RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et l'agrivoltaïsme

Recueil de retours d'expériences et fiches techniques récapitulatives

EXPERTISES

Juil. 2021

ICare ceresco Alimentation, filières & territoires CETIAC Conseil en compensation agricole

REMERCIEMENTS

Les auteurs de ce guide souhaitent remercier les membres du comité d'experts et du comité de pilotage pour leurs contributions tout au long de cette étude, mais aussi tous les acteurs ayant pris part, de près ou de loin, à leurs réflexions et à leurs travaux même s'ils ne sont pas cités ci-dessous.

Comité de pilotage :

Julie Beelmeon (MTES – DGEC)
Maxence Chatelet (MTES – DHUP)
Vincent Delporte (MTES – DGEC)
Agnès Desoindre (MAA – DGPE)
Isabelle Feix (ADEME)
Céline Mehl (ADEME)
Léa Molinié (MAA – DGPE)
Rodolphe Morlot (ADEME)
Jean-Michel Parrouffe (ADEME)
Léa Peltret (MAA – DGPE)
Nicolas Tonnet (ADEME)

Comité d'experts :

Claude Baury (Chambre agriculture des Bouches du Rhône)
Hakima Bechoua (DRAAF Occitanie)
Nelsie Berges (SER)
Nicolas Berghmans (IDDRI)
Véronique de Billy (OFB)
Yves le Bissonnais (INRAE)
Aimé Bosq (Enerplan)
Isabelle Botrel (SAFER Occitanie)
Pierre-Emmanuelle Bournet (Agrocampus Ouest)
Marie Buchet (SER)
Alice Brasquies (AREC Occitanie)
Régis le Carluer (Chambre d'agriculture des Côtes d'Armor)
Enzo Casnici (Chambre d'agriculture ARA)
Bruno Charpentier (DREAL Bourgogne)
Virginie Charrier (La Coopération Agricole)
Pascal Chaussec (APEPHA)
Bruno Cheviron (INRAE)
Dorothée Cocozza (SAFER ARA)
Auréline Doreau (Ecole Nationale Supérieure du Paysage)
Jeanne Dupas (HESPUL)
Christian Dupraz (INRAE)
Samy Engelstein (SER)
Isabelle Feix (ADEME)
Hervé Flament (SAFER Occitanie)
Lola Godet (Chambre d'agriculture AURA)
Claire Goillon (APREL)
Ariane Grisey (CTIFL)
Raphaël Gros (Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie)
Jean-Marc Hamon (La Coopération Agricole)
Léonard Jarrige (Assemblée permanente des Chambres d'Agriculture)
Philippe Lauraire (SAFER PACA)
Anne-Laure Laroche (ASTREDHOR)
Bertrand Laroche (INRAE)
Richard Loyen (Enerplan)
Christophe Maillet (SAFER)
Joris Masafont (ADEME)
Simon Miquel (DRAAF Occitanie)
Bernard Moury (DDTM de l'Hérault)
Luc Petitpain (DREAL PACA)
Andreas Rudinger (IDDRI)
Anne-Sophie Servan (FNSAFER)
Marc Varchavsky (CER France)

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME, I Care & Consult, Ceresco, Cétiac. 2021. Caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et l'agrivoltaïsme. Recueil de retours d'expériences et fiches techniques récapitulatives. 141 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne https://librairie.ademe.fr/

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 19MAR000225

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : I Care & Consult, Ceresco, Cétiac
Coordination technique - ADEME : MEHL Céline & TONNET Nicolas
Direction/Service : Direction Bioéconomie et Energies Renouvelables (DBER) / Service Réseaux et Energies Renouvelables

SOMMAIRE

GLOSSAIRE 8

CLES DE LECTURE DU DOCUMENT 9

1. METHODOLOGIE DE L'ENQUETE 10

2. RESULTATS MAJEURS ISSUS DE L'ENQUETE DE TERRAIN 11

2.1. Toitures photovoltaïques en autoconsommation 12
2.1.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés 12
2.1.2. Atouts 13
2.1.3. Faiblesses et menaces 13
2.1.4. Pratiques d'intérêt 13

2.2. Maraichage sous serre photovoltaïque 13
2.2.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés 13
2.2.2. Atouts 14
2.2.3. Faiblesses et menaces 14
2.2.4. Pratiques d'intérêt 14

2.3. Horticulture sous serre photovoltaïque 15
2.3.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés 15
2.3.2. Atouts 15
2.3.3. Faiblesses et menaces 15
2.3.4. Pratiques d'intérêt 15

2.4. Arboriculture sous ombrière fixe ou serre photovoltaïque 16
2.4.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés 16
2.4.2. Atouts 16
2.4.4. Faiblesses et menaces 17
2.4.5. Pratiques d'intérêt 17

2.5. Productions végétales de plein champs sous ombrières mobiles (viticulture, arboriculture ou maraîchage) 17
2.5.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés 17
2.5.2. Atouts 18
2.5.3. Faiblesses et menaces 18
2.5.4. Pratiques d'intérêt 18

2.7. Elevage ovin sous centrale photovoltaïque 19
2.7.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés 19
2.7.2. Atouts 19
2.7.3. Faiblesses et menaces 19
2.7.4. Pratiques d'intérêt 20

2.8. Elevage sous ombrière ou serre photovoltaïque 20
2.8.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés 20
2.8.2. Atouts 21
2.8.4. Faiblesses et menaces 22
2.8.5. Pratiques d'intérêt 22

2.9. Trackers photovoltaïques en autoconsommation 22
2.9.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés 22
2.9.2. Atouts 23
2.9.3. Faiblesses et menaces 23

2.11. Protection photovoltaïque aquacole 24
2.11.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés 24
2.11.2. Atouts 25
2.11.3. Faiblesses et menaces 25
2.11.4. Pratiques d'intérêt 25

2.13. Agriculture et panneaux verticaux bifaciaux 26
2.13.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés 26
2.13.2. Atouts 26
2.13.4. Faiblesses et menaces 27
2.13.5. Pratiques d'intérêt 27

CONCLUSIONS 27

INDEX DES ILLUSTRATIONS 28

SIGLES ET ACRONYMES 29

ANNEXES 30

FICHE 1 - TOITURES PHOTOVOLTAÏQUES EN AUTOCONSOMMATION ... 31

FICHE 2 - MARAÎCHAGE SOUS SERRE PHOTOVOLTAÏQUE 39

FICHE 3 - HORTICULTURE SOUS SERRE PHOTOVOLTAÏQUE 57

FICHE 4 - ARBORICULTURE SOUS OMBRIERE FIXE OU SERRE PHOTOVOLTAÏQUE 64

FICHE 5 - PRODUCTION VEGETALE DE PLEIN CHAMPS SOUS OMBRIERES MOBILES 75

FICHE 6 - ELEVAGE OVIN SOUS CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE 89

FICHE 7 - ELEVAGE SOUS OMBRIERE OU SERRE PHOTOVOLTAÏQUE 105

FICHE 8 - TRACKERS PHOTOVOLTAÏQUES EN AUTOCONSOMMATION 114

FICHE 9 - PROTECTION PHOTOVOLTAÏQUE AQUACOLE 122

FICHE 10 -PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES VERTICAUX BIFACIAUX .. 132

RÉSUMÉ

Le développement des énergies renouvelables au sein du secteur agricole est aujourd'hui une ambition partagée pour permettre d'atteindre les objectifs fixés par la loi de transition énergétique. Toutefois, ce développement dans le secteur agricole, y compris celui du photovoltaïque, ne peut se faire sans tenir compte de la nécessité de préserver les sols agricoles.

En réponse à ces enjeux, la notion « d'agrivoltaïsme », qui qualifie le couplage d'une production photovoltaïque secondaire à une production agricole principale avec une synergie de fonctionnement démontrable, a émergé au sein de la filière photovoltaïque française.

Au regard de l'intérêt croissant lié à ce nouveau secteur de marché pour le photovoltaïque, cette étude vise à caractériser les projets photovoltaïques sur terrain agricole et à définir précisément cette notion d'agrivoltaïsme. Elle s'est basée sur un état de l'art bibliographique, des entretiens avec des agriculteurs et développeurs et l'expertise d'un comité d'experts, constitué spécifiquement pour suivre ces travaux.

Ce recueil de retours d'expérience est l'un des quatre documents produits dans le cadre de l'étude avec un résumé exécutif, un état de l'art bibliographique et un guide de classification des projets photovoltaïques sur terrains agricoles. Ce dernier propose des critères d'évaluation des projets, un gradient de classification, une définition de l'agrivoltaïsme et fait des recommandations à destination des pouvoirs publics.

La collecte des retours d'expérience a démontré que l'accès à des structures agricoles à moindre coût et l'accès à une protection contre les aléas météorologiques sont des atouts souvent rapportés par les agriculteurs. A contrario, les effets de l'ombrage sur les cultures ne semblent pas suffisamment connus et il apparaît nécessaire d'approfondir les connaissances agronomiques sur le sujet. Les questions de l'insertion des structures dans le fonctionnement des exploitations (itinéraires techniques, débouchés…) ainsi que les modèles d'affaires choisis (contrats, provisions du démantèlement…) sont des points saillants de ces retours d'expérience.

ABSTRACT

The development of renewable energies in the agricultural sector is now a shared ambition in order to achieve the objectives set by the Energy Transition Act. However, this development, including photovoltaics, cannot be done without taking into account the need to preserve agricultural land. In response to these challenges, the notion of "agrivoltaics", which qualifies the coupling of a secondary photovoltaic production to a main agricultural production with a demonstrable operating synergy, has emerged within the French photovoltaic sector.

In view of the growing interest linked to this new market sector for photovoltaics, this study aims to characterize photovoltaic projects on agricultural land and to define precisely this notion of agrivoltaics. It was based on a bibliographic review, interviews with farmers and photovoltaic developers, and the involvement of a committee of experts specifically set up to monitor this work.

This summary of feedback is one of four documents produced as part of the study with an executive summary, a bibliographic state of the art and a classification guide for photovoltaic projets on agricultural land. The latter proposes criteria for evaluating projects, a classification gradient, a definition of agrivoltaics and recommendations for public authorities.

The collection of feedbacks has shown that access to agricultural structures at lower cost and access to protection against weather hazards are assets often reported by farmers. On the other hand, the effects of shading on crops don't seem to be sufficiently understood and it seems necessary to deepen agronomic knowledge on the subject. The questions of the insertion of the structures in the functioning of the farms (technical itineraries, outlets...) as well as the chosen business models (contracts, provisions for dismantling...) are the salient points of these returns of experience.

GLOSSAIRE

Ombrière[1] : Structure fournissant de l'ombre et constituée d'une surface horizontale ou oblique en hauteur et de ses supports, recouverte entièrement ou partiellement de panneaux photovoltaïques.

Serre[1] **:** Structure close destinée à la production agricole dont le toit est en partie transparent pour laisser passer la lumière. Les faces de type verres horticoles, plastique ou les filets brise vent et anti-insectes sont acceptés.[1]

Serre « ouverte »[2] **:** Structure destinée à la production agricole dont le toit est en partie transparent pour laisser passer la lumière, possédant deux à trois parois latérales (de type verre horticole, plastique ou des filets brise-vents). A la différence des ombrières, les serres « ouvertes » peuvent permettre de contrôler les conditions microclimatiques (par la fermeture des parois latérales) et de maîtriser la pression parasitaire, autorisant ainsi la culture d'espèces et de variétés qui ne seraient pas cultivables dans ces zones géographiques sans ce matériel.

NB : Dans les retours d'expérience rencontrés, certaines structures possédaient la totalité de leurs parois en filets anti-insectes. Ainsi, selon les périodes de l'année, ces structures peuvent être closes ou ouvertes. Elles ont ainsi été placées dans la catégorie des « serres ouvertes », pour les distinguer des ombrières qui elles, sont entièrement ouvertes.

Tracker PV : Structure motorisée constituée d'une surface surélevée recouverte de panneaux photovoltaïques suivant la course du soleil.

Service direct à l'agriculture : Les modules photovoltaïques apportent, via leur présence, un des services suivants à la production agricole : protection des aléas, amélioration du bien-être animal, apport d'un service agronomique précis répondant aux besoins des cultures, adaptation au changement climatique.

Service indirect à l'agriculture : Le projet photovoltaïque permet l'accès à un matériel technique (grange, serre ...), permettant lui-même une amélioration de la production agricole.

[1] A l'heure actuelle, les traitements administratifs des projets d'ombrières et de serres photovoltaïques ne sont pas les mêmes. Les définitions proposées ici pour les termes « ombrière » et « serre » reprennent en partie celles qui figurent dans les cahiers des charges des appels d'offres nationaux MTE-CRE pour le photovoltaïque.

[2] Dans le cadre de ce document, la notion de « serre ouverte » a été introduite bien que cette catégorie n'ait pas de valeur juridique et administrative. En effet, cette étude s'inscrit dans une approche technique, dans laquelle ce type de structure a été traitée à part.

CLES DE LECTURE DU DOCUMENT

Le développement des énergies renouvelables au sein du secteur agricole est aujourd'hui une ambition partagée pour permettre d'atteindre les objectifs fixés par la loi de transition énergétique. Toutefois, ce développement du photovoltaïque dans le secteur agricole ne peut se faire sans tenir compte de la nécessité de préserver les sols agricoles.

En réponse, et afin de préserver la vocation agricole de ces parcelles, la notion « d'agrivoltaïsme » a émergé au sein de la filière photovoltaïque en France, notamment grâce à l'appel d'offre du gouvernement, opéré par la CRE, portant sur la "réalisation et l'exploitation d'installations de production d'électricité innovantes à partir de l'énergie solaire" dont le premier cahier des charges a été publié en 2017. Dans cet appel d'offre, les installations agrivoltaïques sont définies comme des installations photovoltaïques permettant de coupler une production photovoltaïque secondaire à une production agricole principale avec une synergie de fonctionnement démontrable.

Cette filière agrivoltaïque, bénéficiant ainsi d'un soutien financier de l'Etat, éveille l'intérêt des porteurs de projet et tend à prendre de l'ampleur. Au regard de la grande variété des solutions techniques présentes sur le marché, la justification de la synergie agricole de ces systèmes n'est pas toujours évidente ou démontrable et à priori, tous les systèmes ne répondent pas forcément aux prérequis de l'agrivoltaïsme.

Ainsi, au regard de l'intérêt croissant lié à ce nouveau secteur de marché pour le photovoltaïque, cette étude vise à caractériser les projets photovoltaïques sur terrain agricole et à définir précisément cette notion d'agrivoltaïsme. Elle s'est basée sur un état de l'art bibliographique, des entretiens avec des agriculteurs et développeurs et l'expertise d'un comité d'experts, constitué spécifiquement pour suivre ces travaux.

Ce document présente les retours d'expérience obtenus pendant l'enquête de terrain. C'est l'un des quatre documents produits dans le cadre de l'étude, avec un état de l'art bibliographique, un guide de classification des projets photovoltaïques sur terrains agricoles et un résumé exécutif.

Figure 1: Eléments constitutifs de cette étude

1. Méthodologie de l'enquête

Suite à un premier travail d'analyse bibliographique pour l'établissement d'un état de l'art du photovoltaïque sur terrains agricole (cf. 1er livrable de cette étude), la seconde phase de l'étude consistait à approfondir ces résultats à l'aide d'une enquête pour recueillir des retours d'expériences concrets auprès d'agriculteurs disposant d'installations photovoltaïques.

Pour ce faire, un recensement des installations photovoltaïques sur terrains agricoles en France, mais aussi d'installations d'intérêt à l'étranger, a été réalisé permettant d'aboutir à une liste d'environ 200 installations.

Au sein de cette liste, un échantillonnage d'une centaine d'installations a été réalisé dans l'objectif d'enquêter une cinquantaine d'installations. Cet échantillon a été choisi afin d'être le plus représentatif des systèmes photovoltaïques sur terrains agricoles existants : représentativité des systèmes, des régions et des productions agricoles associées.

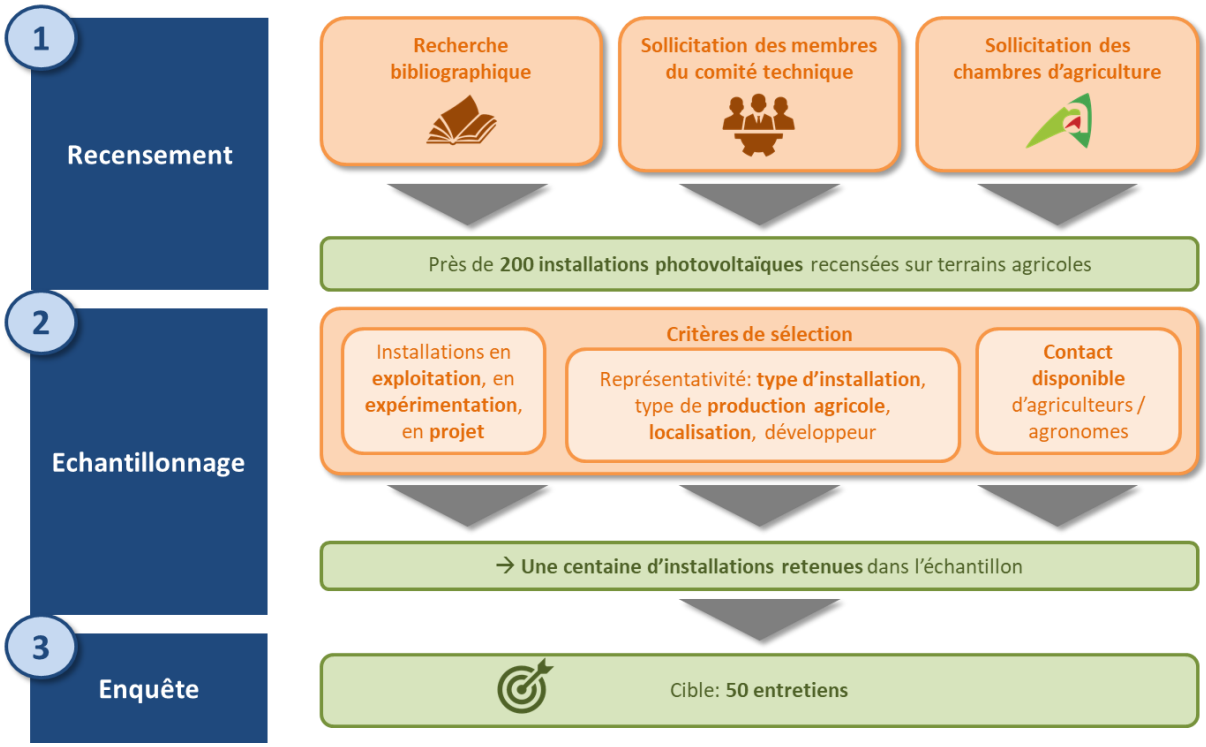


Figure 2: Schéma récapitulatif de la méthodologie de l'enquête

Au cours de l'enquête, des entretiens développeurs ont parfois été nécessaires pour avoir l'ensemble des informations nécessaires concernant les projets. Ainsi, près de 70 entretiens ont été réalisés dont une quarantaine avec des exploitants agricoles et plus d'une vingtaine avec des développeurs. Ces derniers ont également pu apporter des renseignements sur certaines installations encore au stade de projet.

Au final, la typologie et la répartition des 55 exploitations étudiées sont présentées sur les figures suivantes.

Figure 3: Répartition géographique des exploitations existantes enquêtées (non représentées : 3 enquêtes en Allemagne)

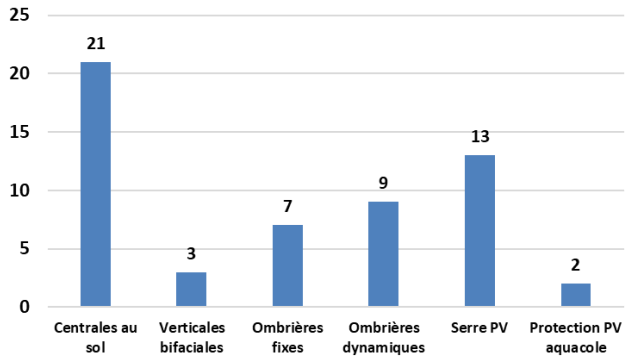


Figure 4: Répartition des systèmes enquêtés

Les enquêtes ont permis de collecter, pour chaque installation, les informations suivantes :

- Une description du système : type de structure, puissance, surface installée, quantités autoconsommées… ;
- L'historique du montage du projet, et la manière dont s'étaient déroulés les contacts entre agriculteurs et développeurs et les éventuelles négociations ;
- Les modèles d'affaires des systèmes rencontrés avec une description des parties prenantes et de leur implication dans le projet ;
- Le modèle technico-économique agricole : existence d'un cahier des charges associé à la production agricole, impacts agronomiques des modules PV, adaptation des systèmes aux nouvelles contraintes liées aux modules, intégration du projet dans le fonctionnement des exploitations agricoles ;
- Les effets hors exploitations, à savoir l'acceptabilité locale des projets, les impacts environnementaux, sur le foncier et les filières agricoles ;
- Le niveau de satisfaction général des exploitants et le potentiel de développement associé aux projets.

L'analyse de ces retours d'expérience a permis d'identifier pour chaque système identifié les points forts, les points faibles et les bonnes pratiques permettant d'optimiser les avantages et de limiter les impacts négatifs existants. L'intégralité de ces informations, compilées avec les données obtenues via l'étude bibliographique de la phase 1, est retranscrite au sein des fiches techniques récapitulatives pour chacun des dix systèmes photovoltaïques identifiés au préalable (cf. Annexes).

L'analyse de ces retours de terrain a également permis d'identifier les critères permettant de caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et d'identifier les risques associés à ces installations. Ces éléments sont détaillés dans un autre livrable de l'étude, dénommé « Guide de classification des projets et définition de l'agrivoltaïsme ».

2. Résultats majeurs issus de l'enquête de terrain

Cette partie présente les principaux enseignements des entretiens réalisés dans la phase 2 de l'étude, pour chacune des dix typologies de projets étudiée :

- Toitures photovoltaïques en autoconsommation
- Maraîchage sous serres photovoltaïques
- Horticulture sous serres photovoltaïques
- Arboriculture sous ombrières fixes ou serres photovoltaïques
- Ombrières mobiles sur viticulture, arboriculture ou maraîchage
- Elevage ovin sous centrales au sol

- Elevage sous ombrières ou serres photovoltaïques
- Trackers photovoltaïques en autoconsommation
- Protection photovoltaïque aquacole
- Agriculture et panneaux verticaux bifaciaux

Les éléments synthétiques présentés dans les paragraphes suivants ne remplacent pas l'exhaustivité des données apportées dans les fiches techniques récapitulatives, incluant notamment la liste détaillée des incidences de ces systèmes sur la production agricole.

Pour une connaissance approfondie de chaque système étudié, le lecteur pourra se référer à ces fiches détaillées, disponibles en annexe de ce document (incluant toutes les informations recueillies via l'état de l'art et via les enquêtes).

2.1. Toitures photovoltaïques en autoconsommation

2.1.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés

Le système consiste en l'installation de panneaux photovoltaïques sur la toiture de bâtiment(s) d'une exploitation agricole, avec autoconsommation de tout ou partie de la production électrique. Ce système comprend deux principaux types d'utilisation de l'énergie produite.

