

MOUSSAN – PROJET AGRIVOLTAÏQUE SUR VIGNES

NOTICE DESCRIPTIVE DU PROJET

juin 26





Table des matières

1.	L'agrivoltaïsme : outil agricole d'adaptation au changement climatique	3
1.1.	Sun'Agri, pionnier de l'agrivoltaïsme dynamique	3
1.2.	L'agrivoltaïsme dynamique par Sun'Agri	3
1.2.1.	Le principe de l'agrivoltaïsme dynamique.....	3
1.2.2.	Un pilotage agronomique intelligent.....	4
1.2.3.	Une innovation issue d'un programme de recherche aux résultats agronomiques démontrés.....	4
1.2.4.	Surfaces éligibles aux projets Sun'Agri.....	6
1.2.5.	Une structure adaptée aux exploitations viticoles et arboricoles	7
2.	Le projet agricole de la famille MONIE	9
2.1.	Présentation du porteur de projet	9
2.2.	Intérêt agronomique et objectifs du projet.....	9
2.2.1.	Un projet répondant à des problématiques agro-climatiques de la filière viticole en Occitanie	9
2.2.2.	Objectifs du projet pour l'exploitation.....	12
2.3.	Choix de la parcelle de projet	15
2.4.	Description du projet agricole	17
2.4.1.	Surface agrivoltaïque et zone témoin	17
2.4.2.	Cultures	17
2.4.3.	Mode de culture	18
2.4.4.	Géométrie de culture	18
2.5.	Intérêt économique du projet pour l'exploitation	19
2.6.	Une gouvernance mettant l'agriculteur au cœur du processus.....	21
3.	Programme de recherche et résultats expérimentaux	24
3.1.	L'aboutissement de 15 ans de R&D et de trois programmes de recherche.....	24
3.1.1.	Positionnement par rapport aux autres technologies d'agrivoltaïsme	25
3.1.2.	Les cultures et régions cibles.....	26
3.2.	Des résultats ayant prouvé l'efficacité du système	27
3.2.1.	Synthèse des résultats en viticulture	28
3.2.2.	Synthèse des résultats en arboriculture	Erreur ! Signet non défini.
3.3.	Enjeux du déploiement à plus grande échelle.....	29

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

1.1. Sun'Agri, pionnier de l'agrivoltaïsme dynamique



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

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

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

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

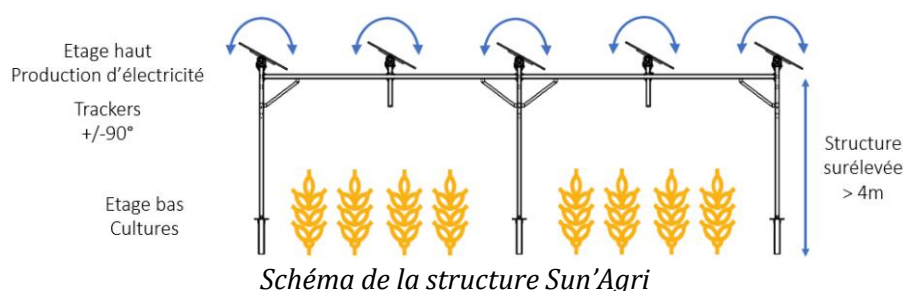
1.2. L'agrivoltaïsme dynamique par Sun'Agri

1.2.1. 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 du positionnement des panneaux en temps réel** grâce au logiciel AV STUDIO © ;
- Un **suivi agronomique** sur le long terme : tous les projets possèdent une **zone témoin**, sans panneaux, pour comparaison scientifique opérée par des organismes indépendants ;
- Des projets calquées sur une plantation ou une replantation de parcelles agricoles, à densité similaire ;
- Une application mis à disposition des agriculteurs pour le suivi : **MySunAgri**.



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

- 1) **Préservée** par un ombrage maximal,
- 2) **Favorisée** par un ombrage minimal,
- 3) **Protégée** face à des aléas climatiques de type gelée printanière.



Ombrage maximal

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



Ombrage minimal

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



Préservation de la température

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

. Trois exemples d'orientation des panneaux

1.2.2. 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 :

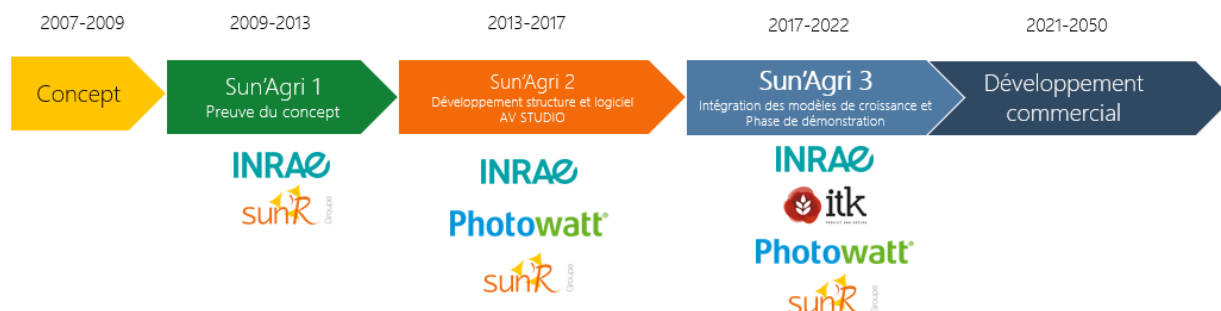
- En temps réel en fonction des données des capteurs installés *in situ* ;
- En tenant compte des conditions climatiques ambiantes ;
- En faisant appel à des modèles agronomiques numériques de croissance des plantes décrivant les comportements de l'espèce (et de la variété) ;
- Et en faisant appel à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

1.2.3. 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 3 de ce document présente plus en détails :

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



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



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

1.2.4. Surfaces éligibles aux projets Sun'Agri

a. 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.

b. 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.

c. 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 40 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.

1.2.5. Une structure adaptée aux exploitations viticoles et arboricoles

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

La durée de vie prévisionnelle de la vigne est d'environ 30 à 40 ans, celle d'un verger de 15 ans.

La **durée contractuelle de l'implantation de la structure agrivoltaïque étant de 40 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).

b. 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 6 mètres pour permettre le **passage d'engins agricoles et éviter le confinement des masses d'air** ;
- En largeur (orientation est-ouest) : 4 à 12m, 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.

2. Le projet agricole de la famille MONIE

2.1. Présentation du porteur de projet

Le projet MOUSSAN concerne le vignoble de la famille Monié, situé à Moussan et ses environs, dans le département de l'Aude (11).

Issu d'une famille de vignerons depuis plusieurs générations, Jean-Marie Monié, et son fils Jean-Robert possèdent 45 hectares de vignes à eux deux. Le parcellaire est aujourd'hui non irrigué, et classé en IGP pays d'Oc – Aucune parcelle se trouve en zone AOC. La production viticole est valorisée en vendange fraîche auprès de la cave coopérative de Cussac. Ils cultivent également quelques oliviers, qui rencontrent aujourd'hui plusieurs difficultés en raison des fortes contraintes climatiques observées ces trois dernières années dans la région.

Par ailleurs, Jean-Robert mène des projets de diversification pour compléter ses revenus agricoles : notamment le développement d'une activité de poules pondeuses. En dehors de leur activité agricole, ils gèrent également plusieurs entreprises spécialisées dans le traitement des déchets inertes, les travaux publics, ainsi que la réalisation de clôtures.

Aujourd'hui, souhaitant trouver des solutions pour pallier les effets du changement climatique sur leur production viticole, ils souhaitent expérimenter l'agrivoltaïsme dynamique afin de faire face au changement climatique, et plus particulièrement aux fortes contraintes hydriques qui menacent leurs vignes.

2.2. Intérêt agronomique et objectifs du projet

2.2.1. Un projet répondant à des problématiques agro-climatiques de la **filière viticole en Occitanie**

L'Occitanie est la **première région viticole** de France. Avec ses **253 000 hectares** de vignes, elle représente 34% de la surface viticole française : par département, 32% se trouvent dans l'Hérault, 25% dans l'Aude, et 21% dans le Gard (Agreste, 2020)¹. Reconnue pour sa grande diversité de terroir, la région regroupe près de 93 appellations : 59 en AOP représentant 30% des surfaces et 34 en IGP pour 60% des surfaces. Au total, la filière génère un **chiffre d'affaires de 1,7 milliard d'euros pour 14,6 millions d'hectolitres** de vins produits en 2019, soit 24% du produit agricole d'Occitanie (Chambre d'agriculture d'Occitanie, 2021)².

