49/50**. Elles totalisent une surface de 7,23ha, constituant la zone de projet et comprenant :

- Une structure agrivoltaïque de 3,9ha de puissance 3,3MWc (en **bleu**) ;
- Une zone témoin de 0,58ha sans structure agrivoltaïque, nécessaire au suivi expérimental pour comparaison et évaluation des résultats sous ombrage piloté (en **vert**) ;
- Un local technique combinant poste de livraison et poste de transformation (en **orange**).



Plan d'implantation

4.2.2 Description de l'installation technique

Le site ainsi que le local technique est accessible directement depuis la route départementale (RD98 - Route de Vignères) située à l'est du projet. Un chemin rural, ouvert, dessert la zone.

Le **local technique**, combinant un poste de livraison et un poste de transformation :

- aura pour dimensions 12,5m x 2,6m x 2,8m (L x l x h) et une **surface plancher** de 29,5 m² ;
- sera **surélevé de 0,7m** par rapport au terrain naturel, afin de respecter les préconisations du PPRI du Calavon-Coulon (aléa résiduel)
- sera accessible directement par la RD98.

La structure agrivoltaïque comprendra :

- **Une structure métallique** supportant les panneaux, composée de poteaux type pieux battus d'une hauteur de 5m et de largeur 15 cm par 15 cm. Cette hauteur est compatible avec le passage d'engins agricoles. Les poteaux seront espacés de 4m sur l'axe est-ouest et de 9m sur l'axe nord-sud. Cette configuration a été définie en concertation avec l'agriculteur, en fonction de ses besoins d'exploitation ;
 - **Des rangées panneaux photovoltaïques bi-faciaux positionnés sur trackers**, qui pivotent en fonction de la course du soleil. Les trackers sont positionnée sur un axe placé à 40cm au-dessus de la structure métallique, soit à une hauteur de 5,4m. Les panneaux peuvent pivoter sur un angle de 0 à 90° et la dimension de la structure permet un effacement total ;
- La surface totale des panneaux installés sera de 14 817m²** (8 232 panneaux d'une surface de 1,8 m²).
Le revêtement des panneaux est en verre anti-réfléchissant de teinte bleu foncé.
Il n'y aura pas de clôture sur le site.

➔ Cf Plan de coupe et Plan des façades.

4.2.3 Emprise et occupation du sol

4.2.3.1 Emprise au sol

- Structure agrivoltaïque :

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

Emprise structure AVD = 'nombre de panneaux' x 'surface de chaque panneau' = 8 232 x 1,8 = **14 817 m²**

- Local technique :

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

Emprise local technique = **32,5 m²**

- Emprise au sol totale :

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

L'emprise au sol totale du projet est donc de 14 850,1 m².

4.2.3.2 Occupation du sol

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

Les fondations retenues pour la structure sont de type pieux battus « en H » de 15 cm de large. Au total, il y aura **1101 pieux battus**, chacun espacés de 4m (est-ouest) et de 9m (nord-sud).

La surface d'occupation au sol du projet est donc de : $(0,15 \times 0,15) \times 1\,101 = 24,7\text{m}^2$.

Soit un pourcentage d'occupation du sol de : $((0,15 \times 0,15) / (4 \times 9)) \times 100 = 0,025 \%$

L'occupation du sol de la structure agrivoltaïque est de 24,7m², soit 0,025%.

4.2.3.3 Imperméabilisation des sols

La surface d'occupation de la structure AVD (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 2,50m. Seule la surface des panneaux intercepte la pluie. Le reste de la structure n'intercepte pas la pluie.

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

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

4.2.3.4 Stratégie de pilotage des panneaux en cas de pluie

Les panneaux photovoltaïques sont pilotables sur un axe est-ouest grâce un système de trackers. Le pilotage « intelligent » est défini selon les besoins physiologiques de la culture. Il est donc possible de contrôler à chaque instant l'ombrage apporté aux plantes, dans l'optique d'une amélioration systématique de la production agricole par rapport à des conditions de plein champ.