- Le premier type d'utilisation de l'énergie est utilisé pour le pilotage de la température et des conditions d'hygrométrie du bâtiment d'élevage : chauffage, ventilation ou climatisation. Les panneaux photovoltaïques sont généralement orientés vers le sud.
- La seconde utilisation majeure de l'électricité produite par des panneaux photovoltaïques sur toiture est le séchage de fourrages en grange. Ce système utilise des panneaux hybrides, qui produisent à la fois de l'électricité et de la chaleur, et dont le mécanisme de fonctionnement est représenté dans la figure ci-dessous. Ce système est rencontré dans de nombreuses exploitations en France (plus de 1000[3]).

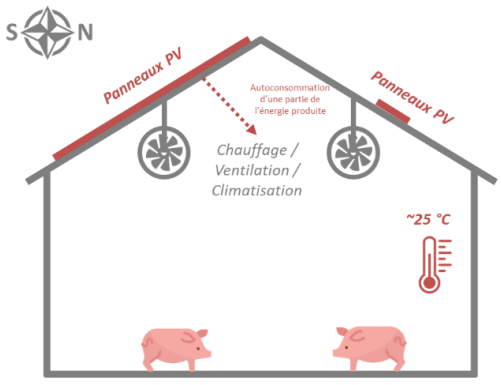


Figure 5: Schéma de bâtiments d'élevage dont la température est régulée par l'énergie produite par des panneaux photovoltaïques

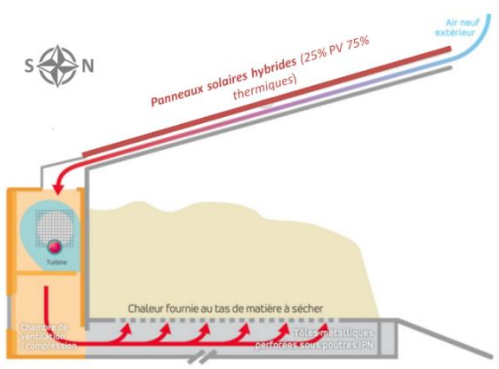


Figure 6: Schéma de fonctionnement d'un séchage en granges avec panneaux solaires thermiques (Crédits : Cogen'Air – Base innovation)

D'autres cas d'autoconsommation de l'électricité, produite par des panneaux photovoltaïques en toiture à des fins agricoles, peuvent être rencontrés : chauffage des locaux, ventilation, éclairage, bloc traite. Ils n'ont pas été étudiés ici.

Un unique modèle d'affaires existe pour ce système : l'exploitant agricole investit dans l'installation de panneaux photovoltaïques sur un de ses bâtiments (existant ou neuf). Il consomme une partie de l'énergie solaire produite et vend le surplus (injection sur le réseau). L'autoconsommation couvre généralement entre 30% et 80% des besoins énergétiques de l'exploitation (variable selon le type d'exploitation).

[3] https://solagro.org/nos-domaines-d-intervention/agroecologie/sechage-solaire-de-fourrages

2.1.2. Atouts

La pose de panneaux en toiture de bâtiment n'implique pas de difficultés sur le partage de la lumière : elle est utilisée uniquement pour produire de l'énergie. Les principaux avantages apportés par les panneaux en toiture sont d'ordre économique : ces projets permettent de réduire certains coûts d'exploitation, voire de générer des revenus complémentaires puisque l'exploitant peut investir lui-même et à 100% dans son installation. Ils apportent ainsi une certaine autonomie énergétique à l'exploitation (indépendance vis-à-vis du prix de l'énergie).

Par ailleurs, lorsque les panneaux sont installés sur du bâti existant, ces projets n'ont aucun impact sur l'occupation des sols.

2.1.3. Faiblesses et menaces

Les investissements sont relativement importants pour les agriculteurs, et la rentabilité du projet est directement conditionnée par le taux d'autoconsommation. En outre, ces projets peuvent générer une artificialisation des sols lorsqu'un nouveau bâtiment est construit spécifiquement pour le projet.

2.1.4. Pratiques d'intérêt

Une étude analysant les consommations électriques et les besoins de l'exploitant doit permettre de déterminer l'opportunité d'un tel système, en identifiant le dimensionnement du projet et son taux d'autoconsommation avant d'engager l'exploitant dans un investissement financier de ce type de projet. Sous réserve de surfaces de toitures compatibles suffisantes et d'un besoin en autoconsommation compatible pour assurer sa rentabilité, ce système est adaptable pour une large gamme d'exploitations agricoles.

2.2. Maraichage sous serre photovoltaïque

2.2.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés

Le système consiste en la production de fruits et légumes divers sous des serres, en partie couvertes de panneaux photovoltaïques. Les principaux types de serres, ainsi que leurs dimensions, sont présentées dans les schémas ci-dessous :

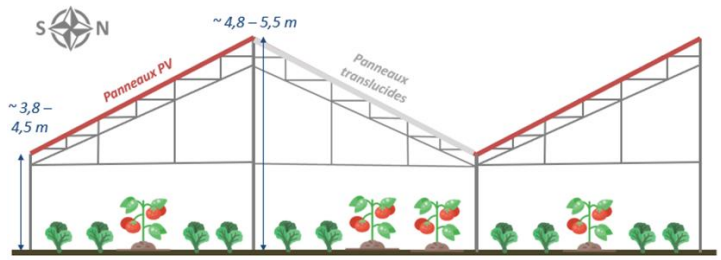


Figure 7: Schéma des dimensions des serres multichapelles avec productions maraichères

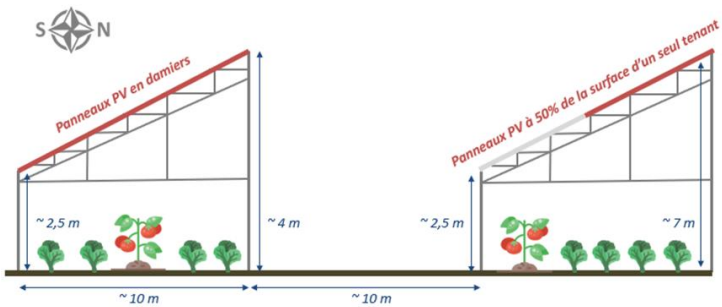


Figure 8: Schéma des dimensions des serres monopentes avec productions maraichères

Le plus souvent, l'agriculteur est le propriétaire des terrains agricoles. Le développeur, qui est porteur du projet photovoltaïque, bénéficie d'un bail emphytéotique d'un montant très faible, ou d'une mise à disposition sans versement de loyer. Le développeur investit dans la construction de la serre.

Plus rarement, le propriétaire foncier est une tierce personne, à laquelle le développeur paye un loyer. L'exploitant bénéficie de la serre sans payer de loyer. Enfin, dans un dernier cas de figure, le développeur est propriétaire des terrains et des serres. L'exploitant paye alors un loyer pour avoir accès à ces installations.

2.2.2. Atouts

Ces projets de maraîchage sous serre photovoltaïque présentent l'atout majeur d'octroyer à l'agriculteur un matériel technique (la serre) sans investissement ou bien avec un investissement limité. Souvent, les exploitants n'auraient vraisemblablement pas pu avoir accès à une telle structure sans ces projets photovoltaïques. Pour les exploitants, le passage sous serre constitue souvent une amélioration par rapport à l'état initial (plein champ, serres tunnels …). L'acquisition de ces serres peuvent procurer divers avantages au niveau agronomique : amélioration des rendements, de la qualité des productions, la protection des intempéries etc. En général, l'exploitant agricole peut choisir de conserver la serre à la fin du bail.

En outre, ces projets permettent parfois à l'exploitant d'accéder à davantage de foncier agricole : la serre avec panneaux photovoltaïque s'ajoutant au foncier déjà exploité auparavant.

Néanmoins, l'impact de l'ombrage sur les cultures maraîchères reste très variable selon les types de production et les retours d'expérience et expérimentations sont encore peu nombreux ou, en tous cas, peu généralisables. Les agriculteurs ayant été enquêtés soulignent d'ailleurs la méconnaissance des effets de l'ombrage sur les productions agricoles. Les enquêtes ont toutefois fait remonter des retours d'expériences positifs sur certaines cultures maraîchères comme la betterave, le chou-rave, la mâche ou encore le fenouil.

2.2.3. Faiblesses et menaces

Les bénéfices agronomiques, évoqués précédemment, sont surtout liés à l'apport d'une structure (la serre) qui pourrait, techniquement, être déployée sans panneaux photovoltaïques. De plus, certaines productions ne semblent pas adaptées au travail sous serre photovoltaïques : outre des retards de croissances, les rendements peuvent être largement impactés et dans le pire des cas, la production n'est pas récoltable. Par conséquent, ces systèmes impliquent aussi une certaine limitation de l'adaptabilité du système, dans le sens où seul un nombre restreint de variétés peut être cultivé, limitant ainsi les débouchés possibles en termes de commercialisation. Les effets négatifs associés à l'ombrage peuvent être aussi exacerbés par l'orientation de la serre, car les panneaux photovoltaïques sont souvent orientés plein sud pour optimiser la production énergétique.

D'autre part, les serres photovoltaïques souffrent d'une mauvaise réputation en raison d'écueils observés dans certaines régions (abandon de la production agricole sous serre).

Selon les projets, certains travaux annexes comme les terrassements ou la mise en place des systèmes de récupération des eaux de pluies peuvent parfois être pris en charge par l'exploitant agricole. Dans certains de ces cas, cela peut limiter la rentabilité économique du projet pour l'exploitant.

2.2.4. Pratiques d'intérêt

Certaines pratiques permettent de limiter l'impact des panneaux photovoltaïques sur l'hétérogénéité de la lumière : plantations différenciées, paillage blanc au sol, vitres/tôles diffusant la lumière sur un angle plus large…

L'implication de l'agriculteur, le plus en amont possible, dans la conception et le dimensionnement du projet est une pratique à encourager. En effet, les retours d'expériences suggèrent que la prise en compte des besoins de l'agriculteur dès les étapes de conceptions (design de la serre, orientation, présence d'ouvrants, hauteurs, possibilités d'irrigation etc.) contribue largement à la réussite du projet agricole. Il a également été mentionné l'importance de mener une réflexion en amont sur les circuits de commercialisation disponibles après l'installation du projet.

Les exploitants interrogés regrettent malheureusement le manque d'accompagnement technique de la part de certains développeurs. Si certains développeurs proposent un soutien agronomique aux

exploitants, cette bonne pratique n'est pas encore suffisamment répandue. Néanmoins, de nombreux développeurs indiquent aujourd'hui qu'ils internalisent des compétences agronomiques pour pouvoir mieux accompagner les exploitants dans cette phase de transition. De même, le partage des retours d'expériences existants pourrait faciliter le développement des futurs projets.

2.3. Horticulture sous serre photovoltaïque

2.3.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés

Le système consiste en une production horticole sous serres, en partie couvertes de panneaux photovoltaïques. Les cas rencontrés sont des serres multichapelles dont les dimensions sont représentées sur le schéma ci-dessous :

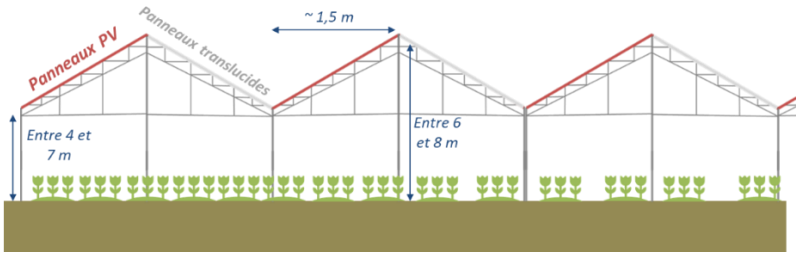


Figure 9: Schéma des dimensions des serres multichapelles avec productions horticoles

Dans le cadre des deux entretiens réalisés, les serres enquêtées ne disposent pas de parois latérales, soit parce qu'elles n'étaient pas encore installées (portes et parois en enroulement prévus néanmoins) soit parce qu'elles ne sont pas prévues dans la conception de la serre comme pour l'île de la Réunion, où cette caractéristique est adaptée au contexte local et permet de limiter la prise au vent et ainsi les dégâts potentiels en cas de cyclones (on parle ainsi de « serre anticyclonique »).

Dans les projets rencontrés, l'agriculteur est le propriétaire des terrains agricoles. Le développeur, qui est porteur du projet photovoltaïque, bénéficie d'un bail emphytéotique d'un montant très faible, ou d'une mise à disposition sans versement de loyer. Le développeur investit dans la construction de la serre.

2.3.2. Atouts

Le principal intérêt des agriculteurs est qu'ils bénéficient d'un matériel technique sans en supporter l'investissement, avec des coûts limités. Dans certains cas, la structure photovoltaïque offre également une protection contre les aléas, par exemple contre les cyclones dans le cas de la Réunion.

2.3.3. Faiblesses et menaces

Les atouts, évoqués précédemment, sont liés à l'apport d'une structure (la serre) qui pourrait, techniquement, être déployée sans panneaux photovoltaïques. De plus, les retours d'expériences rapportent de fortes baisses de rendements et des retards de croissance pour de nombreuses espèces. Ainsi, le nombre d'espèces et de variétés horticoles adaptées semble très limité, ce qui réduit fortement les débouchés commerciaux. Par conséquent, la rentabilité économique de ce type de projet n'est pas toujours assurée pour les exploitations agricoles.

Ces inconvénients sont aggravés par le manque de connaissances et de retours d'expériences agronomiques sur les effets de l'ombrage sur les productions horticoles. Par ailleurs, les exploitants manquent de conseils et d'accompagnement technique sur l'adaptation des itinéraires techniques de la part des développeurs.

2.3.4. Pratiques d'intérêt

Comme pour le maraîchage, l'implication de l'agriculteur le plus en amont possible sur le projet (dès les phases de conception) est une pratique à encourager. En effet, les retours d'expériences suggèrent que la prise en compte des besoins de l'agriculteur dans les étapes de conceptions (design de la serre, orientation, présence d'ouvrants, hauteurs, possibilités d'irrigation etc.) contribue largement à la réussite du projet agricole.

2.4. Arboriculture sous ombrière fixe ou serre photovoltaïque

2.4.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés

Le système décrit ici est celui d'une production arboricole sous des ombrières fixes photovoltaïques ou sous des serres photovoltaïques. Deux types de systèmes coexistent : de l'arboriculture sous serres multichapelles, ou sous des ombrières fixes sans parois verticales. Les dimensions de ces structures sont représentées dans les figures ci-dessous :

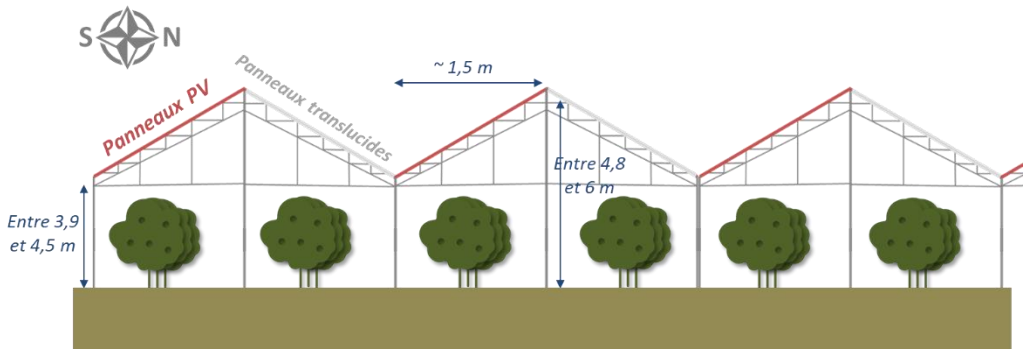


Figure 10: Schéma des dimensions des serres multichapelles avec arboriculture

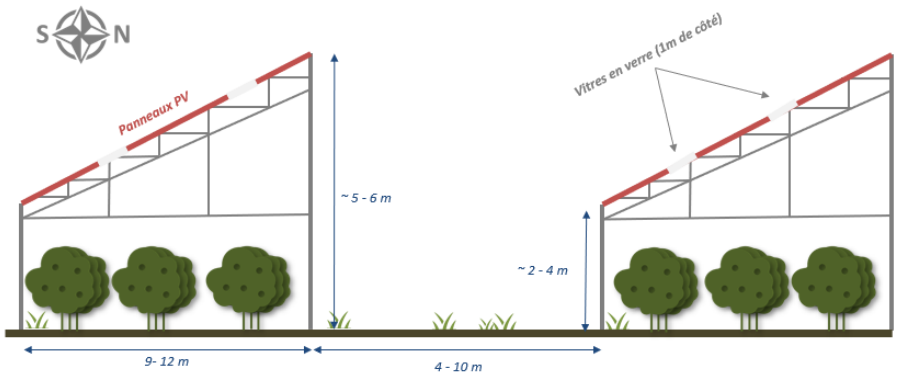


Figure 11: Schéma des dimensions des ombrières fixes avec arboriculture

Dans les projets rencontrés, l'agriculteur est souvent le propriétaire des terrains agricoles. Le développeur, qui est porteur du projet photovoltaïque, bénéficie d'un bail emphytéotique d'un montant très faible, ou d'une mise à disposition sans versement de loyer.

Dans un autre cas de figure, le propriétaire foncier est une tierce personne, à laquelle le développeur paye un loyer. L'exploitant bénéficie des terrains gratuitement.

2.4.2. Atouts

Dans le cas des serres, ces projets permettent à l'exploitant de bénéficier d'un matériel technique sans en supporter l'investissement, avec des coûts limités. De plus, ces structures photovoltaïques procurent une protection contre divers aléas, comme les épisodes de sécheresse, les épisodes de grêle ou de gel. Elles permettent ainsi une certaine adaptation au changement climatique. Elles peuvent également limiter certaines maladies liées à la présence d'eau. Dans certains cas, les projets permettent aussi d'augmenter la surface exploitée.

L'ensemble de ces atouts se concrétise par une bonne rentabilité économique pour l'exploitant agricole dans les retours d'expérience collectés.

2.4.4. Faiblesses et menaces

L'ombrage procuré par les structures photovoltaïques peut aussi avoir des effets néfastes sur la production agricole, avec des baisses de rendement ou des décalages des dates de récolte. De plus, la production sous panneaux photovoltaïque n'est pas adaptée à toute production arboricole et l'adaptabilité de ce type de structure aux diverses espèces et variétés reste donc limitée.

2.4.5. Pratiques d'intérêt

Le choix des cultures est déterminant sur la performance agronomique. Une réflexion en amont sur le projet agricole et les débouchés envisagés est essentielle. Par ailleurs, l'utilisation de tôles diffusantes peut permettre de mieux répartir la lumière sous la structure et ainsi limiter l'hétérogénéité de rendement ou de qualité sur la parcelle.

2.5. Productions végétales de plein champs sous ombrières mobiles (viticulture, arboriculture ou maraîchage)

2.5.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés

Les systèmes d'ombrières mobiles permettent de moduler l'ombrage sur les plantes grâce à un pilotage des panneaux photovoltaïques. Ces technologies permettent, soit de jouer sur l'orientation des panneaux sur 1 ou 2 axes (2D ou 3D), soit de jouer sur la surface déployée des panneaux grâce à un système coulissant.

Cela permet, en fonction des objectifs du projet :

- De fournir de l'ombre aux plantes, notamment pour réduire l'évapotranspiration, ou de laisser passer la lumière ou la pluie vers les plantes (certains systèmes sur 1 ou 2 axes permettent aux modules de s'« effacer » en étant positionnés parallèlement aux rayons du soleil ou à la pluie, laissant entre 10 à 30% d'ombrage résiduel selon les technologies : panneaux, structure, moteurs, etc.),
- De fournir une protection physique aux plantes permettant une adaptation aux conditions climatiques,
- D'optimiser la production solaire voire, de suivre le soleil (*solar tracking*).

Les ombrières mobiles, parfois aussi appelées « persiennes » ou « ombrières dynamiques » par les développeurs, sont encore peu déployées en France (et dans le monde) d'un point de vue commercial. Les projets existants sur le territoire national concernent principalement des sites d'expérimentations, non raccordés au réseau, ou des démonstrateurs de petite taille.

Figure 12: Photos de projets avec ombrières mobiles (technologies de gauche à droite : SUNAGRI, OMBREA, REMTEC).

Les modèles d'affaires avancés par les développeurs et/ou concepteurs de systèmes pour leurs projets à venir fonctionnent sur la base de montages tripartites : l'agriculteur exploite la parcelle agricole, une société de service assure le service agronomique lié au pilotage des panneaux et un producteur d'énergie exploite la centrale électriquement. Dans les faits, ces systèmes étant encore au stade de la démonstration, les développeurs et/ou concepteurs de systèmes assurent généralement, à ce stade, les rôles de développement du projet, pilotage des panneaux et production d'électricité.

Un bail emphytéotique sur 30 ans, voire 35 ans, est conclu entre le développeur/concepteur de système et le propriétaire foncier, qui est généralement aussi l'exploitant. L'exploitant ne perçoit pas de rémunération mais profite d'un service agronomique apporté par les ombrières mobiles : l'adaptation du

positionnement des modules en fonction des conditions pédoclimatiques et des stades de développement des cultures sous-jacentes.

La société de service, assurant le pilotage des modules, peut détenir la propriété intellectuelle du dispositif (brevet(s)). Elle vend la technologie à un développeur (en tant que fabricant/concepteur de la structure) et une prestation de pilotage et d'accompagnement agronomique à l'exploitant agricole, en s'appuyant sur un jeu de capteurs permettant de suivre les données climatiques. Pour ces projets, il est à noter que des organismes indépendants sont systématiquement associés pour le suivi de la partie agronomique.

2.5.2. Atouts

Ces systèmes ont été conçus et développés pour apporter un service agronomique à l'agriculteur : le caractère dynamique du pilotage permet de répondre à des besoins spécifiques des cultures selon leurs stades phénologiques. De plus, les panneaux offrent une protection contre les aléas dans un contexte de changement climatique, permettant une meilleure régularité de la production. Enfin, le taux de couverture est relativement faible et l'ombrage peut être effacé (en fonction du pilotage des panneaux).

2.5.3. Faiblesses et menaces

Le coût de production de l'énergie (LCOE) de ces systèmes est actuellement relativement élevé par rapport aux autres systèmes. Par ailleurs, si le pilotage des panneaux n'est pas encadré et contrôlé, il existe un risque de dérive de ce pilotage vers du suivi solaire, qui favoriserait alors la production énergétique au détriment de la production agricole.

Pour la vigne, des difficultés de mécanisation peuvent être rencontrées au droit des poteaux. Il y a également un risque d'incompatibilité entre les traitements phytosanitaires et la structure photovoltaïque (recouvrement physique des argiles, du soufre/cuivre, érosion).

En outre, les algorithmes de pilotage de ces systèmes sont toujours en cours de recherche et les retours agronomiques généralisables sont encore assez limités (les retours disponibles concernent principalement les années 2019 et 2020, avec des étés secs et chauds).