Or aujourd'hui, la filière est fortement menacée par les effets du changement climatique. En 60 ans, il a été observé **une augmentation de la température de +1,92°C** pour la région Occitanie : un accroissement plus marqué que la moyenne nationale. Il a aussi été remarqué une évolution du nombre de jours estivaux (+30 jours en 60 ans), une diminution de la fraîcheur des nuits et un stress hydrique estival plus fort. De plus, les viticulteurs doivent également faire face à divers aléas climatiques, de plus en plus fréquents et intenses, tels que des **gels** printaniers, de violents épisodes de **grêle**, une **pluviométrie** élevée favorisant les maladies, des **canicules** ainsi que des **sécheresses**. Ces changements de climat modifient les pratiques

¹ [DRAAF Occitanie, 2020](#)

² [Chambre d'agriculture d'Occitanie, 2021](#)

culturelles, pénalisent fortement les productions, en rendement et qualité, et à terme pourraient impacter durablement les terroirs (ORACLE Occitanie, 2021)³.

Pour exemple, ces dernières années, l'Occitanie a été sévèrement touchée par divers aléas climatiques de forte ampleur :

○ **Gelées printanières :**

Au printemps, les gels peuvent provoquer de nombreux dégâts. Leur impact est particulièrement marqué quand ils succèdent le débourrement puisque la vigne est plus sensible au froid dès l'apparition des bourgeons et des premières feuilles. Les épisodes de gel sont observés chaque année, néanmoins, les années 2017 et 2021 ont été les plus marquantes :

- **Avril 2017** : Les températures sont descendues jusqu'à -5°C, résultant de nombreux dégâts : 20 000 ha détruits dans l'Hérault, autant dans l'Aude. Le rendement du vignoble de l'Hérault a chuté à 4 millions hl, 800 000 hl en moins comparé aux années précédentes.⁴
- **Avril 2021** : Phénomène national inédit, les températures ont chuté jusqu'à -3°C et -7°C. En Occitanie, les dégâts concernent 140 000 ha (soit 55% du vignoble) dont 117 000 ha dans le Languedoc-Roussillon. Les pertes de récolte ont été évaluées à 46% pour toute la région. Certains viticulteurs ont perdu près de 100% de leur production.⁵
- **Avril 2022** : des gels nocturnes touchent l'Hérault, l'Aveyron, le Tarn et en particulier le Gers⁶.



*Des vignes endommagées par le gel dans le Minervois (2021)
(Source : France3)*

○ **Canicule et sécheresse :**

Depuis ces dernières années, les vignobles d'Occitanie connaissent des épisodes de fortes chaleurs et des sécheresses de plus en plus précoces :

- En **2016**, un épisode de sécheresse d'août à septembre réduit la récolte des Pyrénées orientales.
- En **2017**, les fortes chaleurs et un vent très séchant entraînent du stress hydrique chez des vignes et impactent le grossissement des baies et le volume final des vendanges
- En **juillet 2019**, les vignobles du Languedoc (Gard/ Hérault/ Aude) ont subi une canicule inédite : cet évènement a fait suite à un mois de juin relativement frais, et la différence de température (la température à l'ombre a atteint à certains endroits 45°, et la température foliaire a dépassé 55° localement) a été fatale pour les vignobles. Des vignes ont littéralement grillé, « comme brûlées au chalumeau », en seulement une après-midi. Dans l'Hérault, près de 10 000 ha ont été impactés, avec des pertes de 20 à 100%, et pour le Gard, près de 2500 ha impactés avec 20 à 80 % de pertes⁷.

³ [ORACLE Occitanie, 2021](#)

⁴ [France3, avril 2021](#)

⁵ [DRAAF Occitanie, 2021](#)

⁶ [DRAAF Occitanie, 2022](#)

⁷ [La tribune, juillet 2019](#)

- En **2022** : une sécheresse très précoce touche la région dès le mois d'avril jusqu'août. Puis des fortes chaleurs ont lieu dès le mois de juin, avec +3°C au-dessous des normales de saison. Bien que les vignobles du Languedoc aient réussi à se maintenir, la récolte des Pyrénées-Orientales a été de 10% en-dessous de la moyenne quinquennale, dû à la sécheresse particulièrement marquée.

Outre les pertes engendrées par la canicule, les agriculteurs évoquent la difficulté du vignoble à se remettre de cet épisode : si la durée de vie du vignoble diminue, c'est immédiatement la survie de l'exploitation qui est en jeu. Or les épisodes de canicule 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). Celle de 2019 est d'ailleurs la résultante de trois années de sécheresse et de stress hydrique.

Par ailleurs, les fortes chaleurs ont également un impact sur la date des vendanges, qui sont de plus en plus précoces, ainsi que sur la qualité du vin. À la suite de la canicule, les vendanges 2019 ont eu lieu à partir du 15 août. En 2022, les cépages précoces sont arrivés à maturité plus tôt, et plus tard qu'habituellement pour les cépages tardifs : l'IGP Pays d'Oc a connu la fenêtre de vendange la plus vaste jamais enregistrée depuis sa création en 1987. Or, la composition des baies n'est parfois pas suffisamment complexe pour garantir des vins équilibrés et une palette aromatique répondant aux attentes du marché vinicole. De plus, à la chaleur, les baies produisent plus de sucre ce qui engendre une hausse du taux d'alcool et une baisse de l'acidité.⁸ En effet, alors que dans les années 1980, les vins atteignaient 11% vol. d'alcool et les rendements étaient de l'ordre de 75 hl/ha, aujourd'hui le taux d'alcool se trouve plutôt à 14% vol. et les rendements à 56 hl/ha sur la période de 2000 à 2019⁹.



*Des Vignes brûlées par le soleil (canicule de juillet 2019)
(Source : France TV & France bleu)*

○ Grêle :

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

- En **août 2016** dans l'Hérault, trois semaines avant les vendanges, les grêlons ont détruit les grappes et les feuilles. Certains viticulteurs ont perdu 100% de leur production et près de 50% du vignoble de l'appellation Pic Saint-Loup a été détruit.¹⁰
- En **juillet 2017**, dans les Pyrénées-Orientales ont touché les cultures vignes et de fruits¹¹.

⁸ [Terre de vins, septembre 2019](#)

⁹ [La tribune, novembre 2019](#)

¹⁰ [France Bleu, août 2016](#)

¹¹ [Chambre d'agriculture Pyrénées-Orientales, 2021](#)

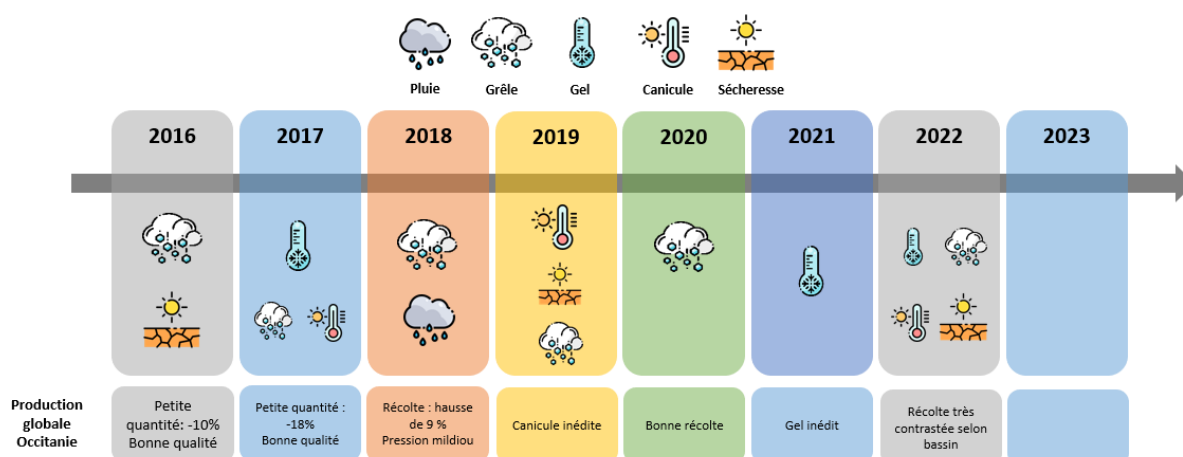
- En **juillet 2018** dans l'Aude, un rayon de 500-600 ha a été impacté entre 10 à 100%.¹² De plus, de fortes pluies printanières ont engendré un développement inédit du mildiou qui a entraîné des dégâts irrémédiables.¹³
- En **avril 2019**, des grêles ont de nouveau touché l'Hérault et en particulier la région du Pic Saint-Loup.¹⁴
- En **juin 2020**, le Gard a été touché par un épisode de grêle court mais intense : 400 ha sur les 800 ha de l'appellation du Lirac ont été endommagés, avec pour estimation 30% de pertes.¹⁵
- **Juin et août 2022** : des orages de grêle touchent durement près de 3000 ha dans le Gers¹⁶.