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

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

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

Cet algorithme de pilotage lors d'évènement pluvieux a fait l'objet d'une publication scientifique (*Rain concentration and sheltering effect of solar panels on cultivated plots ; Yassin Elamri, Bruno Cheviron, Annabelle Mange, Cyril Dejean, François Liron, Gilles Belaud*)

4.2.3.5 Une qualité agricole des terrains maintenue

Les terrains d'implantation des persiennes agrivoltaïques sont spécialement sélectionnés pour leur faible pente. **Ainsi aucun déblai ou remblai n'est réalisé sur la parcelle du projet pour niveler le terrain.**

Des tranchées légères seront mises en place pour la circulation des câbles le long des chemins d'exploitation agricole. Ainsi, la mise en place de la structure ne modifie pas ou ne détériore pas la qualité des sols pour leur usage agricole.

4.2.4 Etude des accès

L'accès au site se fait par la RD98 à l'est du projet. Un chemin agricole mène au projet.

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

4.2.5 Stationnement et chemins

Le stationnement des véhicules nécessaires à l'exploitation de la centrale agrivoltaïque se fera en dehors des voies publiques. **Aucune place de stationnement ne sera créée dans le cadre du projet.**

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

4.2.6 Raccordement électrique et alimentation en électricité

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

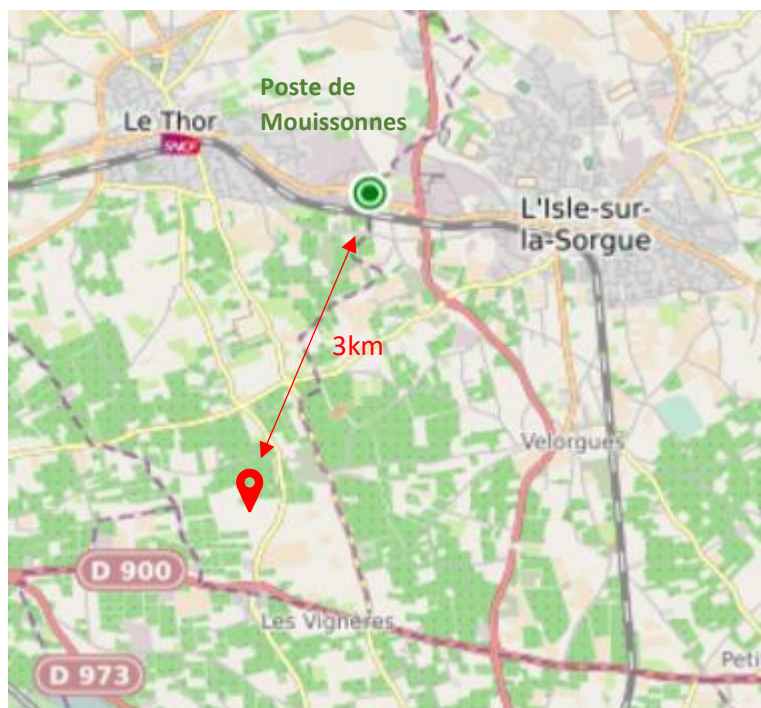
L'électricité produite par les panneaux ayant vocation à être injectée sur le réseau national, une demande de raccordement pour une puissance de 3,3MW sera réalisée auprès d'Enedis directement par le maître d'ouvrage une fois le permis de construire obtenu.

L'intégralité des frais de raccordement sera entièrement à la charge de la société de projet.

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

Enedis priorise le passage des câbles le long du domaine public et l'enfouissement des câbles. Ils recherchent le raccordement souterrain au réseau HTA le plus proche. Concernant le passage du ruisseau, un passage en aérien pourra être envisagé afin d'éviter un impact supplémentaire en phases travaux sur le cours d'eau.

L'électricité sera possiblement injectée dans le réseau national à travers le **poste source de Le Thor** (« Mouissonnes »), celui-ci étant le plus proche du site du projet (3km à vol d'oiseau) et ayant de la capacité disponible.



Localisation du projet et du poste source

4.2.7 Démantèlement – Réversibilité de l'installation

Le producteur d'électricité s'engage à démanteler à ses frais l'installation (cout provisionné dans le cout initial du projet) **au bout des 30 ans d'exploitation**. Le site sera remis en état sans aucune dégradation. L'exploitant agricole a la possibilité, s'il le souhaite, de garder la structure.

Le système est conçu pour que :

- La structure soit **entièrement démontable et facilement recyclée** (composée à 95% d'acier) ;
- Les panneaux soient recyclables (via l'association PV Cycle – coût du recyclage inclut dans le prix des panneaux) ;
- Les ancrages de la structure en pieux battus (en acier) puissent être entièrement retirés.