2.5.4. Pratiques d'intérêt

Les supports de la structure photovoltaïque peuvent être mutualisés comme support d'outils agricoles comme pour les filets paragrêles et anti-insectes, mutualisant ainsi également les investissements.

Les nombreux suivis agronomiques prévus et réalisés par des organismes indépendants permettent de contrôler les résultats agronomiques de ces systèmes et devraient permettre d'adapter, le cas échéant, le pilotage des panneaux.

Enfin, il est important d'assurer une gouvernance équilibrée entre les différents acteurs du projet, tenant compte du besoin d'avoir un acteur neutre pour le pilotage des modules afin de toujours favoriser la production agricole et du besoin d'impliquer l'exploitant et le producteur d'électricité dans la réussite du projet.

2.7. Elevage ovin sous centrale photovoltaïque

2.7.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés

Ce système correspond à l'adaptation d'une « centrale au sol standard » permettant la valorisation des surfaces herbacées par un cheptel ovin (en conduite laitière ou allaitante). Ce type de système PV, existant depuis les années 2010, est aujourd'hui le plus représenté en France en termes d'occupation des surfaces considérées comme agricoles.

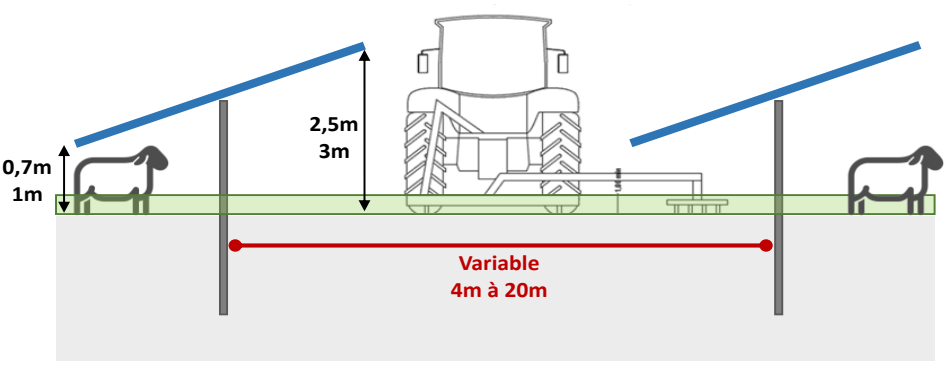


Figure 13: Schéma des dimensions des centrales au sol sur élevage ovin

Concernant le modèle d'affaire classique, le développeur finance en intégralité la construction du parc et contractualise un bail emphytéotique de 25 ans avec le propriétaire foncier, à qui il verse un loyer. Une convention de 3 à 9 ans est généralement signée avec l'exploitant, qui peut toucher une rémunération.

2.7.2. Atouts

Ces systèmes présentent plusieurs avantages sur le plan économique. En plus d'apporter des revenus complémentaires au propriétaire foncier et potentiellement à l'exploitant, ces projets peuvent soutenir certains investissements productifs ou permettre la valorisation de foncier agricole contraignant (absence de réseau d'irrigation, ou tendance à l'enfrichement). Ces projets participent également à la pérennisation de filières en difficulté (exploitations avec les revenus parmi les plus bas en France).

Sur le plan agronomique, les panneaux photovoltaïques peuvent apporter une protection de la prairie contre les aléas climatiques, comme les sécheresses ou le gel, et améliorer sa précocité.

Ces projets apportent également des zones d'ombrages pour les animaux et pourraient, en conséquence, potentiellement contribuer à l'amélioration du bien-être animal (bien que la qualité de l'ombrage reste à caractériser/comparer par rapport à un ombrage naturel) mais les retours d'expérience ne mettent pas encore en évidence de façon appuyée cette influence.

2.7.3. Faiblesses et menaces

Au niveau agronomique, le principal inconvénient concerne l'ombrage qui pénalise la pousse de l'herbe, hors période de sécheresse. Le manque de connaissances sur les effets de cet ombrage sur le cycle de l'herbe, et de fait, le manque de suivis agronomiques et de soutiens techniques de la part des développeurs, ne permet pas d'aider l'exploitant agricole à adapter ses pratiques : il n'a parfois aucune garantie pour assurer le maintien de son activité d'élevage sur la parcelle concernée.

D'autre part, les besoins de l'agriculteur ne sont pas toujours pris en compte lors de la conception et de l'installation des structures, ce qui peut gêner les itinéraires techniques de l'agriculteur et la mécanisation de ses pratiques. L'adaptabilité du système est limitée et des mesures correctives, après installation du système, sont difficiles, voire impossibles. Enfin, la fin de vie du système reste souvent non anticipée, pouvant ainsi poser problème une fois la durée du contrat révolu.

De plus, ces systèmes souffrent d'une mauvaise réputation, principalement en raison d'un amalgame avec des centrales éco-pâturées où l'élevage n'est présent que pour apporter un service d'entretien de la

centrale afin de pérenniser leur production énergétique mais également en raison d'écueils observés dans certaines régions, notamment pour des centrales de grande dimension.

Sur le plan économique, il y a un risque d'appât du prix du bail et un risque de spéculation foncière sur ces parcelles (tendance à la rente des propriétaires-exploitants). A l'échelle des territoires, il y a un risque de concurrence économique avec d'autres élevages (bovins notamment), moins adaptés à ces systèmes, qui pourrait amener des modifications des dynamiques de filières agricoles.

2.7.4. Pratiques d'intérêt

Certaines pratiques permettent de limiter les risques, notamment en amont des projets. Par exemple, un travail en phase de conception entre le développeur et l'exploitant, en concertation avec des acteurs locaux, compétents et spécialisés de la filière, semble indispensable pour accompagner les éleveurs afin de construire un projet d'élevage performant sur le long terme : participation aux dynamiques territoriales, alimentation de proximité, systèmes de polyculture-élevage plus résilients, ancrage de l'emploi agricole… Les réflexions menées en amont sur les circuits de commercialisation disponibles et le partage des retours d'expérience permettent aussi de favoriser la réussite des projets agricoles.

Au vu de la méconnaissance des effets de l'ombrage sur le cycle de l'herbe et sur le bien-être animal, des suivis agronomiques et zootechniques semblent indispensables sur ces projets.

Enfin, la limitation de la densité de panneaux peut être un compromis permettant de répondre aux besoins des deux types de production.

2.8. Elevage sous ombrière ou serre photovoltaïque

2.8.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés

Le système consiste en une production animale sous ombrière photovoltaïque fixe ou sous serre PV, surélevés d'au-moins 2m. Parmi les entretiens réalisés, deux types d'élevage ont été analysés : des poules pondeuses sous ombrières et une installation encore au stade de projet, d'élevage porcin sous serre multichapelle. Dans l'ensemble des cas rencontrés, les structures photovoltaïques sont aménagées en bâtiment d'élevage. Les panneaux PV, quant à eux, sont orientés au sud.

Les dimensions des ombrières monopentes d'élevage de poules pondeuses sont représentées ci-dessous :

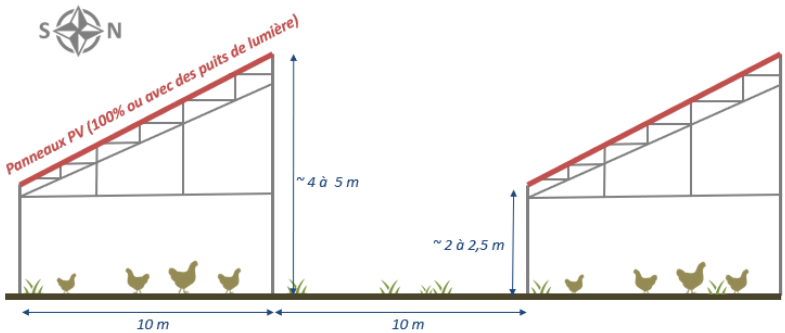


Figure 14: Schéma des dimensions des ombrières monopentes avec des élevages avicoles

Dans ces installations, la face recouverte de panneaux photovoltaïques peut contenir des puits de lumière. Dans les cas rencontrés, les ombrières n'ont pas de parois latérales en verre. En revanche, des filets brise vents peuvent être installés autour de l'ombrière servant de poulailler principal. Ces filets peuvent être retirés ou installés en fonction des besoins de l'agriculteur pour orienter les animaux vers une partie ou l'autre de son terrain.

Dans le cas des élevages avicoles, une des ombrières est aménagée en poulailler, tandis que les autres servent de protection sur les parcours. Le poulailler est localisé au milieu du terrain, comme représenté dans le schéma ci-dessous :

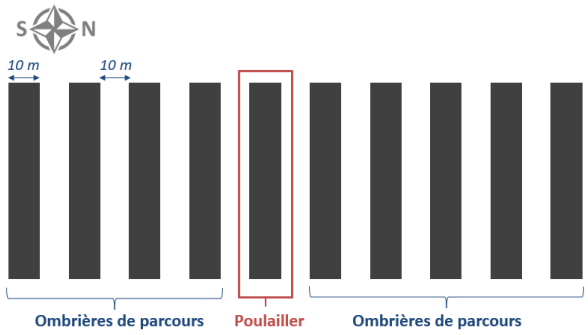


Figure 15: Vue du dessus d'un parcours avicole

Un projet d'élevage porcin sous serre multichapelle a également été interrogé. Les dimensions de la structure sont représentées ci-dessous :

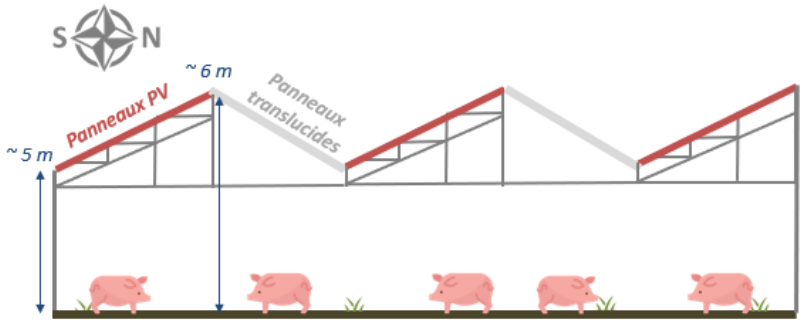


Figure 16: Schéma des dimensions des serres multichapelles avec élevage porcin

Trois modèles d'affaires ont été rencontrés pour ces types de système :

- L'exploitant est propriétaire foncier et permet au développeur de produire de l'énergie photovoltaïque sans payer de loyer, en contrepartie des investissements dans la structure.
- Le développeur est propriétaire foncier. L'exploitant bénéficie du terrain, qui lui est mis à disposition sans payer de loyer.
- Le propriétaire foncier est une tierce personne. Le développeur paye un loyer au propriétaire en plus de laisser l'exploitant agricole utiliser la structure sans contrepartie financière.

Dans tous les cas, des baux emphytéotiques de longue durée sont contractualisés entre le propriétaire et le locataire (au moins 20 ans).

2.8.2. Atouts

Le principal intérêt de ces systèmes est qu'ils permettent l'apport d'un matériel technique sans en faire supporter l'investissement aux agriculteurs, avec des coûts limités. Les élevages n'étant pas directement dépendant de la photosynthèse (avec une mobilité possible des animaux), il n'y a pas de tension majeure sur le partage de la lumière avec la production photovoltaïque. En outre, les structures photovoltaïques peuvent être adaptées à différents types de production.

2.8.4. Faiblesses et menaces

Les bénéfices sont liés à l'apport d'une structure qui pourrait être déployée, techniquement, sans panneaux photovoltaïques. La qualité de l'ombrage pour les animaux reste à caractériser/comparer par rapport à un ombrage naturel. L'installation de telles structures (en trop grand nombre ou densité), notamment sur les zones de parcours, peuvent remettre en cause certains débouchés (sous SIQO) pour les productions agricoles. Ainsi, certaines exploitations rencontrées ne respectent pas les recommandations du SYNALAF (cf livrable « Etat de l'art bibliographique ») concernant les parcours de volaille de chair Label Rouge, IGP et biologiques et pourraient ne plus être éligibles à l'avenir.

Aussi, l'installation des structures peut avoir un impact potentiellement fort sur le parcellaire de l'exploitation : il apparaît ainsi nécessaire de bien penser en amont les évolutions potentielles de l'exploitation (alimentation animale, parcours).

2.8.5. Pratiques d'intérêt

Certains retours d'expérience ont montré une prise en compte des besoins des agriculteurs dans la conception et la modulation des structures photovoltaïques, notamment sur le calepinage des structures (hauteurs et positionnement des panneaux). D'autre part, les ombrières photovoltaïques peuvent aussi être adaptées pour le travail avec des engins agricoles. Dans certains cas, les projets photovoltaïques permettent de valoriser des zones qui étaient auparavant considérées comme des friches.

2.9. Trackers photovoltaïques en autoconsommation

2.9.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés

Le système décrit ici est celui d'une structure « tracker », dont la surface photovoltaïque suit constamment la course du soleil, implantée sur du foncier agricole et dont l'électricité produite est majoritairement autoconsommée.

Deux grands types d'installations existent pour ce système :

- Le plus courant concerne des trackers implantés sur des parcours d'élevage de plein air (élevages avicoles ou bovins majoritairement) ou dans certains cas, sur des exploitations de polyculture-élevage où la rotation inclue une période de culture sous les trackers. Généralement, 8 à 10 trackers sont installés par hectare. Ce type de système est rencontré dans de nombreuses exploitations (plusieurs centaines).

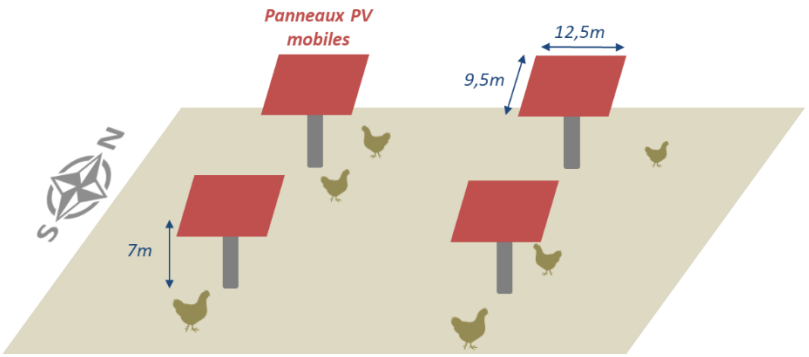


Figure 17: Schéma des dimensions des trackers sur parcours de volailles

- Un autre type d'installation concerne des trackers placés sur des parcelles cultivées en grandes cultures, comme sur le schéma ci-dessous. Le dimensionnement des trackers et leur espacement permet un passage des engins agricoles entre chaque rangée. La densité des trackers est plus importante : environ 30 trackers par hectare. Ce système est actuellement encore peu développé : il n'est implanté que sur quelques parcelles.

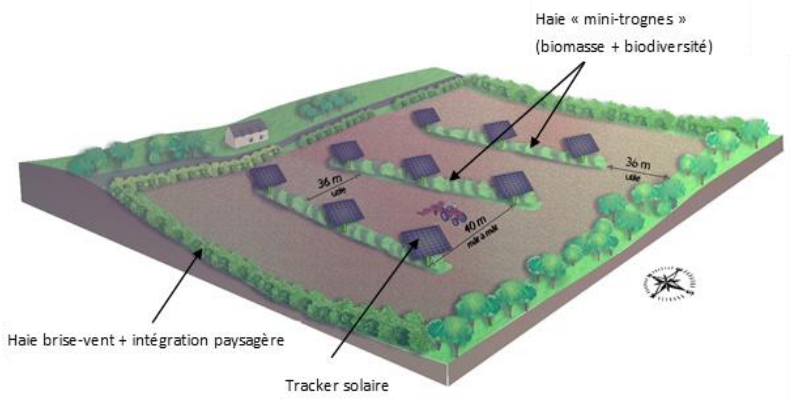


Figure 18: Schéma des trackers sur cultures (Crédits : OKwind)

Dans le modèle d'affaire le plus fréquent pour des trackers sur élevage, l'exploitant agricole investit dans l'installation des trackers sur ses parcelles et il consomme la majorité de l'énergie produite, de 90 à 95% de l'électricité produite, pour des usages divers (chauffage des bâtiments d'élevage, blocs de traite, ventilation etc.). Le surplus est injecté sur le réseau et vendu au prix de marché. Cette autoconsommation couvre généralement de 30% à 40% des besoins énergétiques de l'exploitation.

Dans le cas des installations sur cultures, l'exploitant agricole investit dans les trackers dans une optique de revente de l'électricité produite au prix de marché. Le développeur peut également co-investir avec l'exploitant agricole et participer au capital (en restant minoritaire), mais ce modèle d'affaire n'en est qu'au stade de projet actuellement.

2.9.2. Atouts

Comme pour les toitures photovoltaïques en autoconsommation, ces projets permettent de réduire certains coûts d'exploitation, voire de générer des revenus complémentaires. Ils apportent ainsi une certaine autonomie énergétique à l'exploitation (indépendance vis-à-vis du prix de l'énergie).

D'autre part, les trackers apportent un ombrage immédiat pour les animaux, améliorant ainsi potentiellement le bien-être animal. La qualité de l'ombrage sous un tracker reste cependant à caractériser/comparer par rapport à un ombrage naturel.

Enfin, ces installations n'ont, a priori, que peu d'effet négatif sur la production agricole pour la densité de trackers actuellement observée.

2.9.3. Faiblesses et menaces

Ces systèmes sont majoritairement dédiés à la production électrique, avec un suivi constant de la course du soleil. Pour les grandes cultures, l'ombrage peut avoir un impact sur la production agricole, notamment si la densité de trackers est importante.

Par ailleurs, la présence de trackers limite la surface agricole utile et nécessite des attentions particulières lors du passage des engins agricoles. De plus, les trackers reposent sur des fondations en béton limitant la réversibilité du système pour le sol.

Ces projets ont un impact paysager du fait de la hauteur et des dimensions des trackers : il y a un risque de mitage si de nombreux agriculteurs installent ces trackers.

2.11. Protection photovoltaïque aquacole

2.11.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés

Ce système regroupe trois grandes catégories de structures PV pour différents types de production aquacoles (pisciculture et conchyliculture) : des ombrières fixes (surélevées de plusieurs mètres au-dessus des bassins), des centrales fixes ou flottantes (où les panneaux se situent juste au-dessus du plan d'eau) et des structures spécifiques. Ces différentes structures sont représentées dans les figures ci-dessous.

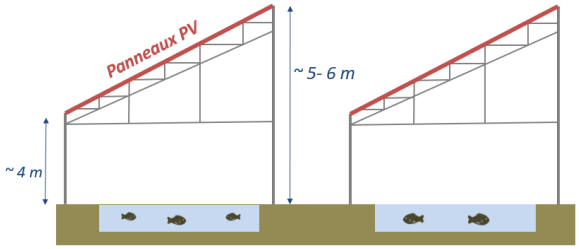


Figure 19: Schéma d'ombrières sur bassins piscicoles

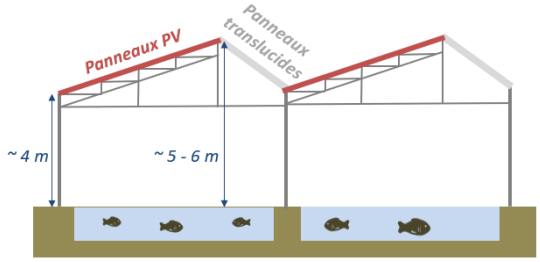


Figure 20: Schéma d'ombrières sur bassins piscicoles, reliés entre eux par des panneaux en verre translucide

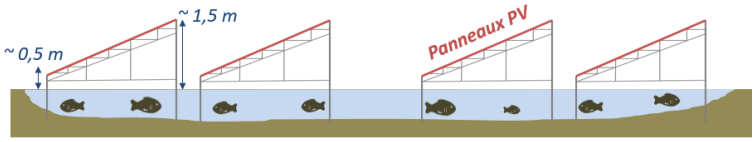


Figure 21: Schéma d'une centrale photovoltaïque avec des pieux fixes au fond d'un plan d'eau naturel (Asie)

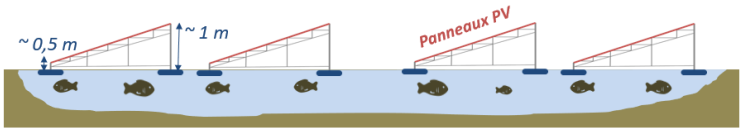


Figure 22: Schéma d'une centrale photovoltaïque sur plan d'eau naturel, avec des pieux munis de flotteurs ancrés par des chaines

En conchyliculture, les installations rencontrées sont des panneaux photovoltaïques installés sur des tables conchylicoles, fixés avec des pieux fixes au fond de plans d'eau naturels. L'électricité produite par les panneaux permet d'actionner les cordes sur lesquelles sont situés les coquillages, et ainsi d'exonder les coquilles de façon régulière, ce qui reproduit le mouvement des marées. Ce système, rencontré dans quelques installations en France, est représenté dans le schéma ci-dessous.

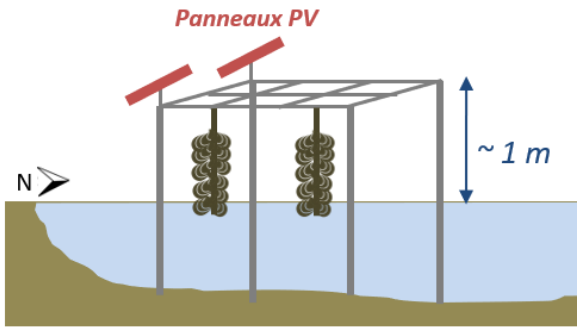


Figure 23: Schéma des tables conchylicoles avec panneaux PV

En ce qui concerne les modèles d'affaires rencontrés, ils diffèrent selon la production aquacole considérée.

- Pour les systèmes sur bassins piscicoles, le développeur assure généralement l'installation des structures photovoltaïques et contractualise un bail emphytéotique avec le pisciculteur à qui il verse un loyer. Dans un des cas rencontrés, le pisciculteur est propriétaire d'une partie de l'installation PV : il vend donc lui-même l'électricité produite (par le biais d'une autre société) et récupère ainsi une partie des revenus de la vente de l'électricité produite. Ces projets reposent sur des engagements à long terme concrétisés par des baux de 20 à 30 ans. Au terme de ce bail, les structures photovoltaïques sont rétrocédées à l'exploitant agricole, qui peut choisir de les conserver ou bien de les faire démanteler par le développeur.
- En ce qui concerne les projets conchylicoles, le modèle d'affaires principal semble faire intervenir différents acteurs : un développeur photovoltaïque, une collectivité territoriale (syndicat mixte) et de nombreux exploitants conchylicoles (jusqu'à 800 dans certains cas), regroupés au sein d'une structure (syndicat mixte). Les exploitants sont généralement propriétaires de leurs tables conchylicoles. Ils acceptent de couvrir leurs tables de panneaux photovoltaïques en échange d'une automatisation de ces tables, d'une autoconsommation énergétique et, pour la majorité, d'un renouvellement des tables (parfois fortement corrodées par l'eau de mer).