Des vignes endommagées par la grêle

(Photo 1&2 : 2016, Hérault ; Photo : 2018, vignes du minervois ; Source : France3 & France Bleu Hérault)

Ainsi, au total sur les dix dernières années, plusieurs années ont connu des événements climatiques majeurs :



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

2.2.2. Objectifs du projet pour l'exploitation

Dans un contexte socio-économique préoccupant, exacerbé par un changement du climat très défavorable à l'agriculture et particulièrement à la viticulture, Jean Robert MONIE est contraint de trouver des solutions alternatives pour protéger ses vignes de l'impact du changement climatique. Le projet agrivoltaïque aura donc plusieurs objectifs :

¹² [Terre de vins, juillet 2018](#)

¹³ [France3, Septembre 2018](#)

¹⁴ [Terre de vins, avril 2019](#)

¹⁵ [Terre de vins, juin 2020](#)

¹⁶ [DRAAF Occitanie, 2022](#)

a. Protection climatique de la production viticole

Au cours des **trois dernières années (2023, 2024, 2025)**, le département de l'Aude a été le théâtre d'une série d'événements climatiques extrêmes qui ont fortement érodé les rendements viticoles. En **2023**, l'Occitanie, dont fait partie l'Aude, a enregistré une anomalie de température moyenne d'environ **+2 °C**, couplée à une sécheresse persistante en fin d'hiver et au printemps, notamment dans plusieurs secteurs de l'Aude ; ces conditions ont fragilisé les systèmes racinaires et physiologiques des ceps, compromettant le "démarrage de la productivité", bien qu'un épisode pluvieux fin avril ait temporairement ravivé l'espoir d'une récolte normale ([Réussir](#)).

L'année **2024** a confirmé cette tendance alarmante. Selon le bilan de conjoncture DRAAF Occitanie, la production viticole dans le bassin Languedoc-Roussillon a chuté de **-9 %** par rapport à 2023, et de **-15 %** par rapport à la moyenne quinquennale ([DRAAF Occitanie](#)). Plus spécifiquement, l'Aude fait partie des deux départements enregistrant les baisses les plus dramatiques, avec un volume inférieur de **-32 %** par rapport à 2019 ([DRAAF Occitanie](#)). Dans le sud de l'Aude, une sécheresse sévère a duré près de trois ans, avec des précipitations autour de **250 mm par an**, soit moins de la moitié de la normale (~600 mm). Les rendements de vendanges ont chuté de plus de 50 % par rapport à la moyenne, certains secteurs considérant même que la récolte 2024 pourrait représenter une perte — « la perte du siècle » — avec des rendements plongeant jusqu'à **70 % de moins** que les années antérieures ([Réussir](#)). Un témoignage frappant illustre cette situation : un viticulteur de Saint-Pierre-des-Champs rapporte être passé de **7 tonnes par hectare en 2022, à 3 tonnes en 2023, jusqu'à environ 200-300 kg en 2024**, voire rien du tout sur certaines parcelles non irriguées ([TF1 INFO](#)).

L'année **2025**, bien que médiatiquement évoquée comme un millésime précoce voire « prometteur » à l'échelle nationale, reste une année de crise pour l'Aude. Les vendanges ont débuté **en avance d'environ six jours** dans la région, en raison de la canicule persistante qui a accéléré la maturation végétale ([La Revue du vin de France](#)). Surtout, un **feu de forêt d'ampleur exceptionnelle** a ravagé début août le massif des Corbières, brûlant quelque **1 000 à 1 500 hectares de vignes**, et laissant sur certains secteurs un résidu de **goût de fumée** susceptible de dénaturer le vin ([lecourrier.vn](#)). Bien que des techniques œnologiques modernes permettent d'atténuer ces composants volatils fumées (autorisées depuis 2023 par l'OIV), certains ceps sont irrémédiablement détruits, et dans d'autres cas, une attention technique post-récolte est indispensable pour préserver la qualité ([Terre de Vins](#)).

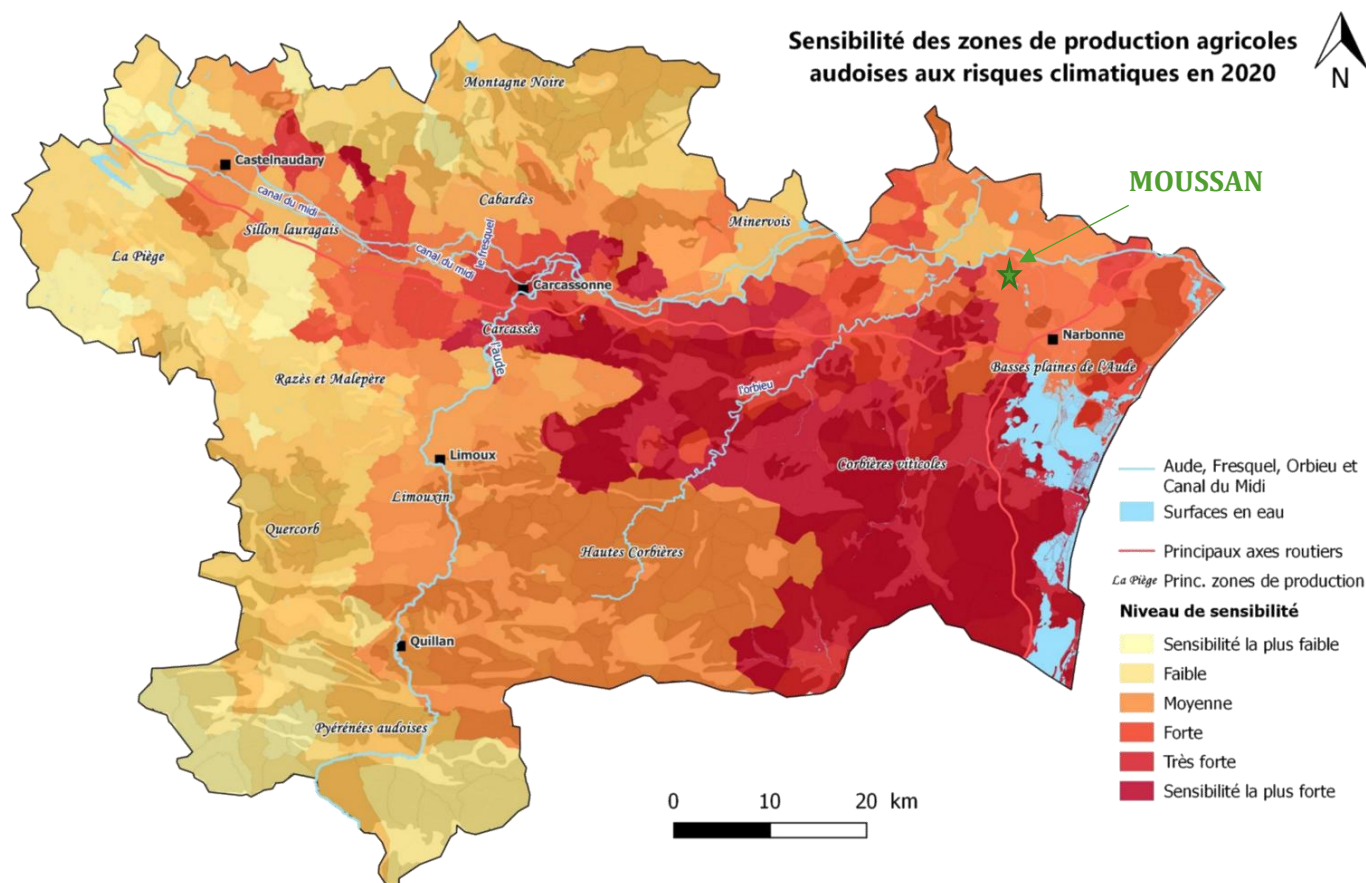
Ces dernières années témoignent des épisodes climatiques défavorables à la viticulture audoise, mêlant stress hydrique prolongé, canicules successives, et calamités soudaines comme les incendies. Les pertes de rendement observées sont historiques, avec des conséquences structurelles pour les exploitations, les coopératives et l'ensemble de la filière viticole du département.