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

- Absence de béton donc d'imperméabilisation des sols ;
- Démantèlement facile en fin d'exploitation ;
- Aucune pollution des sols.

4.3 Intégration du projet dans son environnement

4.3.1 Intégration du projet dans le milieu naturel

4.3.1.1 Premiers retours d'expérience – Inventaires naturalistes sur le parc agrivoltaïque de Tresserre (66)

Dans l'optique d'obtenir un premier retour d'expérience sur l'intégration des installations agrivoltaïques dans le milieu naturel, Sun'Agri a sollicité le bureau d'étude naturaliste, **Artifex, pour évaluer l'évolution du cortège faune/flore sous persienne agrivoltaïque comparativement à l'évolution sur la parcelle témoin pour le parc en exploitation de Tresserre (66).**

L'étude va se poursuivre sur plusieurs années (six ans) afin de collecter une quantité de données suffisamment importante pour arriver à de véritables constats.

Néanmoins, nous pouvons observer de première tendance pour les années 2020-2021 :

- La phase la plus impactante pour la biodiversité est la construction du parc. L'impact de cette phase est réduit du fait d'une adaptation du calendrier des travaux. Ceux-ci débutent en dehors de la période critique de reproduction et d'activité d'une grande partie de la faune. Un retour rapide et croissant de la biodiversité locale a été observé après sa mise en service. En 2021, la richesse spécifique est quasi équivalente à ce qui avait été observé lors de l'étude d'impact. 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 y a trouvé de nouveaux supports bénéfiques tel que la Tarente de Maurétanie (lézard affectionnant les constructions humaines), certains passereaux qui nidifient dans les structures métalliques creuses (Étourneau sansonnet et Moineau domestique), certains mammifères terrestres s'abritent sous les persiennes pour se reposer et se rafraîchir lors des fortes chaleurs (Lièvre d'Europe...) ;
- Les espèces d'oiseaux chassant ou se nourrissant en vol préfèrent la parcelle témoin (Hirondelle rustique, Faucon crécerelle) ;
- Il est noté une diversité floristique plus importante sur la zone témoin et un peuplement plus homogène sous la structure. Le cortège floristique est différent du cortège observé durant l'étude d'impact avec une proportion d'espèces sciaphiles (affectionnant les milieux ombragés) plus importante sous la structure ;
- L'installation ne semble pas hermétique au développement des insectes et à l'activité des chiroptères, qui chassent aussi bien sur la parcelle en agrivoltaïsme que sur la zone témoin.

4.3.1.2 Conclusions du diagnostic écologique

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

Le secteur d'étude n'est compris dans aucun périmètre d'inventaire ou de protection des milieux naturels.

Altifaune conclut que, de par sa nature, sa conception, ses modalités de construction et les mesures entreprises pour réduire ses impacts, le projet agrivoltaïque du Thor présente un impact non significatif sur la faune, la flore et les habitats naturels.

La réalisation du projet va impliquer l'arrachage d'un linéaire de 260 mètres linéaires de haies. **Ce linéaire sera intégralement replanté selon le ratio appliqué par la DDT du Vaucluse à savoir 1ml arraché = 1ml replanté.**

Cette mesure est intégrée au projet et budgétée.

4.3.1.3 Mesures favorisant la biodiversité

Le diagnostic écologique présenté en Annexe 10 détaille les mesures suivantes, que Sun'Agri s'engage à mettre en œuvre :

- *Mesure d'évitement en amont :*
 - o *Implantation réfléchie du projet*
- *Mesures de réduction en phase chantier :*
 - o *Adaptation du calendrier de réalisation du chantier ;*
 - o *Aménagement d'abris pour la faune terrestre en amont des travaux ;*
 - o *Mesures préventives de lutte contre la pollution ;*
 - o *Suivi de la phase chantier par un écologue.*
- *Mesures en phase d'exploitation destinées à favoriser la biodiversité :*
 - o *Installation de gîtes et de nichoirs pour la faune volante ;*
 - o *Replantation de haies avec essences locales*
- *Mesures de suivi écologique en phase exploitation :*
 - o *Suivi des aménagements pour la faune terrestre et volantes ;*
 - o *Suivi écologique de l'avifaune nicheuse et de la faune terrestre (avec attention particulière sur le suivi de la recolonisation et/ou du maintien des espèces patrimoniales).*

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

➔ **Le diagnostic écologique est présenté en Annexe 10**

4.4 Intégration paysagère du projet

4.4.1.1 Conclusions de l'étude paysagère

Pour le projet du Thor, Sun'Agri a fait appel au bureau d'étude **ENCIS ENVIRONNEMENT** pour la **réalisation d'une étude paysagère**.