2.11.2. Atouts

L'ombrage fourni par les panneaux photovoltaïques ne gêne pas la production aquacole, voire est propice à celle-ci. Ainsi, les ombrières sur bassins aquacoles peuvent améliorer les rendements et/ou la qualité des productions, en pisciculture comme en conchyliculture.

En pisciculture, elles offrent une protection contre plusieurs aléas : la prédation par les oiseaux et les pics de chaleurs. Elles permettent ainsi un rafraîchissement de la température des bassins et une certaine stabilité de cette température : par conséquent, elles apportent une certaine adaptation au changement climatique. Dans les retours d'expérience collectés, une amélioration significative des rendements a été observée.

Dans le cas des tables conchylicoles, les panneaux pourraient potentiellement limiter la prolifération de malaïgue lors des pics de chaleurs.

Sur le plan économique, ces systèmes sont bénéfiques aux exploitants qui perçoivent des avantages financiers (loyer, vente d'électricité) ou des avantages en nature avec, par exemple, un renouvellement et/automatisation des tables conchylicoles. Aussi, ces systèmes peuvent pérenniser les exploitations via une diversification des revenus ou l'apport d'une autonomie énergétique des outils d'exploitations (tables conchylicoles).

D'autre part, ces installations présentent également peu d'inconvénients techniques : les ombrières semblent peu impactantes sur les pratiques agricoles et elles ne consomment que très peu de surface utile.

2.11.3. Faiblesses et menaces

Ces projets nécessitent des investissements relativement élevés et impliquent des contraintes techniques pendant la phase de construction : la production sous-jacente est largement impactée l'année des travaux et, dans une moindre mesure, l'année suivante. Par ailleurs, le gisement de surface disponible en France est relativement restreint pour les installations piscicoles, en comparaison aux autres systèmes étudiés.

2.11.4. Pratiques d'intérêt

Les retours d'expériences mentionnent une bonne adaptation des projets aux besoins des aquaculteurs (notamment pour le phasage des travaux pour limiter l'impact sur la production). D'autre part, le développement de ces projets peut être lié à un projet de territoire mobilisant de nombreux acteurs (collectivités, agriculteurs, associations environnementales, développeurs…).

2.13. Agriculture et panneaux verticaux bifaciaux

2.13.1. Description du système et modèles d'affaires rencontrés

Ce système, non encore développé en France, implique le montage vertical de panneaux photovoltaïques bifaces, essentiellement sur des prairies pour de la production de fourrages de graminées, sinon, de façon plus rare, pour de grandes cultures ou de l'aviculture. Le mode de pose permet de minimiser l'emprise et le taux de couverture des sols, laissant un espace important entre les rangées pour l'agriculture (plus de 90% de la surface au sol reste exploitable pour l'agriculture).

L'orientation est-ouest des modules photovoltaïques (donc alignés sur un axe nord-sud) est caractéristique de ce système afin d'obtenir une production d'électricité maximale le matin et le soir, soit une production maximale aux moments où les besoins du réseau électrique sont élevés et donc, où le prix de l'électricité pourrait être le plus intéressant dans le cadre d'une vente sur les marchés de l'électricité.

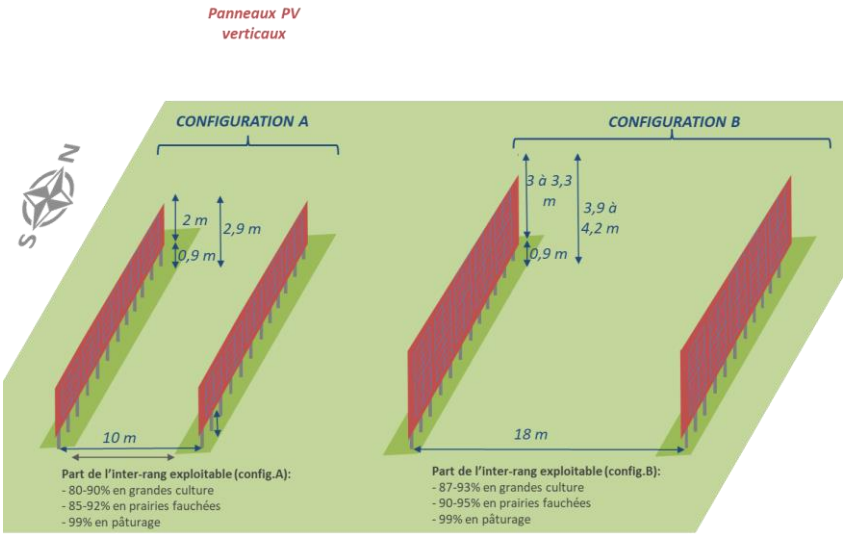


Figure 24: Schéma et dimensions des panneaux PV verticaux bifaciaux

Sur les six installations existantes recensées, quatre installations concernent la production de fourrages de graminées sur des prairies, une installation concerne les grandes cultures et la dernière concerne l'aviculture. Seules 2 installations, situées en Allemagne, ont une taille importante (2 et 4 MWc) tandis que les autres sites concernent des puissances installées de quelques dizaines de kWc.

Les premiers éléments recueillis pour les projets en cours d'étude en France montrent un montage assez similaire aux projets développés en Allemagne, Autriche et Irlande. Le développeur investit dans le projet agrivoltaïque et paye un loyer au propriétaire foncier. D'autre part, un prêt à usage est conclu entre le développeur et l'exploitant agricole. En contrepartie, l'exploitant agricole ne serait plus soumis au versement du fermage. Les premiers parcs mis en service en Europe feraient l'objet d'un suivi agronomique systématique, en partenariat avec des instituts techniques.

2.13.2. Atouts

En comparaison avec les autres structures photovoltaïques sur terrains agricoles, ce système a une emprise au sol très limitée et permet une répartition relativement homogène de la lumière sur la parcelle (pas d'alternance). De plus, les structures et leur raccordement électrique gênent peu les activités agricoles (machines et/ou pâturage). En outre, ils peuvent apporter un effet « brise-vent » intéressant, selon l'orientation des vents dominants. Enfin, le profil de production électrique peut être en adéquation avec les besoins d'une exploitation, notamment pour les élevages laitiers dans l'hypothèse de systèmes visant l'autoconsommation.

2.13.4. Faiblesses et menaces

Ces systèmes se heurtent à quelques verrous, comme l'impossibilité de cultiver des cultures de hauteur supérieure à 90cm (comme le maïs) pour ne pas venir ombrager les panneaux photovoltaïques, ou comme la difficulté d'épandage des effluents organiques. Par conséquent, ces projets pourraient encourager les éleveurs à remplacer de la fumure organique par de la fumure minérale. D'autre part, l'orientation Nord-Sud des rangées n'est pas forcément adaptée au sens de travail le plus optimal d'un point de vue agronomique (gestion de l'érosion, par exemple).

D'un point de vue économique, l'investissement est relativement élevé par rapport aux autres systèmes.

Enfin, ces projets peuvent présenter une menace sur le plan paysager du fait de la longueur des rangées de panneaux et un risque de mitage du territoire si de nombreux agriculteurs installent ce système.

2.13.5. Pratiques d'intérêt

Ces systèmes pourraient potentiellement améliorer les rendements prairiaux mais les retours agronomiques sont encore manquants pour s'en assurer. Ils peuvent également jouer un rôle de clôture, tant pour les ruminants (dont l'adéquation avec le système est encore à confirmer du fait de la dégradation possible des panneaux et des câbles) que pour les volailles (avec un ajout de grillage en partie basse).

Enfin, il apparaît indispensable de calibrer, en amont du projet, les espaces nécessaires pour les travaux agricoles (espacements adaptés, présence d'une zone suffisante pour faire demi-tour avec des engins agricoles en bout de champ etc.).

CONCLUSIONS

Les systèmes photovoltaïques sur terrains agricoles sont une solution potentielle pour concilier les enjeux associés aux filières photovoltaïques et agricoles. Toutefois cette conciliation implique des équilibres et compromis délicats à trouver entre la production agricole et la production d'énergie photovoltaïque.

Cette étude, qui cherche à mieux caractériser les projets photovoltaïques sur terrains agricoles et l'agrivoltaïsme, est la première réalisée à l'échelle nationale sur le sujet.

Le présent rapport permet de compiler les connaissances techniques et scientifiques relatives à dix systèmes photovoltaïques, basées sur un état de l'art bibliographique (phase 1 de l'étude) et une collecte de retours d'expériences (phase 2 de l'étude). Ainsi, au-delà de la vision synthétique présentée dans le rapport, le lecteur pourra utilement se référer aux fiches techniques récapitulatives de ces dix systèmes photovoltaïques, en annexe du document. Un travail de synthèse et de formalisation des atouts, faiblesses, opportunités et menaces de chaque couple installation photovoltaïque – production agricole y a été réalisé.

Toutefois, il est à noter que certaines informations ont été collectées sur un nombre parfois faible d'exploitations agricoles pour un système donné, dépendant de la représentativité du système au niveau national et dans l'échantillon enquêté. Ainsi, les informations retranscrites doivent être utilisées avec un certain recul.

Il convient également de rappeler que l'application du photovoltaïque dans le secteur agricole demeure un marché relativement récent : les connaissances des incidences de ces projets sur l'agriculture sont aujourd'hui encore lacunaires et variables selon les types de projets et le sujet reste très complexe.

Quoi qu'il en soit, ces retours d'expérience et leur analyse restent précieux : ils ont ainsi permis d'identifier des critères de caractérisation et des points d'attention des projets photovoltaïques sur terrains agricoles, nécessaire pour alimenter la suite de l'étude.

INDEX DES ILLUSTRATIONS

Figure 3: Répartition géographique des exploitations existantes enquêtées (non représentées : 3 enquêtes en Allemagne) 11
Figure 4: Répartition des systèmes enquêtés 11
Figure 5: Schéma de bâtiments d'élevage dont la température est réguléepar l'énergie produite par des panneaux photovoltaïques 12
Figure 6: Schéma de fonctionnement d'un séchage en granges avec panneaux solaires thermiques (Crédits : Cogen'Air – Base innovation) 12
Figure 7: Schéma des dimensions des serres multichapelles avec productions maraichères 13
Figure 8: Schéma des dimensions des serres monopentes avec productions maraichères 13
Figure 9: Schéma des dimensions des serres multichapelles avec productions horticoles 15
Figure 10: Schéma des dimensions des serres multichapelles avec arboriculture 16
Figure 11: Schéma des dimensions des ombrières fixes avec arboriculture 16
Figure 12: Photos de projets avec ombrières mobiles (technologies de gauche à droite : SUNAGRI, OMBREA, REMTEC). 17
Figure 13: Schéma des dimensions des centrales au sol sur élevage ovin 19
Figure 14: Schéma des dimensions des ombrières monopentes avec des élevages avicoles 20
Figure 15: Vue du dessus d'un parcours avicole 21
Figure 16: Schéma des dimensions des serres multichapelles avec élevage porcin 21
Figure 17: Schéma des dimensions des trackers sur parcours de volailles 22
Figure 18: Schéma des trackers sur cultures (Crédits : OKwind) 23
Figure 19: Schéma d'ombrières sur bassins piscicoles 24
Figure 20: Schéma d'ombrières sur bassins piscicoles, reliés entre eux par des panneaux en verre translucide 24
Figure 21: Schéma d'une centrale photovoltaïque avec des pieux fixes au fond d'un plan d'eau naturel (Asie) 24
Figure 22: Schéma d'une centrale photovoltaïque sur plan d'eau naturel, avec des pieux munis de flotteurs ancrés par des chaines 24
Figure 23: Schéma des tables conchylicoles avec panneaux PV 24
Figure 24: Schéma et dimensions des panneaux PV verticaux bifaciaux 26

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AO CRE	Appels d'offres nationaux, opérés par la Commission de Régulation de l'Energie
CAA	Cour Administrative d'Appel
CAPEX	Capital Expenditure
CC	Carte Communale
CDPENAF	Commission Départementale de la Préservation des Espaces Naturels, Agricoles et Forestiers
CRE	Commission de Régulation de l'énergie
CTIFL	Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
DDT	Direction Départementale des territoires
DGEC	Direction Générale de l'Energie et du Climat
DTA	Directives Territoriales d'Aménagement
EPA	Etude préalable agricole
ETP	Equivalent Temps Plein
FNO	Fédération Nationale Ovine
GW	Gigawatt
ha	Hectare
IDELE	Institut de l'Elevage
INAO	Institut National de l'Origine et de la Qualité
INRAE	Institut National de Eecherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
kW	kilowatt
LCOE	Levelized Cost Of Energy
LER	Land Equivalent Ratio
Modules OPV	Modules photovoltaïques organiques
MTES	Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire
MW	Mégawatt
OPEX	Operational Expenditure
PCAET	Plan Climat-Air-Energie Territorial
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PNR	Parc Naturel Régionaux
POS	Plan d'Occupation des Sols
PPA	Power Purchase Agreement
PPE	Programmation Pluriannuelle de l'Energie
PV	Photovoltaïque
SCOT	Schéma de Cohérence Territoriale
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SIQO	Signes Officiels de la Qualité et de l'Origine
SRADDET	Schémas Régionaux d'Aménagement de Développement Durable et d'Egalité des Territoires
SPE	Solar Power Europe
SYNALAF	Syndicat National des Labels Avicoles de France
ZAN	Zéro artificialisation nette

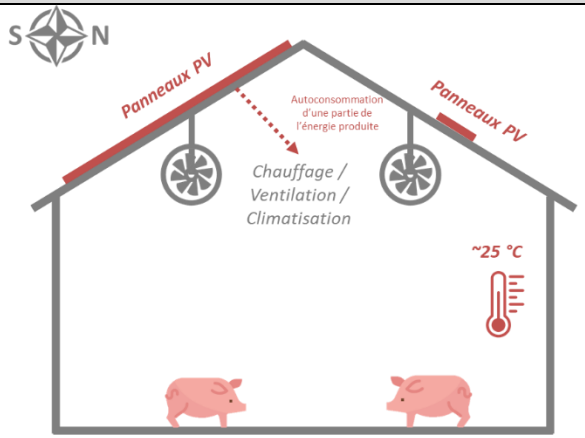
ANNEXES

FICHE 1 - TOITURES PHOTOVOLTAÏQUES EN AUTOCONSOMMATION... 31
FICHE 2 - MARAÎCHAGE SOUS SERRE PHOTOVOLTAÏQUE 39
FICHE 3 - HORTICULTURE SOUS SERRE PHOTOVOLTAÏQUE 57
FICHE 4 - ARBORICULTURE SOUS OMBRIERE FIXE OU SERRE PHOTOVOLTAÏQUE 64
FICHE 5 - PRODUCTION VEGETALE DE PLEIN CHAMPS SOUS OMBRIERES MOBILES..... 75
FICHE 6 - ELEVAGE OVIN SOUS CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE..... 89
FICHE 7 - ELEVAGE SOUS OMBRIERE OU SERRE PHOTOVOLTAÏQUE..... 105
FICHE 8 - TRACKERS PHOTOVOLTAÏQUES EN AUTOCONSOMMATION 114
FICHE 9 - PROTECTION PHOTOVOLTAÏQUE AQUACOLE..... 122
FICHE 10 -PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES VERTICAUX BIFACIAUX .. 132

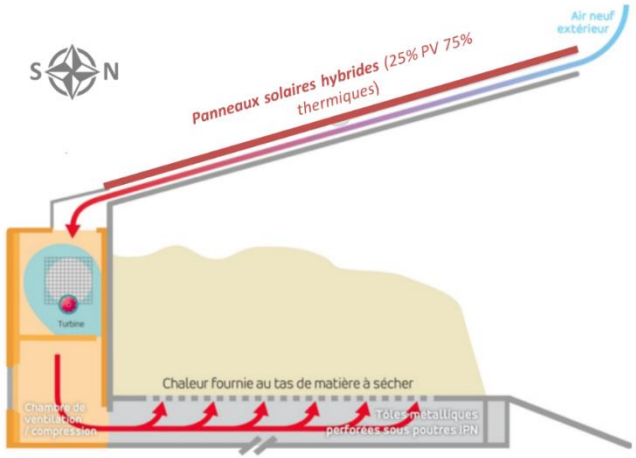
FICHE 1 - TOITURES PHOTOVOLTAÏQUES EN AUTOCONSOMMATION

Description du couple « système photovoltaïque – production agricole » : modèle technico-économique

Le système consiste en l'installation de panneaux photovoltaïques sur la toiture d'un ou plusieurs bâtiment(s) d'une exploitation agricole : la production électrique est tout ou partie autoconsommée. Les deux principaux types d'utilisation de panneaux photovoltaïques en autoconsommation sont présentés dans le tableau ci-dessous. Cependant, une multitude de type d'utilisation de l'énergie produite existe (chauffage des locaux, ventilation, éclairage, bloc traite…).

Type de production	Type d'énergie solaire	Type d'utilisation de l'énergie	Schéma de fonctionnement	Système fréquemment rencontré ?	Description
Elevage	PV	Pilotage de la T° du bâtiment d'élevage : ventilation, climatisation, chauffage		Système rencontré dans de nombreuses exploitations (plusieurs milliers[4])	Une partie de l'énergie produite par les panneaux PV est utilisée pour chauffer ou refroidir le bâtiment d'élevage. Les panneaux PV sont généralement orientés vers le sud.

[4] ADEME, I Care & Consult, Blézat consulting, CERFrance, Céréopa. 2017. Agriculture et énergies renouvelables : Etat de l'art et opportunités pour les exploitations agricoles. 70p.

Type de production	Type d'énergie solaire	Type d'utilisation de l'énergie	Schéma de fonctionnement	Système fréquemment rencontré ?	Description
	Hybride PV + thermique	Séchage du fourrage en grange	 Crédits : Cogen'Air – Base innovation	Système rencontré dans de nombreuses installations en France (plus de 1000)[5]	En complément de la production électrique par les panneaux PV, une récupération de chaleur (à l'arrière des panneaux) est effectuée et permet de contribuer, par exemple, au séchage du fourrage

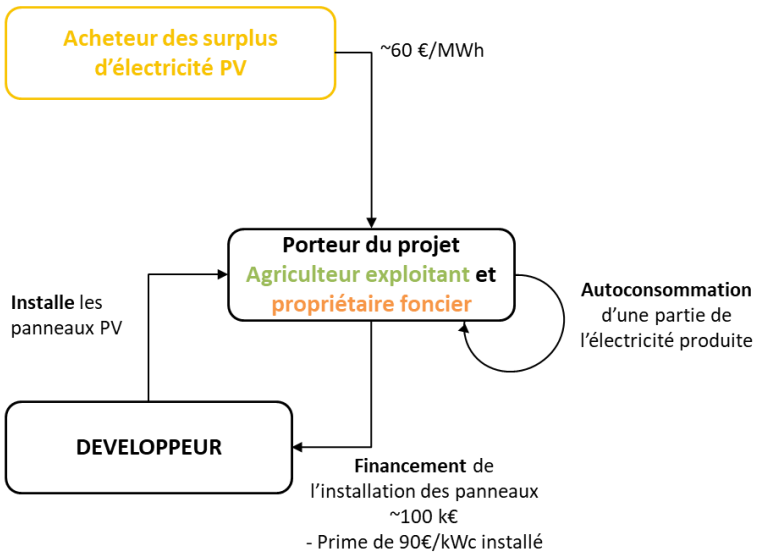
[5] https://solagro.org/nos-domaines-d-intervention/agroecologie/sechage-solaire-de-fourrages

Ces différentes installations ont les caractéristiques techniques suivantes :

Caractéristiques techniques et impact sur le foncier agricole	
Densité de puissance (MWc/ha)	Environ 2MWc/ha
Puissance moyenne des installations (MWc)	Très variable selon le taux de couverture de la toiture. La toiture PV est souvent dimensionnée de façon à atteindre une puissance de **0,1 MWc**, qui correspond à la puissance maximale pour bénéficier de certaines aides de l'Etat (prime à l'autoconsommation et tarif d'achat garanti)[6]
Surface moyenne des projets	Des surfaces très variables. Un dimensionnement standard pour atteindre une puissance de 0,1 MWc implique une surface de l'ordre de **500 m²**
Taux de couverture des panneaux photovoltaïques (surface de la parcelle couverte par les panneaux PV)	Très variable selon les exploitations : peut aller de 10% à 90% de la toiture
Type d'utilisation du sol	Pas de distinction d'usage entre les zones situées sous les panneaux et celles situées hors des panneaux
Utilisation du sol avant les projets	Dans le cas de bâtiments déjà existants et non construits spécifiquement pour le photovoltaïque, bâtiments d'élevage ou de séchage en grange

Acteurs impliqués et nature des implications

Dans le modèle d'affaire le plus fréquemment rencontré, l'exploitant agricole investit dans l'installation de panneaux photovoltaïques sur un de ses bâtiments (existant ou neuf). L'agriculteur consomme une partie de l'énergie solaire produite et vend le surplus (injection sur le réseau). L'autoconsommation couvre généralement entre 30% et 80% des besoins énergétiques de l'exploitation (variable selon le type d'exploitation).
Dans l'exemple ci-dessous, il est fait l'hypothèse que le porteur de projet bénéficie d'une prime à l'investissement et de l'obligation d'achat pour la vente du surplus d'électricité. Dans ces conditions, l'amortissement de l'investissement se fait sur une durée comprise entre 9 et 17 ans environ. Les panneaux sont généralement garantis 20 ou 25 ans. En fin de vie, l'exploitant est tenu de confier ses panneaux usagés à un organisme spécialisé dans le recyclage de ces panneaux (article 11 de l'arrêté du 09 mai 2017). Le financement du recyclage des panneaux est inclus dans une éco-participation (0,57€ par panneau) payée à l'installation des panneaux.



D'autres modèles d'affaires peuvent être rencontrés pour le photovoltaïque en toiture, mentionnés ci-dessous, mais ils n'envisagent généralement **aucune autoconsommation** par l'exploitation agricole : ils ne sont donc pas détaillés dans cette fiche.

- L'exploitant agricole investit dans l'installation de panneaux PV mais revend la totalité de l'électricité qu'il produit.
- L'exploitant agricole loue ses toits (via un bail emphytéotique de 30 ans) à un développeur qui gère la production photovoltaïque et prend en charge l'ensemble des investissements.
- Le développeur finance la construction d'un nouveau bâtiment agricole (avec toiture PV) plutôt que de payer un loyer conséquent.

[6] https://terresolaire.com/Blog/rentabilite-photovoltaique/prix-installation-photovoltaique-100-kw/

Impact du système agricole sur la production photovoltaïque

Dans le cas des panneaux hybrides photovoltaïques/thermiques, la récupération de chaleur via des échangeurs à l'arrière des panneaux photovoltaïques permet de les refroidir, ce qui améliore leur rendement électrique de 10% environ[7] [8].