Le vignoble de Jean Robert MONIE fait face à ces mêmes enjeux :

- **Gel** : L'exploitation a subi un phénomène de gel en 2021 qui a engendré une perte de 100% sur le rendement.
- **Sécheresse** : Les vignes, qui ne sont pas irriguées, souffrent également de stress hydrique depuis plus de 4 années consécutives : en moyenne, les agriculteurs décomptent une perte de 30% sur sa production ces derniers années, avec une baisse notable du rendement en jus. Cela engendre des difficultés à la vente, notamment auprès de la cave coopérative, où le paiement s'effectue au kilo.
- **Canicule** : Des épisodes de fortes chaleurs ont lieu tous les ans ces dernières années : les canicules engendrent notamment des brûlures sur les fruits et les feuilles, des blocages de maturité ainsi que l'augmentation du taux d'alcool dans les vins.
- **Contraintes logistiques** : Avec les fortes chaleurs, la précocité de maturité de la production, l'organisation avec la cave devient délicate. La date de vendange dépend de la capacité d'accueil de la cave, ce qui oblige parfois à retarder la récolte. Or, attendre trop longtemps augmente fortement le risque de pertes dues à la chaleur.

La Chambre d'agriculture a cartographié les zones de sensibilité aux risques climatiques sur le département de l'Aude. Selon cette cartographie, la commune de Moussan se trouve en zone de sensibilité de moyenne à forte :

Carte 1 : Sensibilités des zones de productions agricoles audoises au climat



(source : Chambre d'agriculture de l'Aude, 2025¹⁷)

Ainsi, Jean Robert MONIE souhaite installer un système agrivoltaïque dynamique dans le but :

1. D'adapter son mode de culture dans un contexte de changement climatique en maîtrisant le microclimat de la vigne ;
2. D'éviter l'impact délétère des aléas climatiques, notamment des canicules, des sécheresses, et des risques de gels, sur la production viticole ;
3. D'assurer les rendements et de les lisser au fil des années ;
4. De mieux maîtriser la qualité de ses vins, en réduisant le taux d'alcool ;
5. Retarder la maturité des raisins afin de disposer de plus de flexibilité dans la planification des vendanges.

b. Pérennité de l'exploitation

L'exploitation évolue dans un contexte économique tendu, marqué par la crise viticole et des aléas climatiques de plus en plus fréquents, mettant en difficulté les exploitations viticoles. Face à ces défis, Jean Robert MONIE met en place une **stratégie** pour assurer la **pérennité de son domaine viticole**. L'agrivoltaïsme, qui couvrira près de **10 % de sa SAU**, s'inscrit pleinement dans cette démarche en contribuant à sécuriser une partie de la production et du chiffre d'affaires du domaine.

¹⁷ [Chambre d'agriculture de l'Aude, 2025](#)

Dans cette même logique de pérennisation, Jean Robert MONIE envisage par ailleurs des projets de diversification sur de nouveaux ateliers à haute valeur ajoutée (en dehors du projet agrivoltaïque), tels que l'atelier de poules pondeuses.

c. Innovation et démarche RSE

Par ailleurs, Jean Marie et Jean Robert MONIE manifestent un vif intérêt pour l'innovation et, conscients des enjeux climatiques, aspirent à adopter une approche neutre tout en s'inscrivant dans une dynamique moderne et durable. Cette solution innovante pour répondre aux problématiques rencontrées sur leur production viticole leur parle donc tout particulièrement.

d. Pour le territoire

Les parcelles concernées sont actuellement en vigne (partie est) ou ont été historiquement cultivées en vigne (partie ouest et une partie de l'est), mais n'ont, depuis, été exploitées que ponctuellement en cultures de plein champ ou laissées en jachère, du fait du faible potentiel productif à cause des conditions climatiques. Le projet agrivoltaïque offrira ainsi l'opportunité de replanter ces anciennes parcelles viticoles. Cette démarche présente plusieurs intérêts pour le territoire :

- Elle permet notamment de revaloriser une parcelle aujourd'hui non irrigable, alors qu'il devient de plus en plus difficile d'exploiter certaines terres en raison du manque d'eau et des contraintes économiques croissantes sur le territoire. Ce projet contribue ainsi à maintenir, voire à augmenter, la surface agricole utile viticole du secteur, qui tend à diminuer chaque année.
- Par ailleurs, dans un contexte de récurrence accrue des incendies estivaux liés aux fortes chaleurs, la vigne joue un rôle reconnu de coupe-feu. Remettre ces parcelles en exploitation viticole constitue donc un atout supplémentaire pour limiter la propagation des feux dans ce secteur particulièrement exposé.

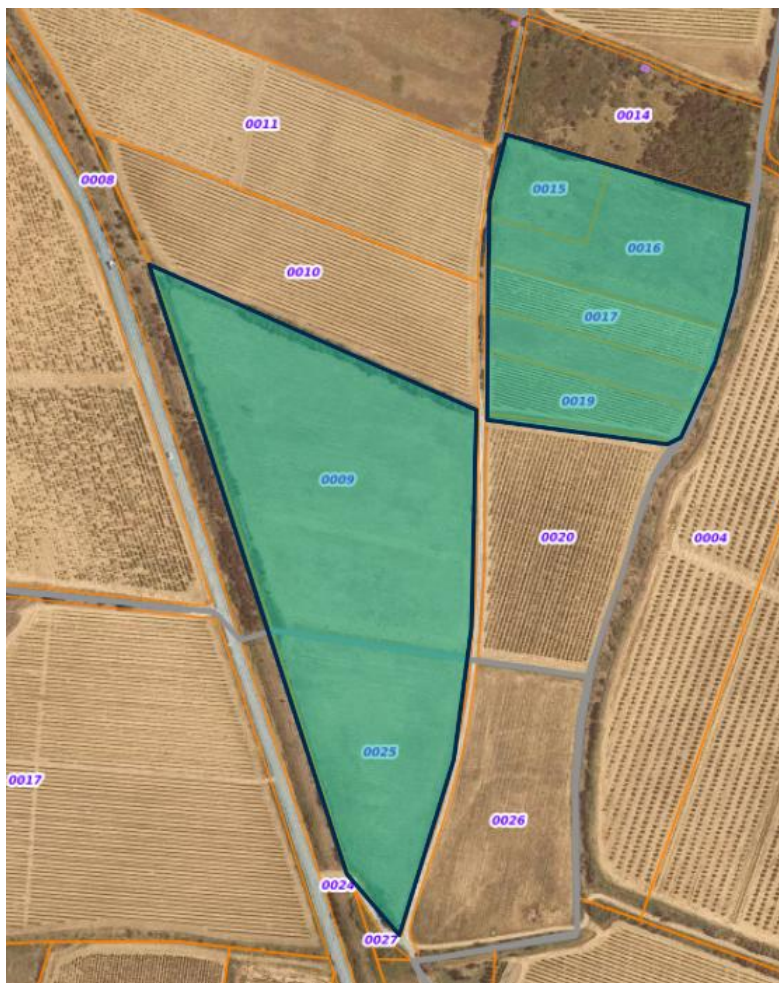
2.3. Choix de la parcelle de projet

La zone de projet représente une surface de 5,8 ha environ. Les parcelles sont actuellement en partie toujours en vigne et en partie en jachère en champs. Les références cadastrales sont listées ci-dessous :