Celle-ci présente les résultats de l'analyse de l'état actuel de l'environnement du site choisi pour le projet. Elle détaille ensuite la démarche de conception du projet dans une logique de moindre impact et présente les effets de l'implantation retenue sur le paysage. Les mesures d'évitement, de réduction et de compensation inhérentes au projet y sont résumées.

La zone d'implantation potentielle couvre une surface d'environ 7,2 ha. Elle est occupée par des terres agricoles majoritairement exploitées pour la production fruitière. La **plupart des parcelles sont encadrées par des haies bocagères**.

Ce maillage, de haies et d'arbres isolés crée des phénomènes de cloisonnement et enferme le site par rapport à son environnement extérieur. Ainsi, de manière générale, le projet ne sera donc que très faiblement visible pour les usagers du territoire.

L'incidence paysagère du projet est qualifiée de nulle à très faible. Il existe néanmoins quelques habitations dans le voisinage immédiat, susceptibles d'être impactées par le projet.

➔ **L'étude paysagère est présentée en Annexe 11.**

➔ **Les photomontages du projet sont présentés en Annexe 3.**

4.4.1.2 Mesures paysagères

Pour limiter les incidences visuelles sur le voisinage, des mesures de réduction et d'accompagnement ont été prises dans le choix d'implantation du parc agrivoltaïque :

- **l'installation de la zone témoin à l'est** permet de limiter les visibilitées en direction du projet depuis les habitations les plus proches et la départementale D98 ;
- au sud-est du projet, **un recul de la structure** a été réalisé afin de limiter les incidences visuelles sur l'habitation la plus proche ;
- **le poste de livraison se localise entre les deux ensembles** ce qui permet de fortement limiter les visibilitées sur celui-ci depuis l'extérieur du projet ;
- **la plantation d'une haie en limite est et sud-est du site afin de masquer les persiennes** depuis la route et les deux habitations proches. Au total, 250 ml de haies sont prévus comme mesure paysagère pour limiter les visibilitées sur le projet depuis les zones connaissant des impacts visuels.

4.5 Alimentation en eau

4.5.1 Réseau d'irrigation

Une borne de pompage est déjà présente au centre de la parcelle et servait déjà à irriguer le précédent verger. Aucune nouvelle installation ne sera nécessaire pour le projet agrivoltaïque.

L'irrigation choisie pour la parcelle sera un couple de **type goutte-à-goutte aérien et de micro-jet pendulaire** dans le but **d'apporter la juste quantité nécessaire en eau à la plante et ainsi optimiser la consommation de la ressource**.

Grâce à l'ombrage apportée par la structure, la **consommation d'eau sera réduite par rapport à de l'arboriculture classique**.

4.5.2 Estimation de la consommation en eau

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

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

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

Le projet consistant en la culture de 3,9ha de zone AVD et 0,6ha de zone témoin, nous estimons une consommation annuelle de :

$$3,9 \times 1750 \times 0,8 \text{ (zone AVD)} + 0,6 \times 1750 = \mathbf{6\,440\,m^3 / an.}$$

Le système d'irrigation actuel est suffisant pour subvenir aux besoins en eau des futures plantations.

4.6 Compatibilité avec les documents d'urbanisme

4.6.1 Plan Local d'Urbanisme

La zone de projet est localisée en **zone agricole A du PLU du Thor approuvé en juin 2016**, autorisant les installations nécessaires aux activités agricoles et les équipements d'intérêt collectifs.



Extrait du plan de zonage du PLU du Thor

4.6.2 Risques naturels et technologiques

- **Risque sismique**

La commune de Le Thor est classée en **zonage sismique 3 (modéré)**. La commune n'est pas couverte par un Plan de Prévention des Risques Sismiques. Au regard de ses caractéristiques, le projet n'est pas susceptible d'avoir un impact sur la sismicité de la zone, ni d'en être impacté.

- **Aléa retrait-gonflement des argiles**

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

- **Risque d'inondation**

La commune de Le Thor est concernée par le projet de **Plan de Prévention des Risques Inondation (PPRI) du Calavon-Coulon** prescrit le 26 juillet 2002.