En ce qui concerne les panneaux photovoltaïques classiques, installés sur des bâtiments d'élevage, aucun effet du système agricole sur la production photovoltaïque n'est identifié.
Il est toutefois à mentionner que les conditions d'installation en toiture de ces panneaux peuvent être très spécifiques : faible pente, rampant important, atmosphères intérieures spécifiques…

[7] Retour d'expérience d'un développeur
[8] Portier M., 2018, « J'ai optimisé mon séchage en grange avec le photovoltaïque », <reussir.fr/machinisme>

Impacts du PV sur le système agricole et bonnes pratiques identifiées

Etats initiaux et parcours de production

L'installation de panneaux photovoltaïques sur des bâtiments agricoles peut se faire à partir de deux états initiaux :

- Le plus fréquemment, les panneaux sont installés sur des bâtiments agricoles existants (à condition qu'ils respectent quelques conditions de faisabilité, comme une résistance mécanique suffisante de la charpente).
- Parfois, les panneaux sont installés sur un nouveau bâtiment agricole, conçu spécifiquement pour permettre l'autoconsommation d'une partie de l'énergie (en général ce sont des bâtiments d'élevage ou de stockage de fourrage).

Etats initiaux possibles	• Bâtiment existant sans photovoltaïque • Foncier non bâti

Etat de référence possible	• Bâtiment sans panneaux PV

Les élevages sont les exploitations les plus susceptibles de s'inscrire dans de tels projets en raison de leurs consommations énergétiques élevées et stables (chauffage, climatisation, ventilation des bâtiments d'élevage, voire bloc traite), et de toitures disponibles.

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de la parcelle

Les toitures photovoltaïques installées sur des bâtiments agricoles impactent très peu la production agricole. L'autoconsommation de l'énergie produite peut indirectement améliorer la performance de certains élevages en permettant d'optimiser certains paramètres coûteux en énergie (séchage du fourrage, T° du bâtiment d'élevage). L'usage du bâtiment et la production animale associée (dans le cas d'un bâtiment d'élevage) n'est pas modifié suite à l'installation de panneaux PV.

Incidences sur le système	Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Séchage du fourrage	Permet d'accélérer le séchage du fourrage (foin, soja, luzerne…) : mise en place d'un système de chauffage convectif	Effet possible sans PV, avec des panneaux solaires **thermiques** uniquement. L'autoconsommation de l'énergie PV favorise la faisabilité économique.		Les kWh d'air chaud récupérés sous les panneaux sont autant de kWh de gaz propane ou fioul économisés pour l'exploitation agricole et par suite autant de tonnes de CO_2 économisées.
T° du bâtiment d'élevage	Permet de couvrir les consommations énergétiques liées au maintien de la température du bâtiment d'élevage (chauffage et/ou ventilation/climatisation)	Effet possible sans PV, mais coûts en énergies importants. L'autoconsommation de l'énergie PV favorise la faisabilité économique.		La ventilation d'air chaud permet en hiver et d'air frais en été, permet d'assainir l'air en évacuant l'ammoniac issue des déjections animales et par suite améliore le bien-être animal et donc la production de viande.

Incidences du PV sur le système agricole : à l'échelle de l'exploitation agricole

A l'échelle de l'exploitation, ce type de projet permet avant tout d'améliorer la rentabilité économique de l'exploitation à long terme : réduction des dépenses en électricité (autoconsommation) et augmentation des revenus économiques supplémentaires (vente d'électricité). En particulier, l'installation PV peut couvrir une part importante de la consommation électrique des postes de chauffages/ventilation dans les bâtiments d'élevage ou la consommation électrique liée aux appareils de séchage.
Ce type d'installation, et notamment l'autoconsommation de tout ou partie de l'électricité produite, permet également de renforcer l'indépendance de l'exploitation par rapport aux fluctuations des prix de l'énergie.

Situation initiale	Bâtiment agricole sans panneaux PV ou terres agricoles
Situation finale	Bâtiment avec toiture PV en autoconsommation
Bilan économique	Réduction des coûts d'exploitations grâce à l'autoconsommation Revenus économiques supplémentaires grâce à la vente du surplus d'électricité photovoltaïque Retour sur investissement entre 9 et 17 ans
Débouchés agricoles	Aucun changement sur les débouchés agricoles
Aides PAC	Pas de modifications des aides PC préalablement touchées
Emplois agricoles	Aucun impact notable

Etude du bilan économique PV total

Hypothèses : installation de moins de 100kWc, éligibilité au tarif d'achat de l'arrêté tarifaire avec prime à l'investissement et vente du surplus, création d'une société pour porter le projet.

Investissement

Achat matériel, installation et raccordement	100 000€
Frais bancaires	Sur 15 ans à 2% avec 10 % d'apport (généralement entre 2 et 2,5%) soit 27 000€
Prime à l'investissement (Instaurée par l'arrêté tarifaire du 9 mai 2017)	-10 000 € (0,1 €/Wc)

Charges fonctionnelles

TURPE	300 €/an
Assurance	1 500 €
Contribution économique territoriale (CET)	450 €/an
Frais généraux (juridique AG, services, compta, administratif) + charges sociales	900 €
Maintenance	1 remplacement d'onduleur en moyenne tous les 10 ans – extension de garantie à 20 ans : 7 000 €

La rentabilité dépend largement de l'ensoleillement et donc de la localisation du projet. En France métropolitaine, la production d'une installation de 100 kWc peut varier entre 95 MWh/an et 140 MWh/an. Les calculs suivants ont été détaillés pour une installation basée vers Orléans, sur la base d'un ensoleillement modéré avec une production de 100 MWh/an.

Produits sur 20 ans

	Autoconsommation 90%	Autoconsommation 40%
Production totale	100 000 kWh/an	100 000 kWh/an
Taux d'autoconsommation	90%	40%
Production autoconsommée	90 MWh/an	40 MWh/an
Economies d'énergie (9,3 c€/kWh (puis hausse de ≈ 3%/an)	216 000 € sur 20 ans	96 000 € sur 20 ans
Surplus injecté sur le réseau	10 MWh/an	60 MWh/an
Vente du surplus (au tarif fixé de 6c€/kWh$_{injecté}$)	600 €/an Soit 12 000 € sur 20 ans	3 600 €/an Soit 72 000 € sur 20 ans
Vente en totalité (au tarif fixé de 10,51c€/kWh$_{injecté}$)		
Produits totaux sur 20 ans	**228 000 €**	**168 000 €**

Bilan à Orléans (100 000 kWh/an)

Ensoleillement faible *Hypothèse **100 000 kWh/an***	Autoconsommation 90%	Autoconsommation 40%
Bilan sur 20 ans	85 600 €	25 600 €
Temps de retour sur investissement	12 ans	17 ans

Ci-dessous, le bilan présenté correspond à la fourchette « haute » de l'ensoleillement métropolitain avec une installation de 100 kWc, basée à Nice, sur la base d'une production de 140 MWh/an.

Bilan à Nice (140 000 kWh/an)

Ensoleillement fort *Hypothèse **140 000 kWh/an***	Autoconsommation 90%	Autoconsommation 40%
Bilan sur 20 ans	**176 800 €**	**92 800 €**
Temps de retour sur investissement	**9 ans**	**12 ans**

Globalement, on peut estimer que le temps de retour sur investissement varie entre 9 et 17 ans.

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle des territoires

Aucun impact notable à l'échelle des territoires n'a été identifié.

Le potentiel de développement de ce système est étudié dans le tableau ci-dessous :

Surfaces agricoles potentiellement concernées par ce système	
Les informations fournies dans ce tableau ne sont qu'indicatives. En effet, elles désignent un gisement brut : celui des surfaces de toitures de bâtiments d'élevage. Ces données ne fournissent pas une vision prospective, ni ne désignent le vrai gisement de surface disponible pour l'implantation de systèmes photovoltaïques. Pour cela, d'autres informations devraient être croisées, et notamment la compatibilité des installations PV ces structures.	
Gisement de surface adressable en France	La surface adressable en France est très importante : ces installations concernent l'ensemble des 172 000 exploitations d'élevage, soit plusieurs centaines de milliers d'hectares de toitures disponibles. Il existe toutefois des contraintes pour les supports (solidité de la charpente, accessibilité) qui limitent sans doute les surfaces réellement adressables.
Nombre de projets correspondant au système	Environ 11 000 exploitations agricoles sont équipées d'un bâtiment agricole photovoltaïque. Plusieurs milliers d'entre elles utilisent une partie de l'énergie produite en autoconsommation.
Surfaces concernées (régions)	Toutes les régions sont concernées, avec en priorité les régions d'élevage disposant de bâtiments déjà en place et d'une activité consommatrice d'énergie (chauffage, refroidissement, bloc traite, transformation, conditionnement…). Il s'agit notamment de la Bretagne (mais ensoleillement faible), de la Bourgogne Franche-Comté, des Pays de la Loire, de la Nouvelle-Aquitaine.
Bilan sur le potentiel de développement	Le gisement de surface adressable est **très important.**

Bilan du couplage - TOITURES PHOTOVOLTAÏQUES EN AUTOCONSOMMATION

Les éléments dégagés précédemment permettent de tirer ce bilan :

ATOUTS

- Opportunité économique pour améliorer les conditions et les coûts d'exploitation
- Pas de **partage de la lumière** nécessaire
- Pas d'impact sur **l'occupation des sols** pour un bâtiment déjà existant
- Un seul type de **gouvernance** : l'agriculteur investit seul et est propriétaire des panneaux PV
- **Pérennisation de l'exploitation** : Apport d'une autonomie énergétique de l'exploitation avec revenus supplémentaires et garantis à long-terme

FAIBLESSES

- Système entièrement dédié à la production électrique
- Le service agricole est indirect, via l'augmentation des revenus de l'exploitation
- Investissement important pour l'agriculteur
  Le taux d'autoconsommation conditionne directement la rentabilité du système : retours sur investissement entre 9 et 17 ans

OPPORTUNITES ET PRATIQUES D'INTERÊT

- Réversibilité possible, conditionnée au mode d'accroche des panneaux sur la toiture
- Système adapté à tout type d'exploitation, sous réserve de surfaces de toitures compatibles et d'une consommation d'énergie suffisante pour assurer sa rentabilité

MENACES ET PRATIQUES A LIMITER

- Artificialisation des sols en cas de construction d'un nouveau bâtiment spécifiquement pour le PV et réversibilité peu aisée pour retrouver du foncier agricole

Sources

http://www.haute-garonne.gouv.fr/content/download/18771/138228/file/Diapo_DimensionnementBatAgri.pdf

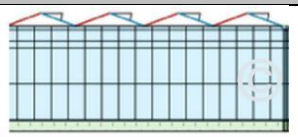
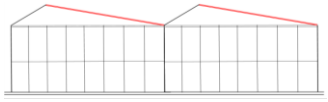
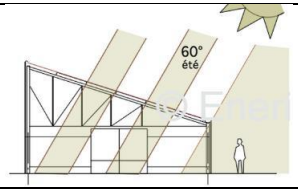
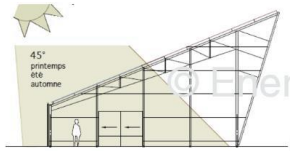
- *https://www.banquedesterritoires.fr/repartition-des-ifer-au-sein-du-bloc-communal-un-enjeu-financier-important*
- *https://www.collectivites-locales.gouv.fr/cotisation-fonciere-des-entreprises-0*
- *https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23546*
- *Base carbone – ADEME - 2019*

Agricultures et énergies renouvelables – ADEME – 2018. https://www.ademe.fr/agriculture-energies-renouvelables
Guide ADEME « autoconsommation photovoltaïque », 2017
Energies renouvelables et agriculture, la transition énergétique. Bernard Pellecuer. Editions France Agricole. 2015
Etat de l'art bibliographique de la phase 1

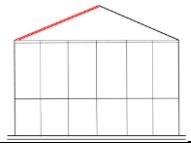
FICHE 2 - MARAÎCHAGE SOUS SERRE PHOTOVOLTAÏQUE

Description du couple « système photovoltaïque – production agricole » : modèle technico-économique

Il existe différents types de serres qui peuvent supporter des panneaux photovoltaïques, avec une répartition de la lumière variable selon l'installation. Des éléments sur les taux d'ombrage en comparaison avec des serres en verre classiques sont disponibles. Toutefois, ceux-ci ne sont qu'indicatifs : ils dépendent de la période de l'année, de la région d'implantation, de l'orientation de la serre, de la densité des panneaux… Il existe également des cas où les panneaux photovoltaïques sont conçus avec des écartements entre cellules photovoltaïques afin de laisser passer plus de lumière, ce qui modifie alors les taux d'ombrage mentionnés ci-dessous. Enfin, il existe des serres PV dont les alternances entre verres horticoles et panneaux photovoltaïques sont différentes des modèles présentés ci-dessous.
Cette fiche résume les retours d'expérience de 5 entretiens, dont 3 serres multichapelles et 2 exploitations avec des serres monopentes. Un conseiller technique a également été interrogé.
Le tableau ci-dessous présente quelques éléments de comparaison des différents modèles de serres connues à ce jour :

Type de serre	Représentation graphique	Taux d'ombrage[9] photovoltaïque indicatifs par rapport à des situations de référence
Multichapelle [Venlo], bipente symétrique, versant sud toiture entièrement PV		Par rapport à une serre en verre, ombrage de 60% en hiver et 45% en été Par rapport au plein champ : ombrage de 60 %. (Mesure expérimentale dans le Gard) *Cette structure de serre photovoltaïque est actuellement la plus répandue sur le marché.*
Multichapelle, bipente asymétrique, un versant de la toiture entièrement PV		Par rapport à une serre en verre, ombrage de 70% en hiver et de 65% en été Par rapport au plein champ : 80 % (Mesure expérimentale en Bouches du Rhône) *Forte asymétrie avec une surface de toit beaucoup plus importante au versant sud complètement recouverte de modules PV : cette configuration engendre les taux d'ombrage les plus élevés.* Ce système existe également avec, en versant sud, une alternance entre verres horticoles et panneaux photovoltaïques. Ce système permettrait de faire passer davantage de lumière que la version ci-dessus sans plaque de verre.
Monochapelle, monopente symétrique, toiture PV en damier (50% de la surface recouverte)		Par rapport à une serre verre 60% en hiver et en été Par rapport au plein champ : 70 % (Mesure expérimentale dans le Gard) Les entretiens réalisés ont complété ces données : certaines serres laissent passer 13% de rayonnement photosynthétiquement actif (PAR), d'autres 11%. *La position en damier des modules photovoltaïques améliore l'équilibre de la répartition de la lumière reçue dans la serre (meilleure répartition de l'ombrage sur le couvert végétal), par rapport à un alignement linéaire des panneaux photovoltaïques.*
Monochapelle, monopente asymétrique, moitié haut de la toiture en PV		Par rapport à une serre, 55% en hiver et 35% en été Par rapport au plein champ : 45 % (Mesure expérimentale en Bouches du Rhône) *Cette structure de serre permet de déporter une partie de l'ombre des panneaux sur une zone qui n'est pas en production. Seule la moitié haute de la toiture est couverte de panneaux photovoltaïques. Ce design est optimal seulement lorsque l'inclinaison du soleil est basse, c'est-à-dire en hiver. Aux autres saisons et notamment en été, l'ombrage sur les cultures est plus important.* *La forte variabilité spatiale (certaines zones ne voyant jamais la lumière) et saisonnière de l'ombrage (voir graphique ci-dessous) peut être problématique pour la gestion des plants et des variétés.*

[9] Ce qui est mesuré est le pourcentage de rayonnement reçu dans la serre PV par rapport à une serre non PV. La mesure est réalisée au centre de la serre, en considérant un écartement typique avec d'autres serres.

Type de serre	Représentation graphique	Taux d'ombrage[9] photovoltaïque indicatifs par rapport à des situations de référence
Monochapelle, bipente symétrique, un versant de la toiture entièrement PV		Ce modèle étant peu développé, peu d'éléments existent quant à l'ombrage relatif. *Ce type de dispositif peut être construit sur des serres existantes avec ou sans adaptation de la toiture. Les modules photovoltaïques sont généralement installés sur le versant sud du toit. Par rapport à un même design de serre photovoltaïque en multichapelle, la transmission lumineuse est plus élevée puisqu'elle bénéficie plus largement des bordures latérales.* Ce cas de figure n'a pas été rencontré dans les entretiens.

Les schémas ci-dessous résument les dimensions rencontrées pour ces installations :

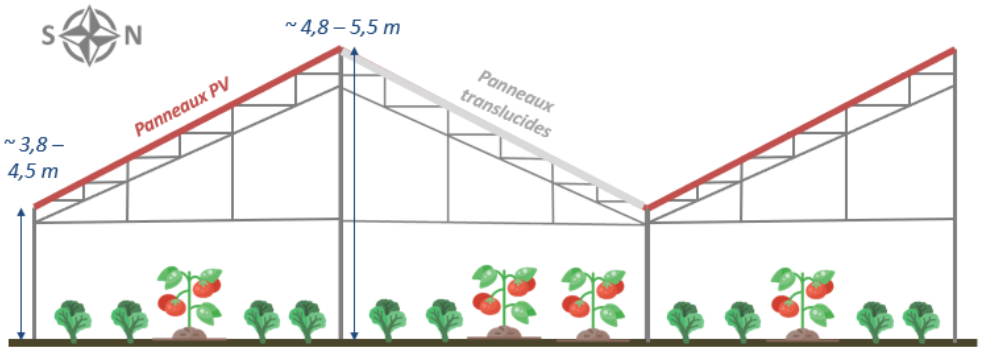


Schéma des dimensions des serres multichapelles

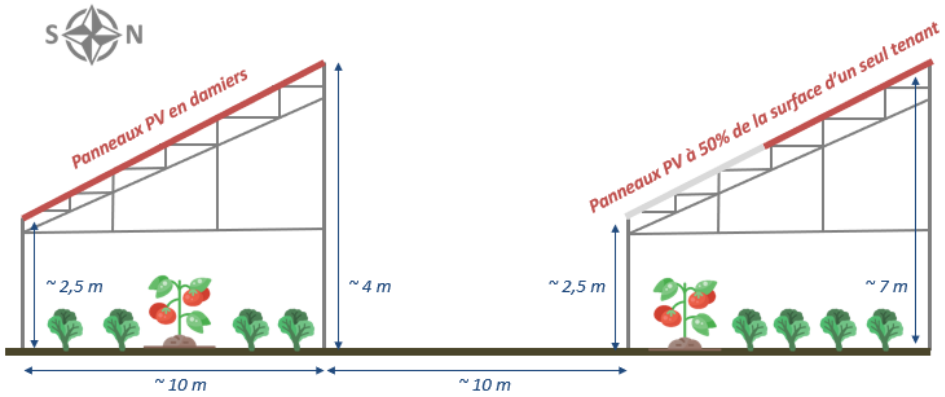


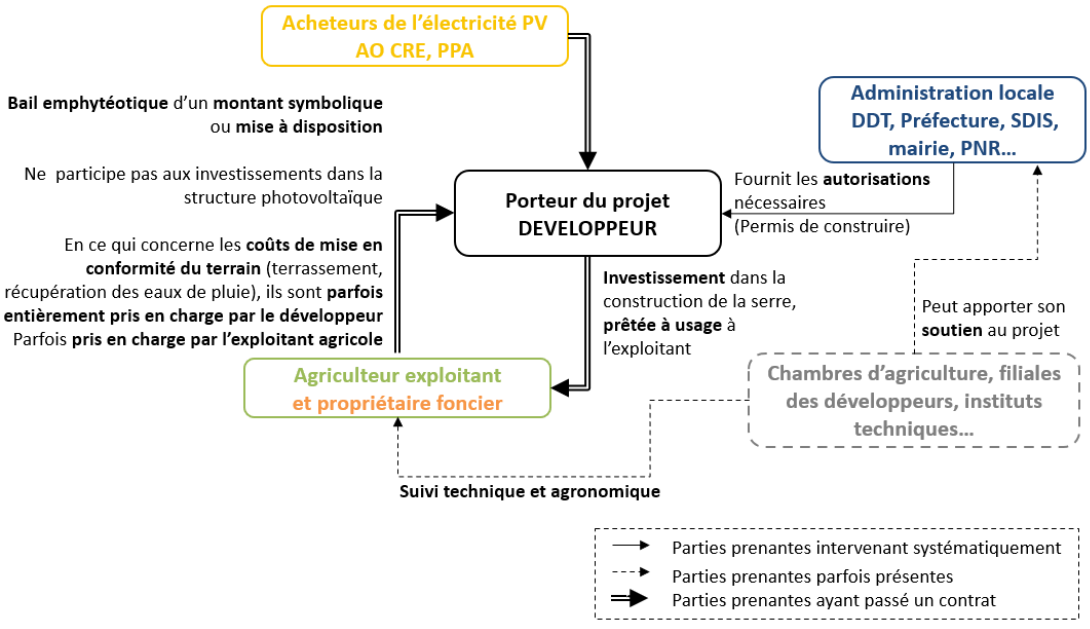
Schéma des dimensions des serres monopentes

Caractéristiques techniques et impacts sur le foncier agricole	
Densité de puissance (MWc/ha)	0,6 à 1,1MWc/ha
Production moyenne des installations (MWc)	3,4 MWc
Surface moyenne des projets	De 0,3 à 10ha (1,5-3ha en moyenne) Les serres multichapelles enquêtées mesurent entre 1,1 et 3 ha. Les serres monopentes sont de petite taille (0,1 ha) mais nombreuses sur une même parcelle (de 10 à 100) avec une moyenne de 30 à 40 serres, soit une surface totale 3 à 4 ha en moyenne. Cela représente une emprise au sol de 6 à 8 ha compte tenu de l'espace requis entre les serres.
Taux de couverture des panneaux photovoltaïques (surface de la parcelle couverte par les panneaux)	Couverture de panneaux variable, généralement 50%.
Type d'utilisation du sol	Dans les serres multichapelles comme dans le cas des serres monopentes, l'espace sous les serres est cultivé en maraichage, sous les panneaux PV comme entre les panneaux PV. Dans le cas des serres monopentes, les espaces entre les serres ne sont pas cultivés, et sont occupés par de la prairie permanente. Certains projets prévoient la plantation d'arbres entre les serres.
Installation en zone auparavant non cultivée ?	Il existe des cas où les serres sont installées sur des zones auparavant non cultivées.

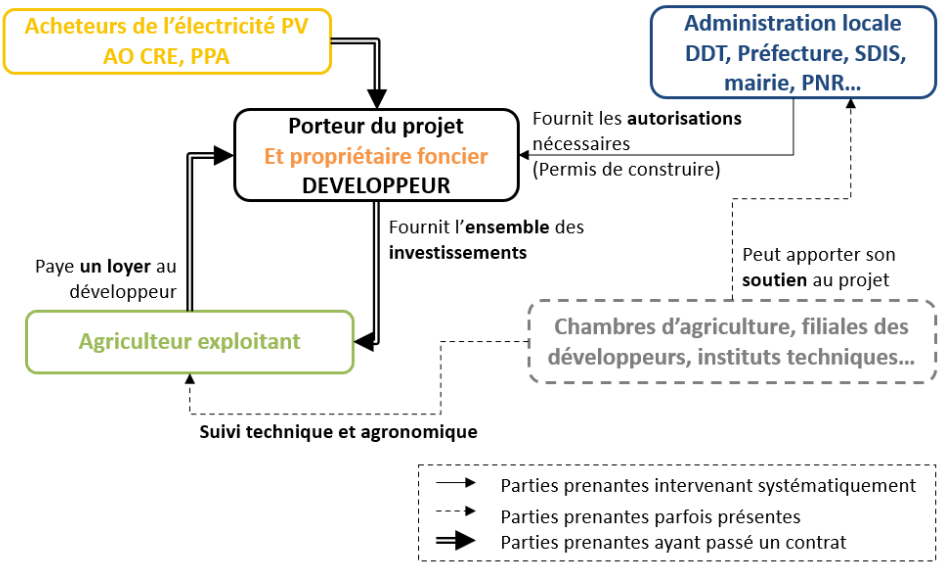
Acteurs impliqués et nature des implications

Plusieurs modèles d'affaires coexistent pour les serres PV.