Tableau 1 : Parcelles du projet MOUSSAN

Commune	Parcelle	Surface cadastrale (m²)	Antécédant cultural
Moussan	000 / BW / 0009	25 519	Jachère
	000 / CK / 0025	11 329	Jachère
	000 / BW / 0015	2976	Prairie permanente
	000 / BW / 0016	8087	Prairie permanente
	000 / BW / 0017	3668	Vigne
	000 / BW / 0018	3092	Prairie permanente
	000 / BW / 0019	3394	Vigne
TOTAL :		58 065	

Carte 2: Délimitation du projet



Ces parcelles ont été retenues en raison de :

- La présence d'une culture pérenne prévue d'être plantée ou renouvelée (sur les vignes plantées en partie Est), ce qui permettra l'accès au terrain en phase chantier sans dégrader la production agricole ;
 - o Les parcelles CK25 et BW0009 sont en jachère – les parcelles étaient en vignes il y a 10 ans ;
 - o Les parcelles BW0015-0016-0018 sont aujourd'hui conduites en prairie permanente ;
 - o Les parcelles BW0017-0019 sont aujourd'hui de vignes qui doivent être renouvelées dans les prochaines années.
- Projet de culture ayant un besoin de protection suffisamment élevée pour justifier d'un réel intérêt économique au vu du retour d'expérience de l'exploitation sur les dernières années ;
- De la sensibilité du secteur aux aléas climatiques, en particulier les fortes chaleurs, le stress hydrique, et plus périodiquement les gels printaniers du fait du changement climatique ;
- Espace disponible pour la mise en place d'une zone témoin permettant le suivi agricole de la centrale ;
- La compatibilité du projet avec le document d'urbanisme en vigueur : la commune est régie par le Règlement National d'Urbanisme (RNU), où les équipements d'intérêt collectif sont autorisés. Les parcelles sont classées en ZAER. Par ailleurs, une partie du terrain se situe dans la zone d'interdiction du PPRT Comurhex où sont autorisés les projets destinés à la production d'énergie renouvelable.
- Le dynamisme du paysage environnant : activités industrielles, habitations et de nombreux projets photovoltaïques ;
- Le faible impact paysager ;
- Les enjeux écologiques principalement modérés à faibles : les enjeux forts sont totalement évités par l'implantation de la centrale.
- De plus, les caractéristiques techniques (azimut, orientation, topographie) sont compatibles avec un projet agrivoltaïque.

2.4. Description du projet agricole

2.4.1. Surface agrivoltaïque et zone témoin

Le projet consiste en une structure agrivoltaïque d'environ 5,3 ha ouverte et positionnée sur une parcelle actuellement en jachère et une parcelle présentant des pieds de vignes âgés et de fait moins productifs. Les quelques vignes actuellement en place sont encore exploitées à ce jour mais seront arrachées et nouvellement plantées une fois le projet agrivoltaïque construit.

Une zone témoin, libre de panneaux photovoltaïques mais plantée en vignes et exploitée dans les mêmes conditions que les vignes sous les panneaux, fait également partie intégrante du projet et représente environ 0,2 ha qui servira pour la comparaison du suivi agronomique. La zone témoin sera conduite dans des conditions similaires à la parcelle agrivoltaïque et possède une surface représentative (0,1ha par cépage) non influencée par la structure (éviter des effets de bord et de l'ombrage). Elle sera plantée en même temps que la surface agrivoltaïque.

2.4.2. Cultures

- **Espèces et variétés agricoles :**

Un seul cépage blanc sera implanté sur la parcelle agrivoltaïque. A ce jour, l'exploitant envisage du **Sauvignon blanc ou du Colombard**.

Dans le contexte actuel de crise viticole, et plus particulièrement de la baisse de la demande en vin rouge, Jean Robert MONIE envisage de diversifier son vignoble en développant les cépages blancs. Cette orientation répond à une évolution du marché qui privilégie davantage la consommation de vin blanc. Le Sauvignon blanc et le Colombard apparaît comme le choix idéal en raison de leur vigueur, leur bonne capacité de production et de son fort potentiel de valorisation.

Cependant, ce sont également deux cépages qui peuvent craindre la sécheresse et le stress hydrique. La technologie agrivoltaïque apportera un gain non négligeable sur la limitation du stress hydrique, de l'impact des fortes chaleurs, ainsi que des gels printaniers. Des résultats positifs ont été obtenus sur des cépages blancs :

- Pour le chardonnay et grenache blanc sur le site de Tresserre dans le Pyrénées-Orientales, avec 11 à 60% de rendement par rapport au témoin (en 2022 & 2023). L'ombrage a également permis de limiter l'accumulation des sucres dans le fruit et donc de réduire le degré d'alcool (-0.5 à -1.5%vol d'alcool), tout en préservant une acidité supérieure (+0.3 à 1 g/l H2so4 d'acidité totales). De plus, le décalage de maturité des baies offre au viticulteur une plus grande souplesse face aux contraintes logistiques de la cave coopérative, sans avoir à subir le climat et des vendanges de plus en plus précoces.

- **Production annuelle estimée :**

En installant un système agrivoltaïque dynamique, l'exploitation espère obtenir un rendement sous panneaux photovoltaïques de **30 à 40 hL/ha**, en non irrigué. Dans le cas du projet agrivoltaïque, l'objectif est également d'homogénéiser les rendements d'une année sur l'autre, en évitant les pertes en volume et en quantité, provoquées par les épisodes climatiques.

- **Valorisation de la production :**

Les vignes de cette parcelle agrivoltaïque produiront des **raisins de cuve**, destinés à la vinification. L'exploitation valorise la production en vendange fraîche en cave coopérative de Cussac. La production sera valorisée en **IGP (Indication Géographique Protégée) « Pays d'Oc »**, comme à ce jour. Aucun changement n'est à prévoir pour la valorisation de la production.

2.4.3. Mode de culture

- **Irrigation**

Les terres ne sont pas irriguées et aucune irrigation n'est envisagée pour le projet. La structure agrivoltaïque permettra de préserver la ressource en eau en limitant l'évapotranspiration des vignes et donc le stress hydrique, comme observé sur les sites expérimentaux de Sun'Agri :

- Sur le site de Piolenc, exploité depuis 2019, selon les années et les modalités, il y a eu une diminution des apports en eau de -10 à -60 % sous agrivoltaïque en comparaison de la zone témoin.
- Sur le site de Tresserre, un seul point de mesure de potentiel hydrique (le 15/07/2021) a montré que les vignes sous agrivoltaïque étaient moins stressées que les témoins.
- Enfin, en 2023, le site de Clairac présentait une économie d'eau de 13% à 40%.

- **Mécanisation**

Le dimensionnement de la centrale agrivoltaïque et la hauteur de la structure ont été pensés de manière à conserver des distances de plantation similaires à celles du vignoble actuel classique. Ainsi, l'ensemble des travaux sera mécanisé sur la parcelle, comme ce qui est actuellement fait au sein de l'exploitation :

- Les vendanges mécanisées,
- Les traitements phytosanitaires via un pulvérisateur,
- Les labours.

Le dimensionnement de la centrale a été réfléchi en collaboration avec l'exploitant de façon à ce qu'il puisse exploiter les terres comme ce qu'il a l'habitude de faire.

2.4.4. Géométrie de culture

L'entraxe (espace entre deux poteaux) de 12 m a été défini en fonction de l'inter-rang actuellement pratiqué par l'agriculteur, afin de permettre l'implantation des rangs de vignes tout en garantissant la continuité de la mécanisation. Les rangées de vignes seront plantées selon un axe nord-sud avec pour distance de plantation 2.4m d'inter-rang pour 0.9 m d'inter-pied.

- ***En raison de la présence des poteaux et de l'incompatibilité avec les machines de type enjambeuses (vendangeuse, pulvérisateur), les rangs situés sur les rangées de poteaux ne seront pas plantés en vigne de cuve. L'agriculteur prévoit plutôt d'y implanter du raisin de table (muscat blanc ou noir), dont la conduite et la récolte s'effectuent principalement de manière manuelle.***

La centrale agrivoltaïque aura une densité de plantation de 3 704 pieds/ha. Cette densité de plantation est environ de -7% à la densité de plantation de référence (4000 pieds/ha) sur le domaine.