Le **projet est concerné par la zone d'Aléa Résiduel** (Cf Annexe 7 – Extrait du zonage du PPRI du Calavon-Coulon).

Le projet respecte les prescriptions du PLU et du PPRI.

- Le local technique sera surélevé de 0,70m par rapport au terrain naturel.
- Les trackers, panneaux photovoltaïques et équipements sensibles seront bien implantés au-dessus de la cote des plus hautes eaux (+ 0,7m)

- **Risque feux de forêt**

Un Plan Départemental de Prévention des Forêts contre l'incendie a été approuvé pour le Vaucluse le 31 décembre 2008. La Commune du Thor en fait partie.

La zone de projet n'est pas concernée par cet aléa.

Le projet respectera les préconisations émises par le SDIS lors de l'instruction du permis de construire.

4.7 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.

Date	Rencontre
Tout au long du développement du projet	Co-construction du projet avec Michel André et la SARL Saint-Félix
19/10/2021	Signature de la convention de suivi agronomique avec la Chambre d'Agriculture du Vaucluse
11/02/2022 (puis tout au long du développement)	Présentation du projet en mairie du Thor en présence de Monsieur le Maire, de deux adjoints et de Michel André + mise au courant par mails de l'avancée du projet
Août 2022	Transmission des informations finalisées sur le projet à la DDT84

SYNTHESE PARTIE TECHNIQUE DU PROJET

- Une structure agrivoltaïque sur **3,9ha** assortie d'une zone témoin sans panneaux de **0,6ha pour une puissance installée de 3,3MWc** ;
- Une construction du projet s'insérant dans les **temporalités du travail agricole** (renouvellement d'un verger arrivé en fin de vie) de la SARL Saint-Félix ;
- Un **projet innovant d'adaptation au changement climatique** ;
- Une **véritable réflexion sur l'insertion paysagère** prenant en compte la proximité avec les habitations et les axes routiers ;
- Des **mesures écologiques** à chacun des stades de la vie du projet visant à réduire l'impact du projet sur le milieu naturel et favoriser la biodiversité en milieu agricole ;
- Une **occupation du sol très faible** et une structure entièrement démontable et recyclable ;
- Une **économie de la consommation de la ressource en eau** attendue ;
- Une durée d'exploitation de **30 ans** et un démantèlement encadré via le cadre contractuel.

5 Programme de recherche et résultats expérimentaux

5.1 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, rejoins au cours du temps par iTK et Photowatt**. Initialement axés sur la recherche fondamentale, les **programmes ont validé l'intérêt de l'agrivoltaïsme dynamique étape par étape et se concentrent désormais, pour le programme en cours, vers l'élaboration des modèles et algorithmes opérationnels de pilotage optimal des panneaux, ainsi que la démonstration grandeur nature des solutions**.

Sun'Agri 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.

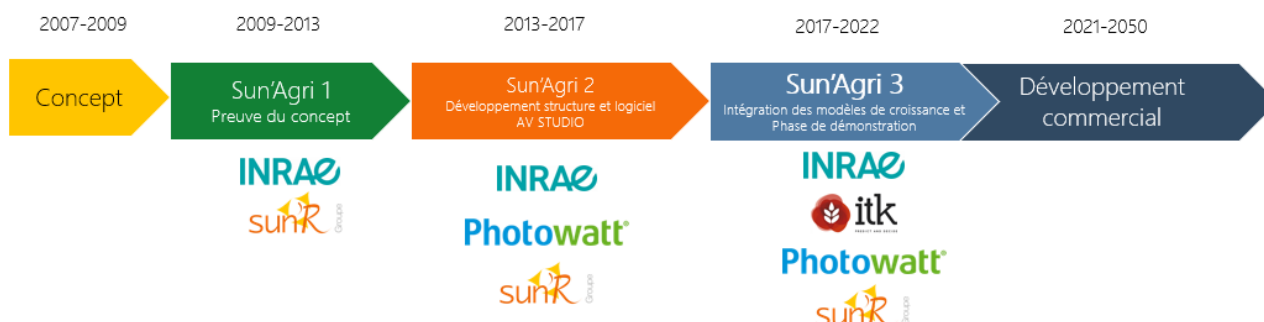
Sun'Agri 3 : Industrialiser en tenant compte de la spécificité de chaque culture ciblée en France

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.