1. **Dans le modèle d'affaires le plus fréquent**, l'agriculteur est le propriétaire des terrains agricoles. Le développeur, qui est porteur du projet photovoltaïque, bénéficie d'un bail emphytéotique d'un montant très faible ou d'une mise à disposition sans versement de loyer. Le développeur investit dans la construction de la serre. Parfois, les agriculteurs prennent financièrement en charge une partie des frais de mise en conformité du terrain pour accueillir la serre, notamment les travaux de terrassement et de récupération des eaux de pluies (100 à 400 k€ dans les retours d'expérience rencontrés). Le principal intérêt des agriculteurs est qu'ils **bénéficient d'un outil agricole sans réaliser d'investissement**, avec **des coûts limités**. Le schéma ci-dessous résume ce modèle d'affaires :

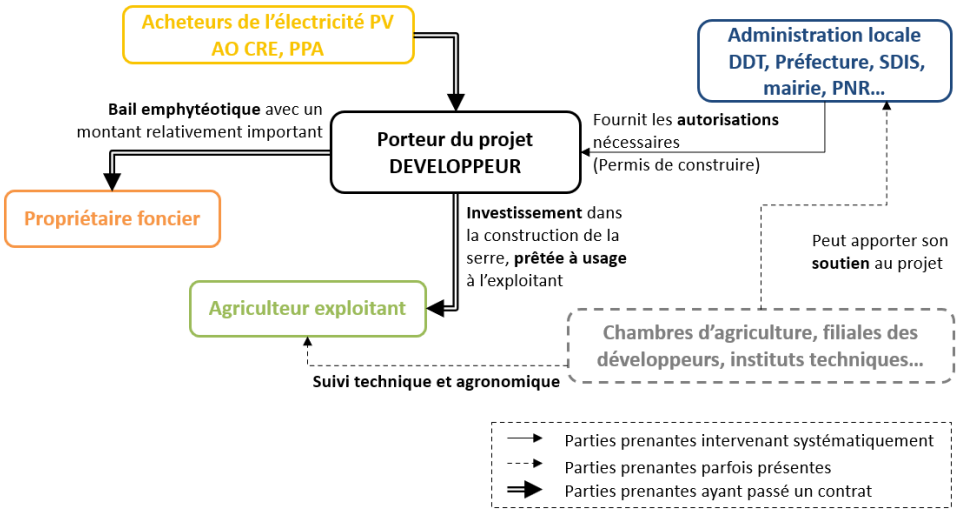


2. Un deuxième modèle d'affaire, plus rare, est celui où les développeurs sont propriétaires des terrains et des serres. Les agriculteurs payent alors un loyer pour avoir accès à ces installations. Leur intérêt réside alors dans **l'accès à du foncier supplémentaire** et à des **installations existantes sans avoir besoin d'investir**. Cette situation est illustrée par la figure ci-dessous :



Les enquêtes ont montré un cas proche de celui-ci, mais avec une nuance importante : **un agriculteur ne payant pas de loyer au développeur**, même si celui-ci est **propriétaire du foncier**. Ce cas de figure semble exister lorsque la construction de la serre a nécessité un changement d'usage de la parcelle, de zone Naturelle (N) au PLU à une zone agricole (A). **L'activité agricole** est alors une **condition même de la mise en place de ces panneaux PV** sur la parcelle, et la serre est laissée à l'agriculteur de façon totalement gratuite, sans qu'aucune contrepartie financière ne lui soit demandée.

3. Dans un troisième modèle d'affaires, le propriétaire foncier est une tierce personne. Dans ce cas-ci, le développeur paye un loyer au propriétaire en plus de laisser l'exploitant agricole utiliser la serre agricole. Dans le retour d'expérience rencontré pour ce modèle d'affaires, l'exploitant agricole était une filiale du développeur. L'exploitant bénéficie de la serre sans payer de loyer. Comme dans le premier cas de figure, l'intérêt de l'agriculteur réside alors dans le fait de pouvoir utiliser une structure agricole **sans investissement**. Cette situation est résumée ci-dessous :



Les agriculteurs bénéficient parfois d'un suivi agronomique de la part des Chambres d'Agriculture, d'instituts techniques ou de membres de filiales des développeurs.

L'ensemble des retours d'expérience montrent que le **développeur** est généralement le **propriétaire de la serre PV** pour une durée de **30 ans**.

En ce qui concerne la fin de vie de la serre, plusieurs cas de figure existent : la serre peut être rétrocédée à l'agriculteur en l'état, ou démantelée par le développeur. Dans la moitié des cas rencontrés, les deux options sont possibles : le développeur laisse l'agriculteur décider.
Dans le cas où la serre est rétrocédée à l'agriculteur en l'état, celui-ci aura alors à sa charge le démantèlement des panneaux et leur fin de vie au moment venu et a donc le choix entre :

- remplacer à ses frais les panneaux par des vitrages horticoles,
- signer de nouveau un bail avec un développeur (parfois le même) pour prolonger le contrat.
- trouver un autre acheteur à qui vendre son électricité.

Impact du système agricole sur la production photovoltaïque

Les impacts du système agricole sur le système PV sont globalement négatifs. En effet, différents impacts existent :

- La littérature mentionne que l'humidité et la présence de produits phytosanitaires pourraient affecter la durée de vie des panneaux (Cossu et al., 2014).
- Il existe des difficultés dans le partage de la lumière et l'adéquation entre production maraichère et production d'électricité PV, impliquant des surcoûts :
    - Pour les cultures maraichères, l'idéal est d'avoir des panneaux non orientés plein sud ; une telle orientation engendre une baisse du productible photovoltaïque
    - La nécessité de faire circuler des machines peut induire des hauteurs de serres plus importantes, ou la présence de portes plus grandes ou plus nombreuses. La présence d'ouvrants et de parois en verre dans les serres multichapelles conditionnent la température et l'humidité et jouent un rôle central dans la réussite du projet agricole. Or, ces éléments induisent des surcoûts pour les développeurs PV.

Impacts du PV sur le système agricole et bonnes pratique identifiées

Etats initiaux et parcours de production

Les serres photovoltaïques sont mises en place dans des exploitations agricoles aux productions diverses. Celles-ci adaptent alors leur itinéraire technique pour intégrer la serre dans leur fonctionnement. Le tableau ci-dessous présente les différents états initiaux possibles de l'activité agricole, pour l'échantillon enquêté, avant la mise en place de la serre.

Etats initiaux possibles de l'échantillon enquêté	• Maraichage à l'air libre ou grandes cultures • Maraichage sous serre tunnel • Zones de friche non cultivées • Plus rarement, vignes ou arboriculture

Les effets du couplage PV- agriculture sur le système agricole sont nombreux, et observables à trois échelles différentes : celle de la parcelle (résultats agronomiques, effets sur les rendements), celle de l'exploitation (effets économiques sur les débouchés, le chiffre d'affaire et la main d'œuvre) et celle du territoire (maillage agricole, paysage, environnement). Pour les quantifier, des états de référence peuvent être définis, correspondant à des situations sans installation photovoltaïque afin de servir de point de comparaison avec l'exploitation avec installation photovoltaïque.

Etat de référence possible	• Comparaison avec des systèmes à niveau d'investissement similaire :
	  ○ Maraîchage en plein champ quand le modèle d'affaires n'implique pas d'investissement de l'agriculteur
	  ○ Serre tunnel quand le modèle d'affaires nécessite un investissement modéré de l'agriculteur
	• Lorsque le projet permet à l'exploitant d'accéder à un nouveau foncier, il peut considérer sa surface antérieure (plus petite) comme état de référence.
	• Lorsque l'agriculteur possède une serre en verre et/ou une serre tunnel, elles peuvent servir de points de comparaison

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de la parcelle

A l'échelle de la parcelle, différentes incidences du PV sur l'exploitation agricole peuvent être identifiées. Le tableau ci-dessous résume les effets principaux des serres photovoltaïques, en comparaison avec différents points de référence : le plein champ, les serres tunnels et les serres multichapelles en verre.
Certains effets négatifs peuvent être limités par des bonnes pratiques (identifiées dans une colonne dédiée).

Le principal effet positif observé est celui de la protection des cultures face aux aléas climatiques par rapport à une culture de plein champ, ainsi que celui d'une meilleure rétention de l'eau par rapport à une culture plein champ ou sous serre tunnel. Ces effets ne sont pas spécifiques aux serres photovoltaïques, mais permettent aux agriculteurs de bénéficier de ces avantages à moindre coût.

En revanche, l'effet d'ombrage causé par les modules PV peut avoir un impact assez fort selon les types de cultures : soit sur la quantité et la qualité des productions, soit sur le calendrier de production (de façon positive comme négative). Les types de serre, leur orientation, leur structure (ouvrants, portes…) et la densité des panneaux PV semblent être déterminants sur ces résultats.

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions micro-climatiques	**Augmentation de l'ombrage**	Dans certaines régions et pour certaines cultures, les serres tunnels nécessitent d'être blanchies pour limiter la lumière. Les serres PV évitent ce travail. Toutefois, il est à noter que le blanchiment des serres tunnels peut s'enlever, ce qui leur laisse une meilleure adaptabilité par rapport à des serres PV.		Il faut adapter l'ensemble du projet agricole sous la serre à une contrainte d'ombrage (éventuellement forte). Cette contrainte est perçue par les agriculteurs enquêtés comme compliquée à gérer en hiver (40% des retours d'expérience).	40% des retours d'expérience ont montré qu'une orientation plein sud avait des effets importants sur les rendements. En revanche, une orientation de la serre Sud-Ouest / Nord-Est semblerait limiter cet effet même s'il n'est pas possible de généraliser cette affirmation, dépendante de plusieurs facteurs (régions, types de cultures, etc.).
	Effets sur l'hétérogénéité spatiale de lumière au sein de la serre		Dans la moitié des cas enquêtés, il n'y a pas d'hétérogénéité de lumière qui a été rapportée.	Selon la hauteur de la serre, son orientation et son type, la lumière diffusant dans la serre peut être hétérogène spatialement (trois retours d'expérience concernés sur 5 interrogés).	Afin de s'adapter à l'hétérogénéité spatiale de la lumière, les agriculteurs peuvent planter des cultures de façon différenciée selon les zones (exemples rencontrés : haricots à la lumière, tomates et vigne à l'ombre). Un paillage blanc au sol ou la mise en place de tôles diffusantes sur les parois et le toit peuvent aussi pallier en partie cet effet.
	Effet sur la chaleur	Les retours d'expérience obtenus mentionnent que l'atmosphère est plus fraîche en été qu'en serre en verre classique.	Maintien de la chaleur en hiver, même s'il est moindre que celui d'une serre en verre.	Certains retours ont indiqué que la chaleur en été peut être trop importante par rapport au plein champ. Cependant, cela reste lié à la caractéristique de la serre d'une manière générale et non pas à l'installation de panneaux photovoltaïques. Comme indiqué dans la colonne incidence positive, les panneaux PV pourraient participer à la réduction de la chaleur en été par rapport à une serre transparente. En revanche, certains experts techniques indiquent qu'en début de printemps, le sol se réchauffe moins vite qu'en plein champ, serre tunnel et serre en verre, ce qui peut entrainer une perte de précocité.	Plusieurs projets de serre PV ont permis d'investir également dans un système d'irrigation performant, qui permet un meilleur pilotage de l'humidité dans la serre. Ces investissements étant parfois intégralement financés par le développeur. Comme dans les serres non photovoltaïques, il est également possible de mettre en place un contrôle des conditions microclimatiques via des ouvrants mobiles, ou un extracteur d'air pour limiter l'échauffement dans la serre.
	Effet sur l'humidité	D'après les retours d'expérience obtenus, les serres PV maintiennent mieux l'humidité qu'en serres tunnels et qu'en plein champ. Elles demandent donc moins de volumes pour l'irrigation.	D'après les retours d'expérience obtenus, les résultats sont les mêmes qu'en serres en verre.	Les effets des serres PV sur l'humidité sont à modérer en fonction du pilotage des ouvrants : leur ouverture et fermeture peut parfois favoriser la production d'électricité au détriment des besoins des plantes. Cela peut amener à des conditions d'humidité trop importantes, ou au contraire une atmosphère trop séchante.	

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
	Effet sur la protection des cultures face aux aléas climatiques	Effet positif par rapport à un plein champ car système fermé.	Effet similaire à celui d'une serre tunnel ou d'une serre en verre		
Itinéraires techniques	**Effet sur le calendrier cultural**	En comparaison avec le plein champ, les plantations peuvent être avancées	Dans certaines conditions climatiques avec un fort ensoleillement, l'effet est neutre.	La baisse de luminosité se traduit souvent par un retard de croissance (50% des retours d'expérience), en particulier pour le maraichage d'hiver et les cultures de printemps par rapport à une serre en verre ou tunnel. Dans le cas du maraichage d'hiver, il peut y avoir des différences de précocité au sein même de la serre, entre zones lumineuses et zones ombragées. Cet effet est dû à la température du sol qui se réchauffe moins vite au printemps. D'après les retours d'un conseiller technique, sur le plan économique, ce décalage des cultures peut se traduire soit par une baisse des prix, soit dans certains car par une meilleure valorisation économique (offre moins importante).	
	Effet sur les adventices	Moins de pousse d'adventices par rapport à un plein champ	Mêmes résultats qu'en serre tunnel		
	Effets sur les maladies et ravageurs	Au même titre qu'une serre en verre, les serres photovoltaïques permettent une diminution des traitements prophylaxiques par rapport au plein champ. Le fait d'avoir un espace fermé permet d'avoir recours à des traitements biologiques. L'un des répondants indique ainsi avoir réduit de 80% ses dépenses en produits phytosanitaires.	Par ailleurs, il ne semble pas y avoir de différence majeure avec les serres tunnels. De plus, les retours qui indiquent une différence sont contradictoires : l'un des exploitants indique que les traitements sont plus fréquents dans les serres PV (et les serres en verre) qu'en serres tunnels, car leur température diminue moins pendant l'hiver. D'autres retours, sur des serres ayant certaines parois constituées de filets, indiquent que les pertes par maladies et ravageurs sont moindres que dans une serre tunnel, car les filets de protection sont de meilleure qualité.	L'ouverture ou la fermeture des ouvrants pour optimiser la production PV favorise le développement des maladies : Botrytis si manque d'aération, oïdium si trop d'aération. Le manque de lumière peut rendre les plantes plus végétatives et plus attractives pour les pucerons.	Adapter l'ouverture et la fermeture des ouvrants aux besoins des cultures en priorité.
	Conditions de travail	Un passage de machines facilité par rapport à une serre tunnel. Conditions de travail plus agréables par rapport au plein champ et aux tunnels.		Des retours d'expérience mentionnent la nécessité d'adapter les machines agricoles à la largeur des travées et à la hauteur des structures, en particulier dans les serres monopentes.	

Les rendements agricoles sont très variables, et sont le résultat de plusieurs facteurs combinés : type de serre, effet de protection face aux aléas climatiques, ensoleillement de la région considérée… Par exemple, il a été parfois rapporté par les agriculteurs et les développeurs que les aléas climatiques sont tellement importants que l'effet d'ombrage est largement compensé par le fait que les cultures sont protégées des aléas climatiques.

Le tableau ci-dessous reprend l'ensemble des observations sur les rendements agricoles (quantitatifs et/ou qualitatifs) obtenus sous serres photovoltaïques, sur plusieurs types de cultures, via la bibliographie étudiée et les entretiens réalisés pendant l'enquête. Bien entendu et comme expliqué ci-dessus, ces éléments ne peuvent prétendre à une représentativité à l'échelle nationale du fait des multiples paramètres pouvant influer sur ces rendements mais ils permettent d'avoir un panorama des connaissances à ce stade[10].

Types de culture		Types de serres	Origine des résultats	Etat de référence pour la comparaison	Quantité de la production	Qualité de la production
Cultures d'été	Tomates	**Multichapelle symétrique**	Résultats de l'enquête	Plein champ	Un retour d'expérience avec des résultats moyens mais une nécessité d'optimiser l'irrigation. Un autre retour d'expérience positif avec une plantation à l'ombre.	
				Serre tunnel dans une région où elles sont blanchies pour la culture de tomates	Comparable mais pas de perte d'espace sur les côtés: + 20-30% de quantité pour la même surface de serres	
		Multichapelle bipente	Résultats bibliographiques[11]	Serre en verre standard	15kg/pied	
		Multichapelle bipente avec 20 à 35% de PAR	Résultats bibliographiques	Serre en verre standard	Diminution de 65%	
		Multichapelle bipente orientée est-ouest	Résultats bibliographiques [12]	Serre en verre standard	Diminution du nombre de fleurs, une forte baisse de la taille des fruits	Diminution de la teneur en sucre des tomates
		Multichapelle bipente symétrique et asymétrique (face photovoltaïque plus longue)	Résultats bibliographiques [13]	Serre en verre standard	Diminution des rendements sous la serre multichapelle symétrique, de façon d'autant plus importante que la densité plantée est forte. Plus forte baisse des rendements sous la serre asymétrique, sans effet apparent de la densité.	
	Concombres	**Multichapelles symétriques**	Résultats de l'enquête	Serre tunnel, nécessité de blanchir	Bons résultats, plantation à l'ombre	Bonne
		Serres monopentes damiers	Résultats de l'enquête	Serre en verre standard	Baisse rendements 25%	

[10] Une exploitation peut couvrir plusieurs lignes.
[11] Cultures agricoles – Sous serre photovoltaïque – Reden Solar – avril 2019
[12] Bulgari et al., 2015, Micrometeorological environment in traditional and photovoltaic greenhouses and effects on growth and quality of tomato (Solanum lycopersicum L.)
[13] Bertin et al., 2015, Simulation of tomato production under photovoltaic greenhouses

Types de culture		Types de serres	Origine des résultats	Etat de référence pour la comparaison	Quantité de la production	Qualité de la production
		Multichapelles bipente	Résultats bibliographiques[2]	Serre en verre standard	15-18kg/pied	
		Monochapelle, monopente asymétrique, moitié haut de la toiture en PV avec 50 à 60% du PAR extérieur dans la partie sud, et 10 à 20% du PAR dans la partie nord	Résultats bibliographiques[14]	Serre en verre standard	Rendements trois fois plus faibles que la serre témoin	Problèmes de qualité (pucerons)
		Serres à damier avec 10 à 20% de transmission de rayonnement photosynthétique actif (PAR)	Résultats bibliographiques [5]	Serre en verre standard	Rendements nuls	
	Courgettes	**Multichapelles bipente**	Résultats bibliographiques[2]	Serre en verre standard	3kg/m²	
	Aubergines	**Multichapelles bipente**	Résultats bibliographiques [2]	Serre en verre standard	5kg/pied	
		Serres à damier avec 10 à 20% de transmission de rayonnement photosynthétique actif (PAR)	Résultats bibliographiques[5]	Serre en verre standard	Rendements quasi-nuls	
		Multichapelle bipente avec 20 à 35% de PAR	Résultats bibliographiques[15]	Serre en verre standard	Diminution de 56%	
	Poivrons	**Multichapelles bipente**	Résultats bibliographiques[2]	Serre en verre standard	4 kg/pied	
		Serres à damier avec 10 à 20% de transmission de rayonnement photosynthétique actif (PAR)	Résultats bibliographiques[5]	Serre en verre standard	Rendements nuls	
		Multichapelle bipente avec 20 à 35% de PAR	Résultats bibliographiques	Serre en verre standard	Diminution de 81%	
	Melons	**Monochapelle, monopente asymétrique**, moitié haut de la toiture en PV avec 50 à 60% du PAR extérieur dans la partie sud, et 10 à 20% du PAR dans la partie nord	Résultats bibliographiques [5]	Serre en verre standard	Perte de rendement	Petits calibres (vendables uniquement en direct)

[14] Suivi climatique et agronomique dans une serre équipée de panneaux photovoltaïques, dans les Bouches du Rhône – APREL - 2017
[15] Suivi climatique et agronomique dans une serre équipée de panneaux photovoltaïques, dans le Vaucluse – APREL - 2017

Types de culture		Types de serres	Origine des résultats	Etat de référence pour la comparaison	Quantité de la production	Qualité de la production
		Multichapelles bipente avec 20 à 35% de PAR	Résultats bibliographiques[6]	Serre en verre standard	Diminution de 65%	
	Haricots	**Multichapelles symétriques**	Résultats de l'enquête	Serre tunnel	Comparable Placé en pleine lumière	Meilleure, moins filandreux
		Serre monopente à damiers 17% luminosité	Résultats de l'enquête	Plein champ	Bons résultats	
		Monochapelle, monopente asymétrique, moitié haut de la toiture en PV avec 50 à 60% du PAR extérieur dans la partie sud, et 10 à 20% du PAR dans la partie nord	Résultats bibliographiques [5]	Serre en verre standard	Rendements satisfaisants	Quelques problèmes de qualité
	Asperges	**Multichapelles symétriques**	Résultats de l'enquête	Plein champ	Meilleure	Bonne
		Serres à damier avec 10 à 20% de transmission de rayonnement photosynthétique actif (PAR)	Résultats bibliographiques[5]	Serre en verre standard	Rendements nuls	
	Carottes	**Serres monopentes** couvertes à 100%	Résultats de l'enquête	Peu de références en AB à La Réunion pour comparer	Globalement décevants, mais encore dans une phase de transition	Qualité constante
	Fenouil	**Monochapelle, monopente asymétrique**, moitié haut de la toiture en PV avec 50 à 60% du PAR extérieur dans la partie sud, et 10 à 20% du PAR dans la partie nord	Résultats bibliographiques[5]	Serre en verre standard	Rendements réduits de 28,5% en raison d'une densité réduite pour améliorer la luminosité des plants (10 pl/m² au lieu de 14 pl/m²)	Qualité satisfaisante
	Patates douces	**Serres monopentes** couvertes à 100%	Résultats de l'enquête	Peu de références en AB à réunion pour comparer	Globalement décevants, mais encore dans une phase de transition	Qualité constante
		Serres monopentes à damiers	Résultats de l'enquête	Plein champ	Meilleurs rendements, notamment car possibilité de les laisser plus longtemps et qu'elles sont plus grosses	
Cultures d'hiver		**Multichapelles symétriques**	Résultats de l'enquête	Plein champ	Bonne	Bonne