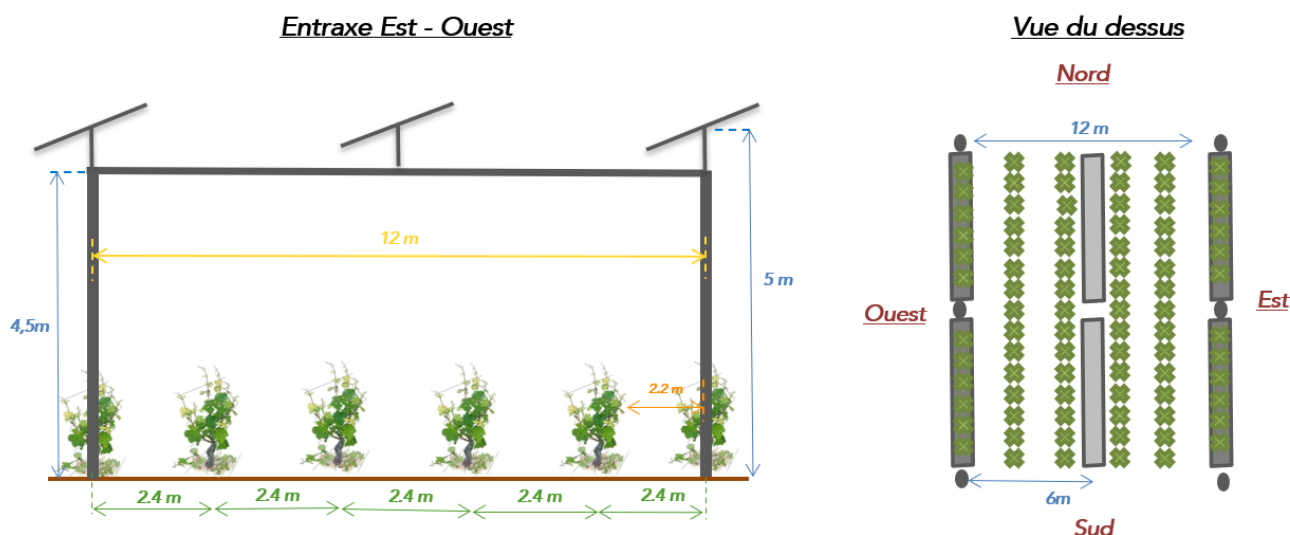


Schéma coupe et vue du ciel de la structure AVD du projet MOUSSAN

2.5. Intérêt économique du projet pour l'exploitation

Nous réalisons ici un bilan économique partiel d'une parcelle agrivoltaïque en comparaison d'une parcelle non-protégée (équivalent à la zone témoin). Cette évaluation implique une étude des charges de conduite de culture ainsi qu'une simulation des aléas climatiques afin de déterminer la part du rendement protégée par les ombrières agrivoltaïques. Dans le cas du projet de MOUSSAN, on comparera donc la différence de charges et de produits entre un système non protégé en vigne (zone témoin) et un système avec vignes sous dispositif agrivoltaïque. La modélisation se fera sur 40 ans.

Hypothèses de travail pour la construction du modèle d'affaire

Les hypothèses formulées pour ce modèle d'affaires sont appliquées au contexte de production agricole de l'exploitation de la famille Monié. Les hypothèses suivantes ont été préalablement définies et justifiées :

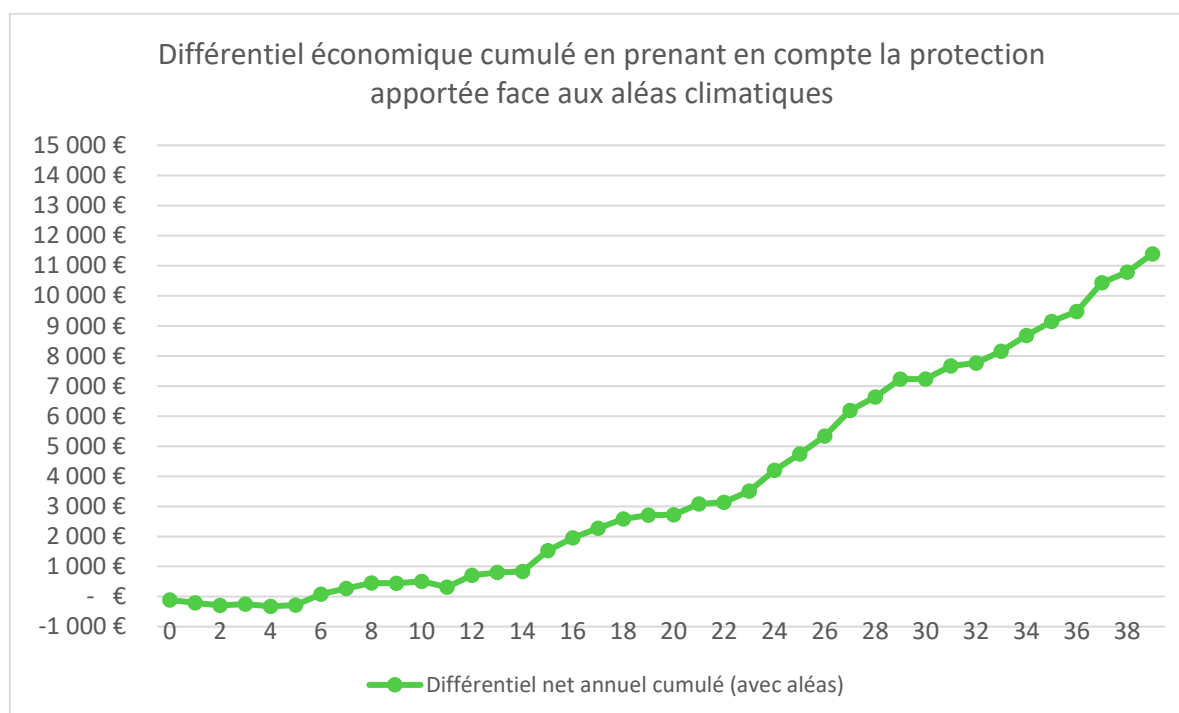
- La durée de vie prévisionnelle du vignoble est de 40 ans :
 - L'année N correspond à l'année de plantation ;
 - Les vignes rentrent en phase productive à partir de l'année N+3.
- Augmentation des coûts de travaux mécanisés : liée à la présence de la structure sur le terrain et variable selon les travaux à mener (une augmentation moyenne est estimée à +5%).
- Augmentation des coûts de plantation : classiquement, l'exploitant réalise la plantation en mécanique, à l'aide d'un système de guidage. Or, aujourd'hui, le signal GPS est brouillé par la présence des panneaux et rend l'utilisation des systèmes de géolocalisation plus difficile. Bien qu'au moment de la réalisation du projet, des solutions pour restituer le signal GPS seront sûrement mises en place, nous considérons ici que la plantation sera réalisée manuellement. Le surcoût est donc estimé à +30% sur la réalisation de la plantation.
- Diminution des coûts d'assurance multi-péril : le système agrivoltaïque permet de protéger les cultures des épisodes climatiques comme le gel, les brûlures et les coups de chaud. Ainsi, nous considérons ici l'hypothèse de la réduction des coûts d'assurance multi-péril, aujourd'hui souscrit par le viticulteur: celle-ci est estimée à -25%.