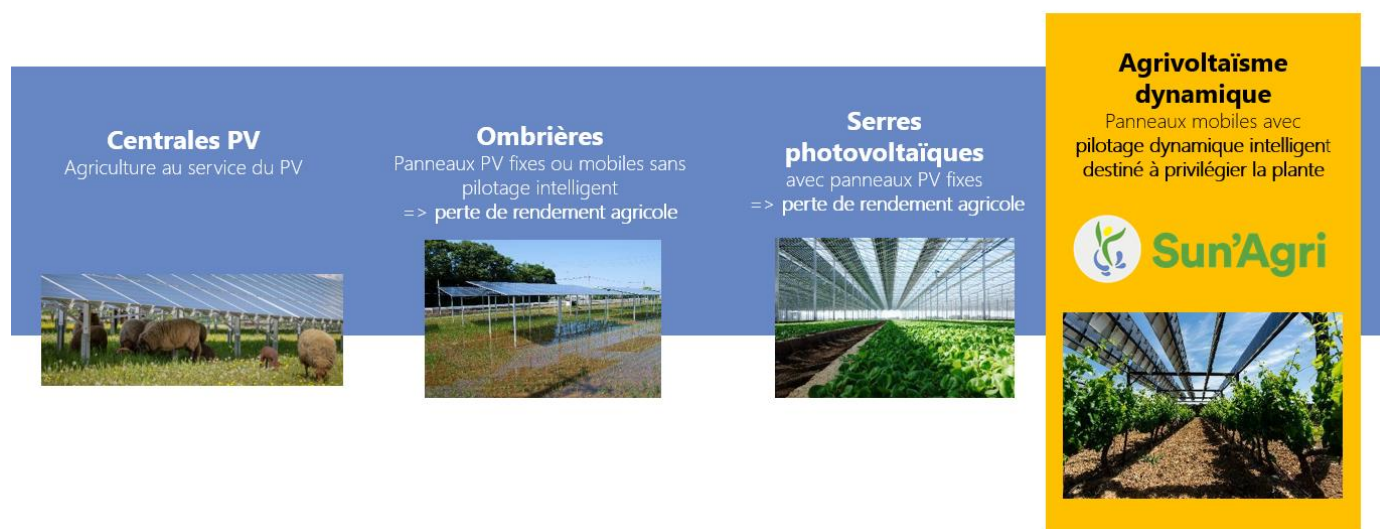
Sun'Agri est devenue en 2019 une filiale dédiée au développement de projets agrivoltaïques dynamiques, et surtout à l'élaboration des outils et modèles de pilotage optimal (pour les plantes) des panneaux. Sun'Agri est le pionnier et le leader mondial de la technologie agrivoltaïque dynamique.



Chronologie du programme de recherche Sun'Agri

5.1.1 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.



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.**

5.1.2 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.

5.2 Des résultats ayant prouvé l'efficacité du système

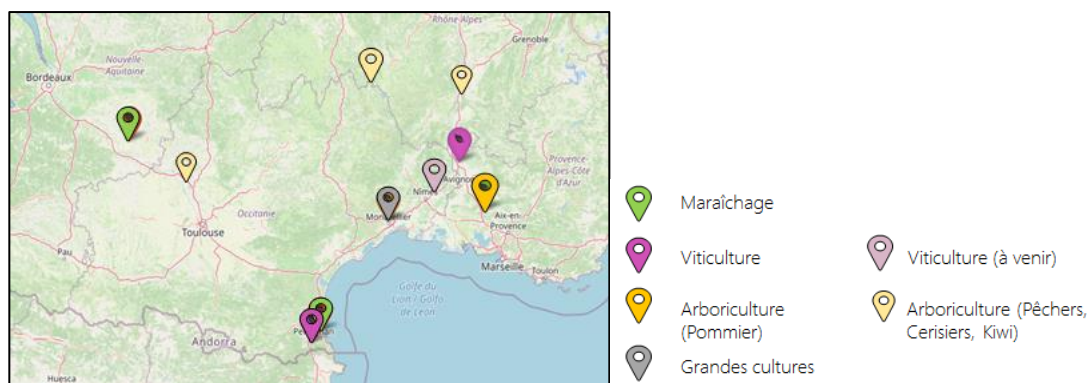
Les expérimentations sont menées sur :

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

5.2.1 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 (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



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.**

5.2.2 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 (Poirées – 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.

5.2.3 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 1er 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**

5.2.4 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

5.3 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, 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.