Types de culture		Types de serres	Origine des résultats	Etat de référence pour la comparaison	Quantité de la production	Qualité de la production
	Epinard	**Multichapelles bipentes**	Résultats bibliographiques[2]	Serre en verre standard	1,5kg/m²	
	Salades	**Multichapelles symétriques**	Résultats de l'enquête	Plein champ	Bonne pendant l'hiver sans irrigation	
		Serre monopente 50% PV d'un seul tenant	Résultats de l'enquête	Serre chapelle	Rendements comparable	
			Résultats de l'enquête	Serre tunnel	Rendements supérieurs	
	Mâche	**Multichapelles symétriques**	Résultats de l'enquête	Plein champ	Bonne	Bonne
		Multichapelles bipentes	Résultats bibliographiques [2]	Serre en verre standard	1kg/m²	
		Monochapelle, monopente asymétrique, moitié haut de la toiture en PV avec 50 à 60% du PAR extérieur dans la partie sud, et 10 à 20% du PAR dans la partie nord	Résultats bibliographiques[5]	Serre en verre standard	Rendements satisfaisants	Bonne en générale
	Betterave	**Serres à damier** avec 10 à 20% de transmission de rayonnement photosynthétique actif (PAR)	Résultats bibliographiques[5]	Serre en verre standard	Rendements satisfaisants	Bonne
	Chou rave	**Serres à damier** avec 10 à 20% de transmission de rayonnement photosynthétique actif (PAR)	Résultats bibliographiques[5]	Serre en verre standard	Rendements satisfaisants	Satisfaisant, quelques bulbes éclatés
	Blette	**Multichapelles symétriques**	Résultats de l'enquête	Plein champ	Résultats mauvais mais pense que c'est à cause du sol	
		Serre monopente 50% PV d'un seul tenant	Résultats de l'enquête	Serre chapelle	Rendements comparable	
			Résultats de l'enquête	Serre tunnel	Rendements supérieurs	

Types de culture		Types de serres	Origine des résultats	Etat de référence pour la comparaison	Quantité de la production	Qualité de la production
	Céleri	**Serre monopente** 50% PV d'un seul tenant	Résultats de l'enquête	Serre chapelle	Rendements comparables	
		Serres à damier avec 10 à 20% de transmission de rayonnement photosynthétique actif (PAR)	Résultats bibliographiques [5]	Serre en verre standard	Faibles rendements	Problèmes de qualité
	Poireaux	**Multichapelles symétriques**	Résultats de l'enquête	Plein champ	Bonne	Bonne
		Serres à damier avec 10 à 20% de transmission de rayonnement photosynthétique actif (PAR)	Résultats bibliographiques [5]	Serre en verre standard	Rendements nuls	
	Radis	**Serres monopentes** couvertes à 100%	Résultats de l'enquête	Peu de références en AB à la Réunion pour comparer	Globalement décevants, mais encore dans une phase de transition	Qualité constante
		Multichapelles bipente	Résultats bibliographiques[2]	Serre en verre standard	160radis/m²	
Petits fruits	Framboises	**Serres monopentes à damiers** 13% lumière	Résultats de l'enquête	Plein champ	Fonctionne bien	
	Fraises	**Serres monopentes à damiers** 13% lumière	Résultats de l'enquête	Plein champ	Baisse de rendements de 25 à 30%	
		Serres monopentes à damiers 17% lumière	Résultats de l'enquête	Plein champ	Fonctionne très bien	
		Multichapelles bipente	Résultats bibliographiques[2]	Serre en verre standard	750gr/pied	
		Multichapelles bipente avec 20 à 35% de PAR	Résultats bibliographiques [6]	Serre en verre standard	Diminution de 59%	
	Mûres	**Serres monopentes à damiers** 13% lumière	Résultats de l'enquête	Plein champ	Fonctionne bien	
Autres	Plantes médicinales	**Multichapelles symétriques**	Résultats de l'enquête		Bons résultats	

Types de culture		Types de serres	Origine des résultats	Etat de référence pour la comparaison	Quantité de la production	Qualité de la production
	Rhubarbe	**Serres monopentes à damiers** 13% lumière	Résultats de l'enquête	Plein champ	Fonctionne bien	
	Herbes aromatiques	**Serres à damier** avec 10 à 20% de transmission de rayonnement photosynthétique actif (PAR)	Résultats bibliographiques [5]	Serre en verre standard	Satisfaisant	

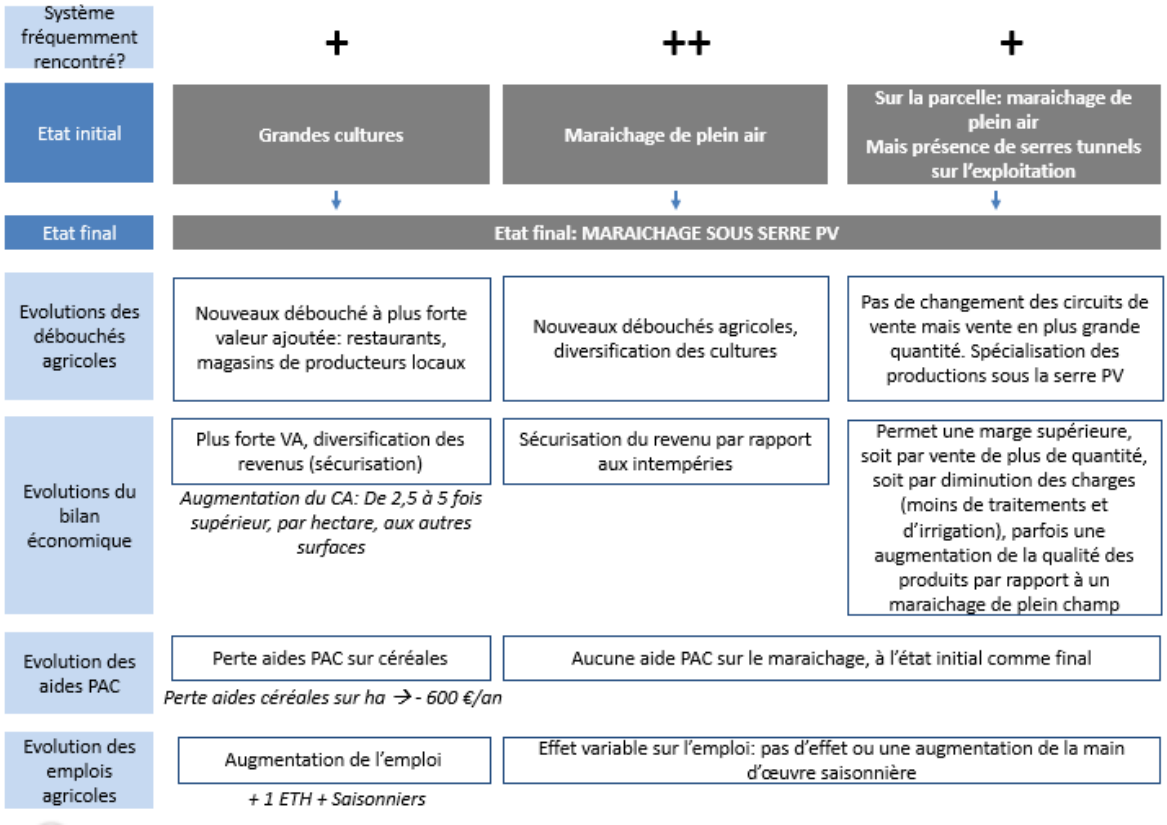
Incidences du PV sur l'activité agricole : à l'échelle de l'exploitation agricole

La grande majorité (80% des retours d'expérience) considèrent leurs revenus agricoles supérieurs à leur référence (plein champ ou serres plastiques) pour trois principales raisons :

- Accès à du capital (foncier, technique) auquel ils n'auraient pas eu accès autrement
- Réduction des charges (réduction des intrants, protection contre divers aléas en comparaison avec le plein champ)
- Productivité améliorée sur le long terme (moins de variabilité saisonnière sur les rendements et/ou la qualité en comparaison avec le plein champ)

A l'échelle de l'exploitation, il ressort que les serres PV induisent un confort psychologique pour l'agriculteur car il bénéficie d'une production contrôlée et protégée des intempéries. Cet effet, identifié dans l'état de l'art, est confirmé par les entretiens, où l'effet bénéfique sur les conditions de travail du personnel (rafraichissement de la température, protection contre les aléas climatiques) est souvent mentionné.
En plus de faciliter l'accès à un outil agricole et de qualité, ces projets PV peuvent également impulser la mise en place de systèmes de récupération d'eau en parallèle, qui contribuent aussi à la réduction de certains coûts d'exploitation.

N'ayant pu avoir accès qu'à peu de données économiques précises, des comparaisons qualitatives avec le système initial permettent d'analyser les impacts du passage à une serre PV à l'échelle de l'exploitation : débouchés, résultats économiques et main d'œuvre agricole. Les résultats obtenus lors des entretiens sont résumés dans le schéma ci-dessous :



Incidences du PV sur le système agricole : à l'échelle des territoires

A l'échelle du territoire, plusieurs effets sont observés et dépendent fortement des contextes locaux à l'état initial.

- Les serres PV peuvent faciliter l'implantation de serres sur des exploitations en monoculture, et donc contribuer à diversifier les productions locales.
- Du fait des possibles modifications des qualités de productions, le recours à la vente directe peut permettre de commercialiser des produits dont le calibre et l'aspect ne seraient pas satisfaisants pour des canaux classiques (grossistes, supermarchés).

Surfaces agricoles potentiellement concernées par ce système	
Les informations fournies dans ce tableau ne sont qu'indicatives. En effet, elles désignent un gisement brut : celui des surfaces actuellement occupées par du maraichage sous serre. Ces données ne fournissent pas une vision prospective, ni ne désignent le vrai gisement de surface disponible pour l'implantation de systèmes photovoltaïques. Pour cela, d'autres informations devraient être croisées, et notamment la compatibilité des installations PV avec ce mode de culture.	
Gisement de surface adressable en France	La surface de maraîchage sous serre représente environ **7 000 ha** en France, dont 6000 ha de serres non chauffées. Ces abris sont majoritairement implantés dans les régions du sud (Nouvelle-Aquitaine, Occitanie et PACA). L'ordre de grandeur du gisement de surface adressable représente **plusieurs milliers d'hectares.**
Régions concernées par ce type d'installation	Régions du sud de la France essentiellement (Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, Provence-Alpes-Côte-d'Azur) et île de la Réunion.
Nombre de projets correspondant au système	Des dizaines sur le territoire (>66)

Bilan du couplage- MARAÎCHAGE SOUS SERRE PHOTOVOLTAÏQUE

Les éléments dégagés précédemment permettent de tirer ce bilan du couple photovoltaïque – production agricole :

ATOUTS

Structure agricole à coût nul ou moindre coût pour l'agriculteur
Accès à du **foncier supplémentaire**

Ombrage potentiellement utile (ou sans effet) pour certaines cultures (betterave, chou-rave, herbes aromatiques – persil, basilic, coriandre, aneth - voire mâche, fenouil et asperges)

OPPORTUNITES ET PRATIQUES

Réflexion sur la **densité des panneaux** à avoir pour optimiser la **gestion de l'intensité lumineuse**

Gestion de l'hétérogénéité de la lumière par des plantations différenciées, du paillage blanc au sol, des vitres diffusant la lumière

Travail sur la **conception de la serre** : hauteur, orientation, présence d'ouvrants, possibilité d'irrigation …

Réflexion importante à mener en amont sur les **circuits de commercialisation disponibles**

Un partage des **retours d'expériences agricoles** pourrait faciliter le développement et l'exploitation de nouveaux projets

FAIBLESSES

Adaptabilité limitée du système : Dans la plupart des cas, l'ombrage est pénalisant pour les cultures et peut impliquer l'adaptation des variétés et des espèces cultivées, limitant de fait les volumes et débouchés possibles en termes de commercialisation.
Des difficultés peuvent exister sur l'adaptation des machines à la largeur des travées et à la hauteur des structures (en particulier pour les serres monopentes).

Partage de la lumière souvent à l'avantage de la production énergétique vis-à-vis de la production agricole (orientation plein sud notamment). Aération des abris qui peut être modifiée.

Retards de croissance ou fortes baisses de rendements de certaines cultures

Mauvaise réputation liée aux écueils de certaines installations (abandon de la production agricole sous serre).

Rentabilité économique pour l'exploitant : variable selon la conception des serres et le montant des travaux annexes à prendre en charge comme les terrassements ou les systèmes de récupération des eaux de pluies.

Soutien technique du développeur très rare alors qu'il est souvent nécessaire pour adapter les itinéraires techniques.

MENACES ET PRATIQUES A LIMITER

Méconnaissance des effets de l'ombrage sur de nombreuses productions agricoles

Réversibilité du système : la fin de vie reste souvent à négocier avec le développeur

Implication de l'exploitant agricole : Adaptation non systématique aux besoins de l'agriculteur, qui participe rarement au capital

Consommation de sols agricoles : des projets de taille relativement petite, mais surfaces imperméabilisées.

Source
10 retours d'expériences sous serres PV dont 5 spécialisées dans le maraîchage
http://www.legumesdefrance.fr/sites/fnplegweb/emploi/metiers/Pdf/cultures_sous_serre.pdf *http://www.fnplegumes.org/sites/fnplegweb/Doss/serre/* *Bulgari et al., 2015, Micrometeorological environment in traditional and photovoltaic greenhouses and effects on growth and quality of tomato (Solanum lycopersicum L.)* *Bertin et al., 2015, Simulation of tomato production under photovoltaic greenhouses* *Cultures agricoles - Sous serre photovoltaïque - Reden Solar - avril 2019* *Suivi climatique et agronomique dans une serre équipée de panneaux photovoltaïques – APREL – 2017* *Etat de l'art bibliographique de la phase 1*

FICHE 3 - HORTICULTURE SOUS SERRE PHOTOVOLTAÏQUE

Description du couple « système photovoltaïque – production agricole » : modèle technico-économique

Cette fiche résume les retours d'expérience de 2 entretiens d'exploitants ayant une production agricole sous serres multichapelles. Dans les deux cas, le versant sud est recouvert de panneaux PV tandis que la partie orientée nord est translucides.
Dans les deux cas, les serres ne disposaient pas de parois latérales : soient parce qu'elles n'étaient pas encore installées (portes et parois en enroulement prévues néanmoins), soit parce qu'elles n'étaient pas prévues dans la conception de la serre. C'est le cas d'un entretien d'une exploitation sur l'île de la Réunion, où cette caractéristique est adaptée au contexte local et permet de limiter la prise au vent et ainsi les dégâts potentiels en cas de cyclones (on parle ainsi de « serre anticyclonique »).

Type de serre	Représentation graphique	Taux d'ombrage[16] par rapport à des situations de référence
Multichapelle [Venlo], bipente symétrique, versant sud toiture entièrement PV		Par rapport à une serre en verre, ombrage de 60% en hiver et 45% en été Par rapport au plein champ : ombrage de 60 %. (Mesure expérimentale dans le Gard) *Cette structure de serre photovoltaïque est actuellement la plus répandue sur le marché.*

Le schéma suivant présente les dimensions de ces installations :

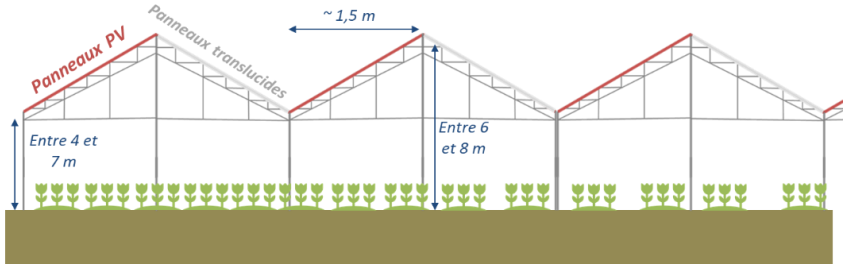


Schéma des dimensions des serres horticoles

[16] Ce qui est mesuré est le pourcentage de rayonnement reçu dans la serre PV par rapport à une serre non PV. La mesure est réalisée au centre de la serre, en considérant un écartement typique avec d'autres serres.

Les caractéristiques techniques des serres photovoltaïques en horticulture sont présentées ci-dessous :

Caractéristiques techniques et impacts sur le foncier agricole	
Densité de puissance (MWc/ha)	De 0,6 à 1,1 MWc/ha
Puissance moyenne des installations (MWc)	Environ 1 MWc
Surface moyenne des projets	0,9 à 1,7 ha.
Taux de couverture des panneaux photovoltaïques (surface de la parcelle couverte par les panneaux PV)	≈ 50%
Type d'utilisation du sol	***Sous les panneaux PV*** : Production horticole ***Entre les panneaux PV*** : Production horticole
Utilisation du sol avant le projet	Dans les deux cas rencontrés, la parcelle était cultivée et on y trouvait des serres tunnels (en plastique). Dans l'un des deux cas, une partie de la parcelle était occupée par de l'horticulture de plein champ.

Acteurs impliqués et nature des implications

Dans les deux retours d'expérience obtenus, un seul modèle d'affaire a été rencontré.

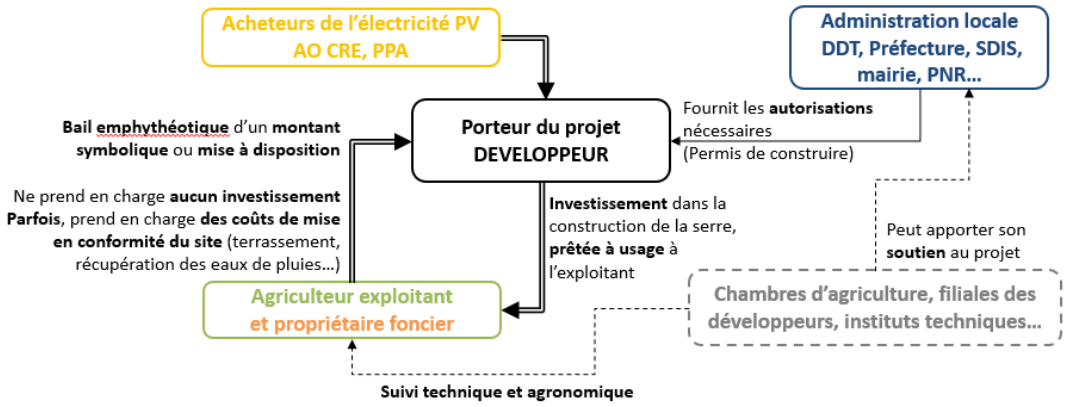
L'agriculteur est le propriétaire des terrains agricoles. Le développeur, qui est porteur du projet photovoltaïque, bénéficie d'un bail emphytéotique d'un montant très faible ou d'une mise à disposition gratuite du foncier. Le développeur investit dans la construction de la serre.

Selon les cas, le développeur prend en charge tout ou partie des investissements. Dans l'un des cas rencontrés (métropole), l'agriculteur a pris en charge une partie des coûts de mise en conformité du site (frais de terrassement et de récupération d'eau). Ces derniers devaient initialement s'élever à 100k€ (serre de 1,5 ha). Finalement, son investissement total a été beaucoup plus important (400 k€) mais ceci constitue une exception. En effet, l'agriculteur n'avait pas souhaité disposer de parois latérales au démarrage du projet, et celles-ci n'ont donc pas été intégrées dans le contrat. Sa décision a changé par la suite, et il a donc investi sur la base de ses fonds propres.

Dans l'autre cas rencontré, le développeur a pris en charge l'intégralité des coûts d'installation de la structure.

Le principal intérêt pour les agriculteurs est de bénéficier **d'un outil agricole sans investir dans l'achat de la serre,** avec des **coûts limités**.

Le schéma ci-dessous résume ce modèle d'affaires :



L'ensemble des retours d'expérience montrent que le **développeur** est généralement le **propriétaire de la serre PV** pour une durée **de 30 ans**.
Dans les deux cas rencontrés, la serre sera rétrocédée à l'agriculteur en l'état à la fin du projet. Dans l'autre exploitation rencontrée, deux options sont possibles et laissées au choix de l'agriculteur : la serre peut être rétrocédée en l'état ou démantelée par le développeur.
Dans le cas où la serre est rétrocédée à l'agriculteur en l'état, celui-ci aura alors à sa charge le démantèlement des panneaux et leur fin de vie au moment venu et a donc le choix entre :

- remplacer à ses frais les panneaux par des vitrages horticoles,
- signer de nouveau un bail avec un développeur (parfois le même) pour prolonger le contrat.
- trouver un autre acheteur à qui vendre son électricité.

Impacts du PV sur le système agricole et bonnes pratiques identifiées

Etats initiaux et parcours de production

Les serres photovoltaïques sont mises en place dans des exploitations horticoles aux productions diverses. Celles-ci adaptent alors leur itinéraire technique pour intégrer la serre dans leur fonctionnement. Dans l'exploitation rencontrée à la Réunion, cette adaptation s'est faite grâce aux conseils de la Chambre d'Agriculture et de la DAAF. Dans l'exploitation enquêtée en métropole, l'agriculteur a été accompagné par le développeur.
Le tableau ci-dessous présente les différents états initiaux possibles de l'exploitation, pour l'échantillon enquêté, avant la mise en place de la serre.

Etats initiaux possibles de l'échantillon enquêté	• Horticulture en plein air et pleine terre ou grandes cultures • Horticulture sous serres tunnels en plastique

Les effets de ce couplage sur le système agricole sont nombreux, et observables à trois échelles différentes : celle de la parcelle (résultats agronomiques, effets sur les rendements), celle de l'exploitation (effets économiques sur les débouchés, le chiffre d'affaire et la main d'œuvre) et celle du territoire (maillage agricole, paysage, environnement). Pour les quantifier, des états de référence peuvent être définis, correspondant à des situations sans installation photovoltaïque afin de servir de point de comparaison avec l'exploitation avec installation photovoltaïque.

L'un des deux retours d'expérience rencontré est un horticulteur-floriculteur qui cultive des plantes vivaces et des fleurs coupées sous serres tunnels (en plastique). Il a construit la serre photovoltaïque afin d'en faire un espace de stockage pour ses plantes vivaces. En effet, les autres productions horticoles et floricoles annuelles doivent être démarrées assez tôt. Dans son état initial, il sortait ses plantes vivaces des serres tunnels, où elles étaient stockées pendant l'hiver, lorsque les conditions météorologiques (température et intempéries) le permettaient. Or, le démarrage des plantations annuelles en horticulture et floriculture se faisait dans ces mêmes serres, et il regrettait une prise de retard dans ces productions.
La serre PV joue ainsi le rôle de serre d'hivernage : il ne s'agit pas d'une serre de culture, mais uniquement d'un espace de stockage qui permet de protéger ses plantes vivaces du gel. Ce faisant, il libère ses autres serres tunnels, qui lui servaient de serres d'hivernage et de serres de cultures, ce qui lui permet de démarrer ses autres productions plus tôt.
Dans ce cas de figure, le fonctionnement initial de l'exploitation peut servir de point de référence, tout comme le stockage de végétaux sous une serre en verre non photovoltaïque ou une serres tunnels (en plastique).