L'implantation d'un système agrivoltaïque sur l'exploitation répond à la volonté croissante de Jean Robert MONIE de protéger son vignoble des aléas climatiques et de sécuriser sa production tant qualitativement que quantitativement, tout en réduisant les frais d'assurance. C'est pourquoi, afin de rendre d'autant plus réaliste le modèle d'affaires du projet du MOUSSAN, nous avons simulé des épisodes de gels, de sécheresses et de canicules sur 40 ans. Le système agrivoltaïque offre donc la possibilité de limiter les pertes de production sur ces années, en limitant l'impact des gelées printanières, les effets de brûlures et d'échaudage, et de stress hydrique. De plus, Jean Robert MONIE profitera de la qualité organoleptique retrouvée pour mieux valoriser sa production :

- **Limitation des pertes sur la récolte en cas de gel :** Simulation de deux épisodes de gel sur 40 ans. Cet aléa devient de plus en plus menaçant pour le vignoble français, notamment avec l'avancée des dates de débourrement et l'augmentation de la fréquence d'apparition de gels tardifs. Pour ce projet, il est à l'origine de 40% de pertes moyennes sur la totalité de la production les années de gel.
- **Limitation des pertes sur la récolte lors de canicule :** Simulation de trente-cinq épisodes de canicule sur 40 ans. Cet aléa devient une problématique récurrente depuis quelques années. Cet événement est en moyenne à l'origine de 30% de pertes sur la totalité de la production ces années-là par brûlures et échaudage.
- **Limitation des pertes sur la récolte dû à la sécheresse :** Simulation de trente-cinq épisodes de sécheresse sur 40 ans. L'exploitation n'est pas irriguée et du fait des nouvelles contraintes climatiques et hydriques de la région, cette problématique devient récurrente depuis quelques années. Cet événement est en moyenne à l'origine de 30 % de pertes sur la totalité de la production ces années-là par dessèchement, qui favorise ensuite les brûlures et l'échaudage.

En prenant en compte les charges impactées (cf. coût des temps de travaux mécanisés et plantation, etc...) et les gains réalisés, ainsi que l'impact des aléas climatiques, le système agrivoltaïque dynamique apporte un gain net total sur 40 ans de 11500 €/ha. Soit un gain annuel moyen de 280 €/ha sur la durée considérée.

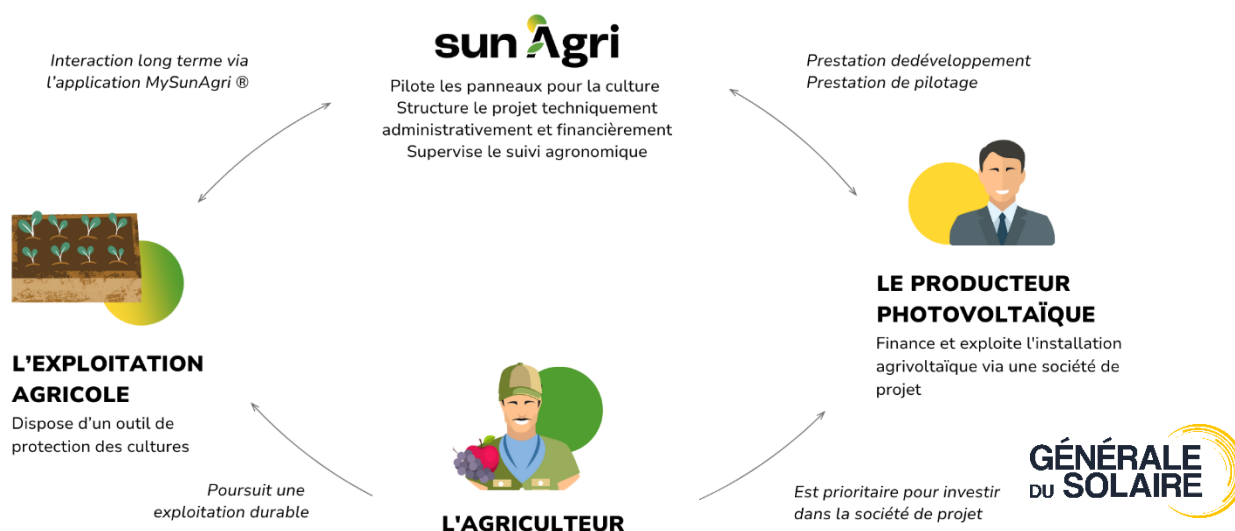
Le graphique ci-dessous illustre l'évolution du gain net cumulé sur les 40 ans :



Evolution du gain net cumulé sur 40 ans en situation agrivoltaïque dynamique

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

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



Business model des projets Sun'Agri

- **L'investisseur :**

Générale du solaire, créée en 2008 à l'initiative de Daniel Bour, le groupe est un expert du développement, de l'ingénierie, de la construction, du financement et de l'exploitation de centrales photovoltaïques, ainsi qu'un producteur d'électricité renouvelable, en France et à l'International. Présent sur toute la chaîne de valeur, Générale du Solaire pilote l'intégralité des projets solaires, de leur développement à leur exploitation.

Le groupe qui emploie environ 150 personnes, principalement en son siège à Paris et au sein de ses quatre agences régionales prévoit un chiffre d'affaires de 140 M€ en 2026 sur l'ensemble de ses activités. Générale du Solaire est un des leaders sur les centrales au sol et sur les centrales intégrées en toiture, en France et à l'International où le dynamisme des marchés émergents contribue fortement à sa croissance. Le Groupe détient en propre plus de 550 MWc de centrales solaires en France et 2 GWc de projets en développement sur le territoire. Très présent également à l'étranger, Générale du Solaire a aujourd'hui 70 MWc de centrales en propre et 350 MWc en développement en Italie et 100 MWc en développement en Afrique. Avec plus de 500 projets lauréats aux appels d'offres de la Commission de Régulation de l'Energie, Générale du Solaire se place comme l'un des leaders français dans son domaine.

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 40 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 / exploitant 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. La structure lui est mise à disposition comme un outil de protection, la vente d'électricité finance la structure. Par ailleurs, l'agriculteur 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. Une aide à la plantation sera fournie à l'exploitant à la signature du bail.

- **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 du système agrivoltaïque. 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. Ce suivi (interne à Sun Agri) sera indépendant du suivi réglementaire à réaliser dans le cadre des projets agrivoltaïques. Conformément au décret n°2024-318, un organisme indépendant sera désigné responsable du suivi agronomique du projet selon un protocole de suivi agronomique précis après la mise en service du projet, reconductible sur toute la durée de vie de l'installation. Un rapport de suivi de la production agricole sera produit tous les 3 ans sur la durée de contrat de rémunération de la production électrique et sera transmis à l'ADEME conformément à la LOI APER.

Dans le cadre du projet de la famille MONIE, la réalisation du suivi agronomique obligatoire dans le cadre de la loi APER sera proposée à la chambre d'agriculture de l'Aude, selon le souhait des exploitants agricoles.

3. Programme de recherche et résultats expérimentaux

3.1. L'aboutissement de 15 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**, ancien 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.

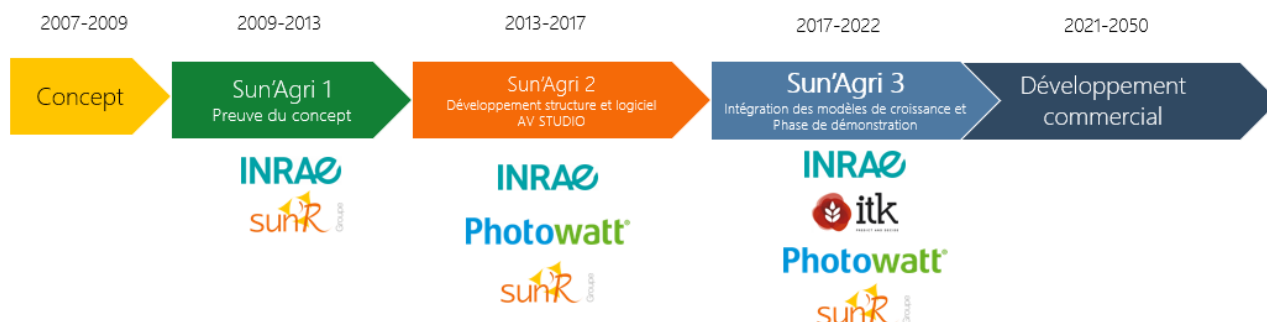
Sun'Agri 3 : Industrialiser en tenant compte de la spécificité de chaque culture ciblée en France

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.



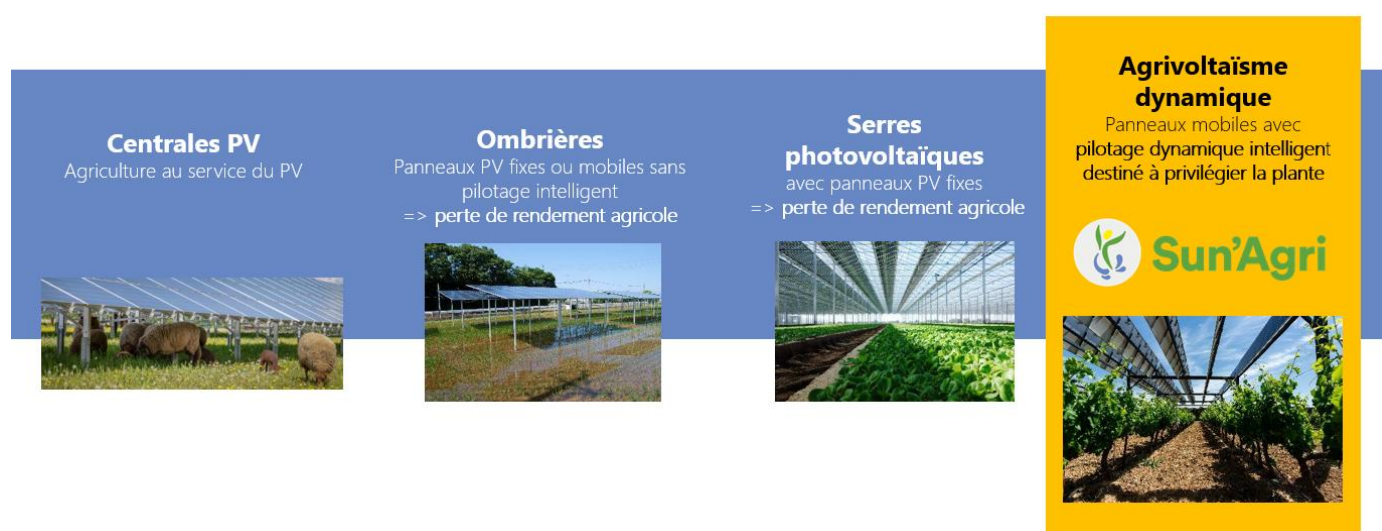
Chronologie du programme de recherche Sun'Agri

Les trois programmes de recherche successifs ont permis d'aboutir à la technologie actuelle et la mise en service de :

- 10 dispositifs expérimentaux ayant permis de valider 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 ;
- 13 projets pilotes d'ores et déjà en fonctionnement : des projets à plus grande échelle, en conditions 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.

3.1.1. 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.

3.1.2. Les cultures et régions cibles

Sun'Agri fait le choix de ne pas opérer de compromis avec la production agricole et a donc souhaité privilégier :

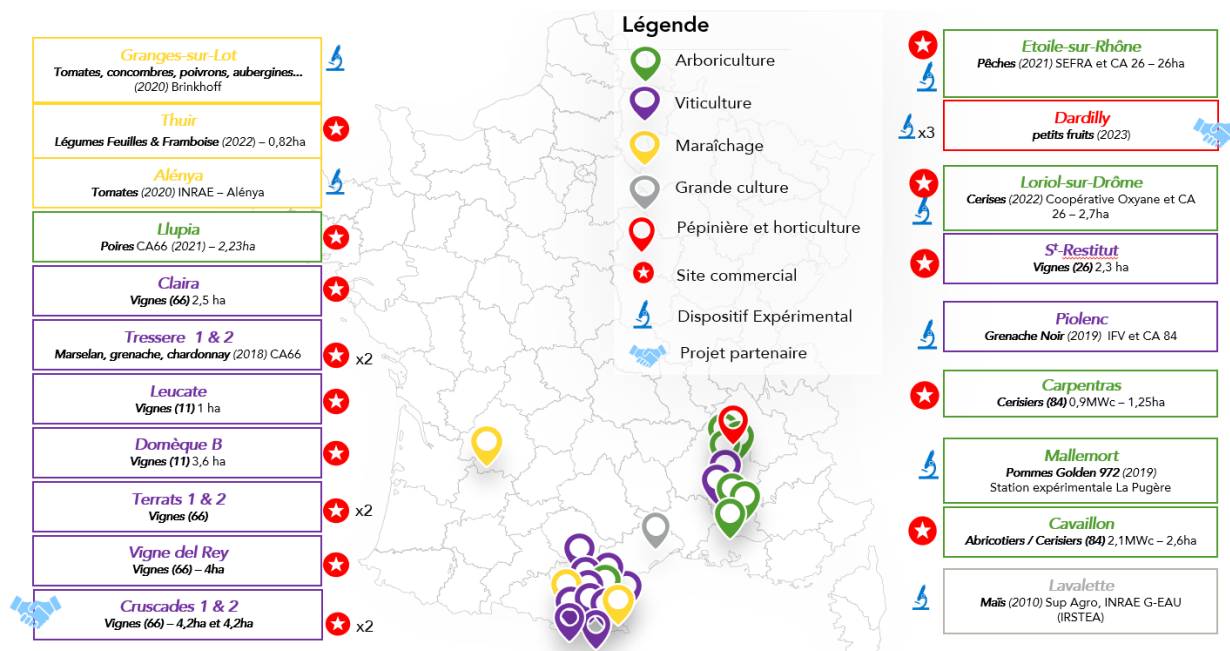
- Les zones géographiques pour lesquelles les stress thermiques et hydriques sont élevés et croissants, où les changements climatiques provoquent des impacts et une vulnérabilité importante : Sud de la France, pourtour méditerranéen, États-Unis, Caraïbes, Australie, Afrique Subsaharienne ;
- Les cultures 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 brulures 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. - <u>Nécessité de protéger ces cultures pérennes et de garantir leur durée de vie (env 30-40 ans)</u>
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 - <u>Nécessité de protéger ces cultures perennes et de garantir leur durée de vie (env 15 ans)</u>
Maraîchage (Concombres, salades, tomates)	- Grand consommateur d'eau, également très sensible aux changements climatiques. - Cultures de plein champs sensibles aux fortes chaleurs, déficits hydriques, grêle, pluies fortes, gel printanier. - Dans les assiettes de tous les consommateurs, toute l'année : extension des périodes de récolte. - Évite le blanchiment des serres ou des abris.

3.2. Des résultats ayant prouvé l'efficacité du système

Aujourd'hui, Sun'Agri possède 17 projets commerciaux et 10 dispositifs expérimentaux, en fonctionnement

Carte 3 : Références de Sun'Agri (carte mise à jour en avril 2024)



Des recherches expérimentales sur vignes sous panneaux de différentes tailles ont été réalisées en 2018 et 2019 sur le campus de Montpellier SupAgro, complétées par des recherches issues 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, 4.5 ha protégées par la structure agrivoltaïque et 3ha de zone témoin pour le suivi agronomique réalisé par la Chambre d'Agriculture des Pyrénées-Orientales. 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 Chambre d'Agriculture du Vaucluse 84 et l'INRAE (unités LEPSE, PECH ROUGE, SYSTEM et G-EAU ex-IRSTEA).

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). En complément de ce premier dispositif, ont été inaugurés en 2022 deux nouveaux dispositifs expérimentaux en arboriculture :

- Le premier sur une parcelle de la SEFRA (Station d'Expérimentation Fruits de Rhône-Alpes) cultivée en pêchers gobelets Kinolea (Figure 3). Le suivi est assuré par la station directement.
- Le deuxième à Loriol-Sur-Drôme (en cerise), chez Christian CLAIR en cerises gobelets. Le suivi est assuré par Oxyane.



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)



Démonstrateur agrivoltaïque de Tresserre (66) – Domaine de Nidolères

3.2.1. 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. Les dispositifs mis en place par Sun'Agri ont montré que 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 les rendements :

- Limitant les excès de rayonnement solaire et des 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 déléteurs au débourrement.
- Améliorant le confort hydrique tout en limitant l'irrigation¹⁸ : 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 -30%.
- Menant à un meilleur équilibre aromatique du vin produit : Les baies des zones 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

¹⁸ Tous les sites actuellement en fonctionnement en vignes sont irrigués, selon la volonté de l'exploitant viticole

- 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.

3.3. Enjeux du déploiement à plus grande échelle

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

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.