Etat de référence possible	• Comparaison avec des systèmes à niveau d'investissement similaire :
	  ○ Horticulture en plein champ et pleine terre quand le modèle d'affaires n'implique pas d'investissement de l'agriculteur
	  ○ Serres tunnels en plastique quand le modèle d'affaires nécessite un investissement modéré de l'agriculteur
	• Lorsque l'agriculteur possède une serre en verre et/ou une serre tunnel, elles peuvent servir de points de comparaison
	• Pour une utilisation de la serre PV comme une serre d'hivernage, trois états de référence ont été rencontrés lors des entretiens :
	  ○ L'état initial du fonctionnement de l'exploitation, avec un démarrage des productions floricoles et horticoles annuelles décalé dans le temps
	  ○ Un stockage sous une serre en verre
	  ○ Un stockage sous des serres tunnels en plastique

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de la parcelle

A l'échelle de la parcelle, différentes incidences du PV sur l'agriculture peuvent être identifiées. Le tableau ci-dessous résume les effets principaux des serres photovoltaïques, en comparaison avec différents points de référence : le plein champ et pleine terre, les serres tunnels et les serres multichapelles en verre.
Certains effets négatifs peuvent être limités par des bonnes pratiques, identifiées dans une colonne dédiée.

Le principal effet positif observé est celui de la protection des cultures face aux aléas climatiques par rapport à un plein champ et pleine terre, ainsi que celui d'une meilleure rétention de l'eau par rapport à un plein champ ou une serre tunnel grâce à la création de bassins de rétention. Ces effets ne sont pas spécifiques aux serres photovoltaïques, mais permettent aux agriculteurs de bénéficier de ces avantages à moindre coût.

En revanche, l'effet d'ombrage causé par les modules PV peut avoir un impact assez fort selon les types de cultures, notamment sur la quantité et la qualité des productions. Les types de serre, leur orientation et leur structure (ouvrants, portes…) ont un impact déterminant sur ces résultats. De plus, seule une faible diversité d'espèces semble adaptée à ces conditions d'ombrage.

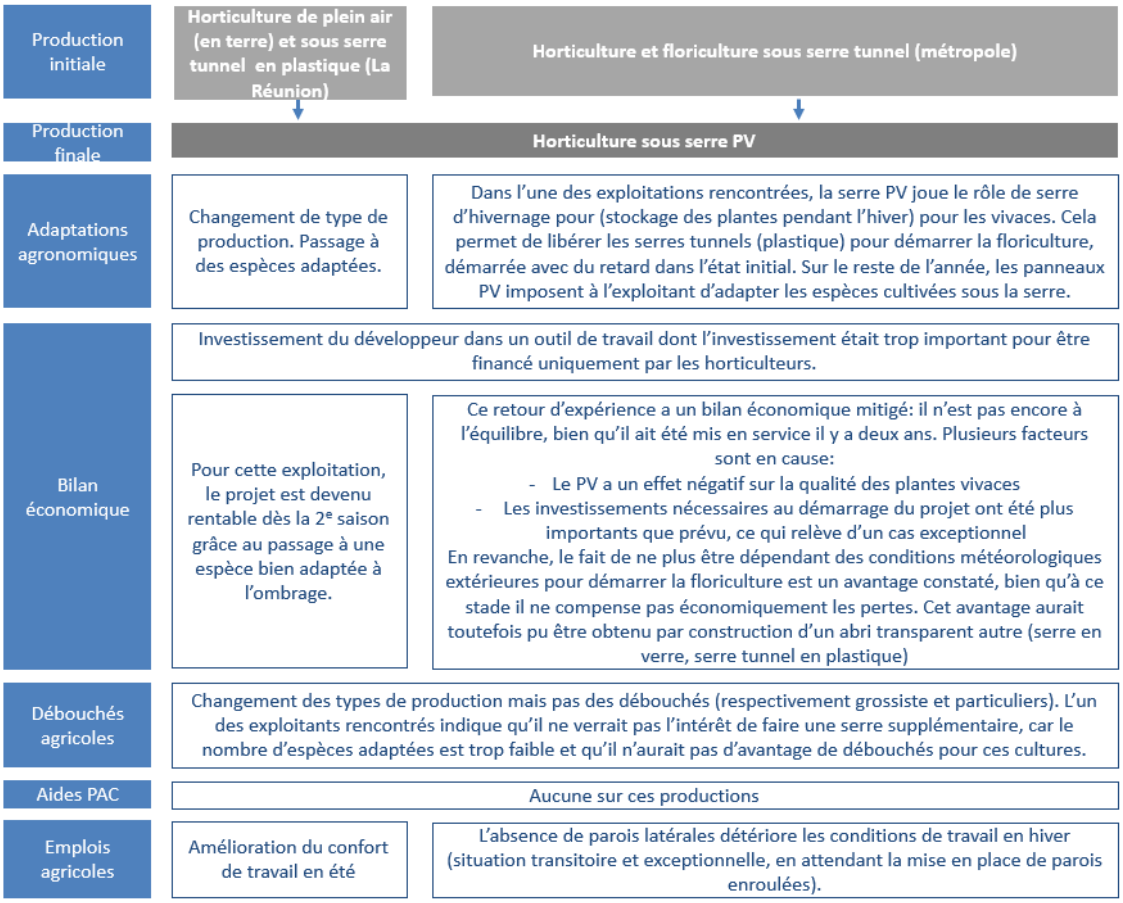
Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions micro-climatiques	**Augmentation de l'ombrage**	Dans certaines régions et pour certaines cultures, les serres tunnels nécessitent d'être blanchies en été. Les serres PV évitent ce travail.		Par rapport à un espace de stockage en plein air, sous serre en verre ou sous serre tunnel, la serre PV est plus ombragée, ce qui a des effets négatifs importants sur une grande partie des plantes vivaces stockées par l'exploitant en métropole. L'exploitant à la Réunion a également repéré des effets négatifs sur le Lys, les Roses et les Chrysanthèmes (plantes vivaces).	Choix de cultures adaptées aux conditions d'ombrage (plantes vivaces : fougères, hostas, pivoines, anthurium …)
	Effets sur l'hétérogénéité spatiale de lumière au sein de la serre		Pas d'effet notable constaté par les personnes enquêtées		
	Effet sur la chaleur	Plus frais qu'une serre en verre classique en été		Trop froid en hiver pour l'un des répondants	
	Effet sur la protection des cultures face aux aléas climatiques	Protection contre les aléas climatiques (tempêtes, grêle, gel…) par rapport à un plein champ	Effet similaire à celui d'une serre tunnel ou d'une serre verre		
Conséquence sur les rendements				De manière générale**, effet plutôt négatif sur les rendements**. Pour l'un des deux répondants (à la Réunion), les rendements sont comparables à une serre sans panneaux PV en été mais inférieurs en hiver. Pour l'autre (en métropole) les rendements sont mauvais de fin février à fin juin et comparables à une serre tunnels en plastique le reste de l'année. En particulier, la qualité des plantes se dégrade : elles montent plus et s'étiolent. Limitation du nombre d'espèces adaptées : l'un des deux répondants est en monoculture dans sa serre PV (par contrainte).	

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Itinéraires techniques	**Effet sur le calendrier cultural**		Pas d'effet notable pour l'exploitant produisant de l'anthurium.	Pour l'exploitant utilisant la serre PV comme serre d'hivernage pour ses plantes vivaces, l'effet positif attendu sur ses fleurs coupées (démarrage de la production plus tôt) n'a pas eu lieu. En effet, les impacts négatifs sur les plantes stockées ont été telles que la configuration initiale a dû être établie de nouveau.	
	Effet sur les adventices		Pas d'effet notable constaté par les personnes enquêtées		
	Effets sur les maladies et ravageurs		Pas d'effet notable constaté par les personnes enquêtées		
	Effets sur les intrants	Réduction des consommations d'eau : moins d'évapotranspiration et récupération des eaux de pluie par rapport à un plein champ. Protection prophylaxique des cultures, propice à une réduction des traitement phytosanitaires	Ces deux effets sont liés à la présence d'un abri, et sont donc similaires sous une serre tunnel ou d'une serre en verre.		

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de l'exploitation agricole

Les incidences du PV sur le système agricole à l'échelle de l'exploitation peuvent être globalement positifs comme négatifs. Cela semble dépendre de l'état initial de l'exploitation, de son fonctionnement ainsi que des conditions micro-climatiques.

Un point commun semble ressortir des deux retours d'expérience : peu d'espèces horticoles paraissent adaptées aux serres photovoltaïques. L'exploitant interrogé à la Réunion a d'ailleurs confié que ses débouchés étaient limités, et que malgré les bons résultats obtenus sur la production, il ne serait pas intéressé par le fait de construire une autre serre photovoltaïque.



Incidences du PV sur le système agricole : à l'échelle des territoires

A l'échelle du territoire, ces projets ont des impacts limités : le passage à des serres photovoltaïques n'a pas modifié les débouchés et circuits de commercialisation des deux horticulteurs interrogés.

Surfaces agricoles potentiellement concernées par ce système	
Les informations fournies dans ce tableau ne sont qu'indicatives. En effet, elles désignent un gisement brut : celui des surfaces actuellement occupées par de l'horticulture sous serre. Ces données ne fournissent pas une vision prospective, ni ne désignent le vrai gisement de surface disponible pour l'implantation de systèmes photovoltaïques. Pour cela, d'autres informations devraient être croisées, et notamment la compatibilité des installations PV avec ce mode de culture.	
Gisement de surface adressable en France	La surface totale occupée par les horticulteurs et pépiniéristes est de 16 152 hectares, dont 1 570 hectares couverts en serres et tunnels et 2 009 hectares de plates-formes hors sol (conteneurs)
Régions concernées par ce type d'installation	Régions du sud de la France essentiellement (Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, Provence-Alpes-Côte-d'Azur), île de la Réunion.
Nombre de projets correspondant au système	Moins d'une dizaine d'exploitations recensées pour ce système

Bilan du couplage - HORTICULTURE SOUS SERRE PHOTOVOLTAÏQUE

Les éléments dégagés précédemment permettent de tirer ce bilan du couple photovoltaïque – production agricole :

ATOUTS

Service agricole : Structure agricole à coût nul ou moindre coût pour l'agriculteur

OPPORTUNITES ET PRATIQUES D'INTERÊT

Travail sur la **conception de la serre** : hauteur, orientation, présence d'ouvrants, possibilité d'irrigation …

FAIBLESSES

Adaptabilité faible : Le partage de la lumière dans les serres n'est compatible qu'avec un petit nombre d'espèces horticoles cultivées, limitant de fait les débouchés possibles.

Pour la majorité des espèces**, fortes baisses de rendement, retards de croissance et diminution de la qualité** (étiolement).

La **rentabilité économique** n'est pas toujours assurée

MENACES ET PRATIQUES A LIMITER

Mauvaise réputation liée aux écueils de certaines installations (abandon de la production agricole sous serre).

Méconnaissance des effets de l'ombrage sur les productions horticoles

Manque de conseils des développeurs sur l'adaptation des itinéraires culturaux aux cultures et variétés envisagées

Sources
Entretien REDEN Solar *La serre photovoltaïque - Un outil agricole performant et durable – Reden Solar – septembre 2017*
2 retours d'expériences collectés lors d'entretiens
Etat de l'art bibliographique de la phase 1

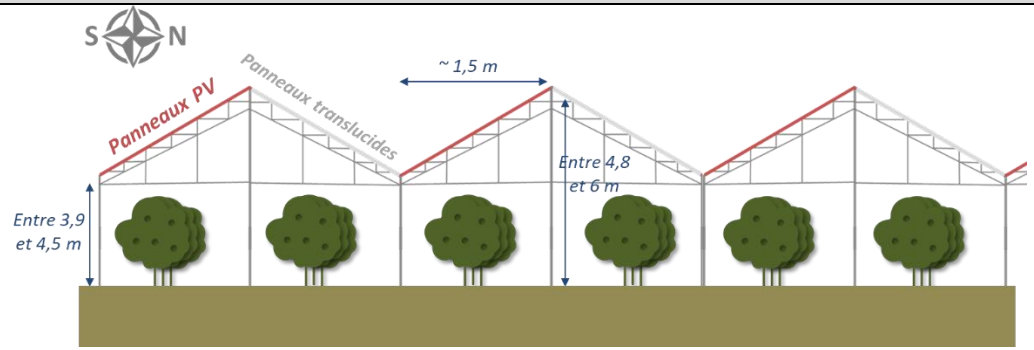
FICHE 4 - ARBORICULTURE SOUS OMBRIERE FIXE OU SERRE PHOTOVOLTAÏQUE

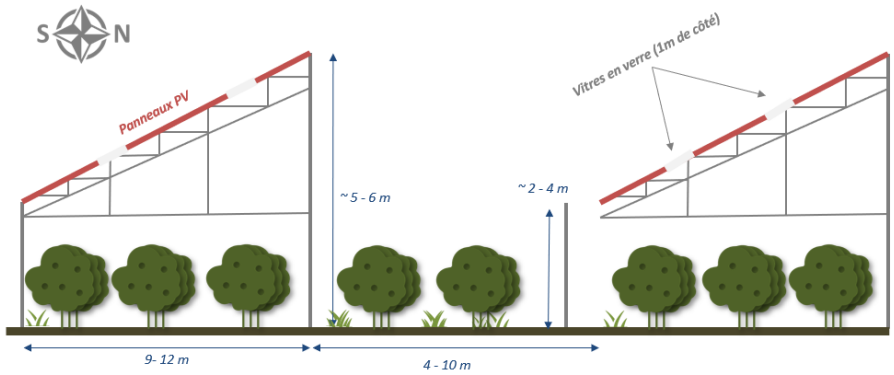
Description du couple « système photovoltaïque – production agricole » : modèle technico-économique

Le système décrit ici est celui d'une production arboricole sous des ombrières fixes photovoltaïques ou sous des serres photovoltaïques. Pour réaliser cette fiche, 5 exploitations agricoles ont été interrogées :

- Une exploitation produisant des kiwis rouges ;
- Une produisant du raisin, des cerises et des abricots ;
- Une autre produisant du raisin de table, en plus de maraichage (les retours obtenus sur le maraichage ont été reportés dans la fiche correspondante) ;
- Une produisant des fruits de la passion ;
- Une exploitation au stade de projet, ayant le souhait de produire des agrumes.

Les systèmes concernés sont résumés dans le tableau suivant :

Type de production	Type de structures PV	Schéma de fonctionnement	Système fréquemment rencontré ?
Arboriculture en monoculture ou arboriculture en association avec du maraîchage	Serres multichapelles avec ou sans parois latérales		Système le plus fréquemment rencontré en France (2 retours d'expérience enquêtés dont l'un à la Réunion, sur une serre sans parois latérales, lui permettant d'être qualifiée « d'anticyclonique »)

Type de production	Type de structures PV	Schéma de fonctionnement	Système fréquemment rencontré ?
Arboriculture en monoculture	Ombrières fixes (toiture sans aucune paroi verticale)		Système rencontré dans quelques installations en France (1 retour d'expérience exploitant et un projet d'expérimentation enquêtés)

Lorsque les cultures nécessitent des tuteurs, les rangées d'arbres sont plantées le long des pieds de la structure, et donc à la limite entre les panneaux PV et les vitres de verre.

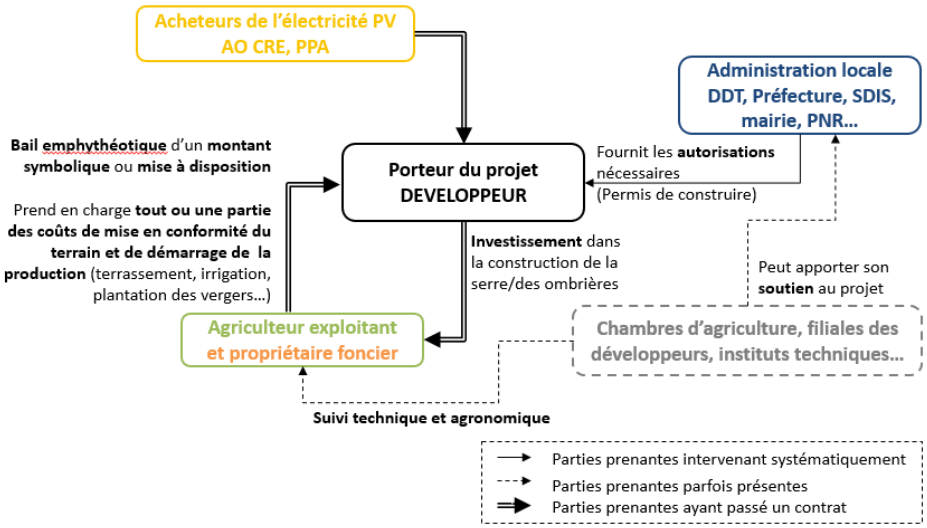
Ces différentes installations ont les caractéristiques techniques suivantes :

Caractéristiques techniques et impact sur le foncier agricole		
	Serres multichapelles	***Ombrières fixes***
Densité de puissance (MWc/ha)	~ 1 MWc/ha	0,7 à 0,9 MWc/ha
Puissance moyenne des installations (MWc)	4,5 MWc	9 MWc
Surface moyennes des projets	De 1,4 à 8,6 ha. Par rapport à la superficie totale de l'exploitation, cela représente des parts variables : de 35% à 100% de la surface de l'exploitation pour les retours d'expérience collectés.	De 9 à 13 ha Pour les deux retours d'expérience, quasiment l'intégralité des vergers était recouverte par les ombrières photovoltaïques.
Taux de couverture des panneaux photovoltaïques (surface de la parcelle couverte par les panneaux PV)	Environ 50% de couverture.	Environ 50% de couverture.
Type d'utilisation du sol	**Mêmes cultures sous les panneaux et entre les panneaux** : Kiwis rouges, fruits de la passion, vigne de table	**Mêmes cultures sous les panneaux et entre les panneaux** : Raisins (plutôt situés à la lumière), cerises, abricots, agrumes
Utilisation du sol avant le projet	Terrains agricoles uniquement. Dans l'un des cas, l'exploitant agricole est locataire d'une serre déjà en place, et ne sait pas ce qu'il y avait avant.	Terrains agricoles uniquement.

Acteurs impliqués et nature des implications

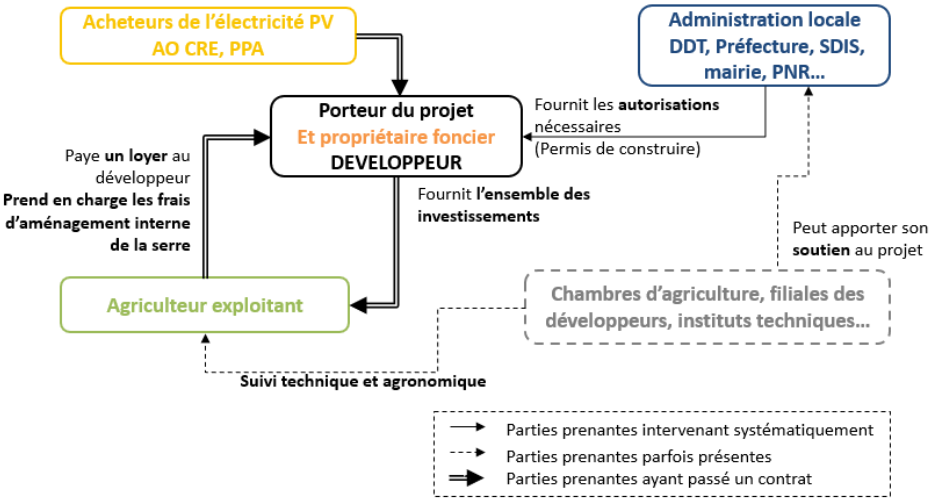
Les entretiens réalisés ont révélé différents types de modèles d'affaires.

1. Dans le modèle d'affaires le plus fréquent, l'agriculteur est le propriétaire des terrains agricoles. Le développeur, qui est porteur du projet photovoltaïque, bénéficie d'un bail emphytéotique d'un montant très faible ou d'une mise à disposition sans versement de loyer. Le développeur investit dans la construction de la structure photovoltaïque. Les agriculteurs prennent parfois en charge les travaux de mise en conformité du site et de récupération des eaux de pluies, lorsque ceux-ci sont nécessaires, ainsi que ceux liés au démarrage de la production agricole (plantation de vergers notamment). Ces coûts représentent en général entre 100 et 400 k€, et peuvent aller jusqu'à 1 million d'euros dans l'un des retours d'expérience rencontrés (encore au stade de projet).
   Dans ce modèle d'affaire, le principal intérêt des agriculteurs est qu'ils **bénéficient d'un outil agricole sans réaliser d'investissement**. Ce modèle d'affaires est résumé sur le schéma ci-dessous :

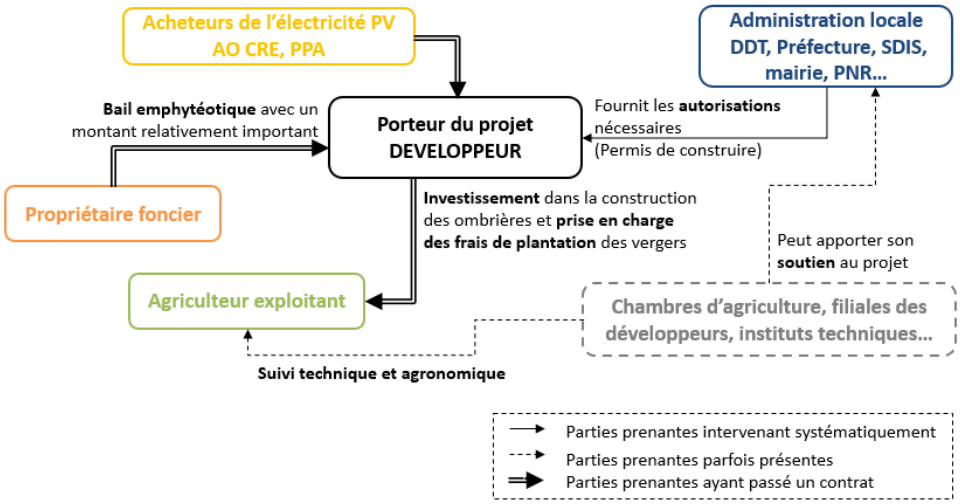


2. Un deuxième modèle d'affaire, plus rare, est celui où les développeurs sont propriétaires des terrains et des serres. Les agriculteurs payent alors un loyer pour avoir accès à ces installations. Leur intérêt réside alors dans **l'accès à du foncier supplémentaire** et à des **installations existantes sans investissement.** Dans ce modèle d'affaire, les agriculteurs prennent en charge les frais d'aménagement interne des serres (~500 k€ dans les retours d'expérience rencontrés).

   Cette situation est illustrée par la figure ci-dessous :



3. Dans un troisième modèle d'affaires, le propriétaire foncier est une tierce personne. Dans ce cas-ci, le développeur paye un loyer au propriétaire en plus de laisser l'exploitant agricole travailler sous les ombrières photovoltaïques. Dans le retour d'expérience rencontré pour ce modèle d'affaires, l'exploitant agricole était une filiale du développeur. L'exploitant bénéficie de la structure PV sans payer de loyer.
   L'intérêt de l'agriculteur réside alors dans le fait de pouvoir accéder à du foncier supplémentaire, bénéficier d'un abri et de nouveaux vergers **sans investissement ni loyer à payer.**



L'ensemble des retours d'expérience montrent que le **développeur** est le **propriétaire de la structure PV** pour une durée de **20** ou **30 ans**.

En ce qui concerne la fin de vie de la serre, trois cas de figure existent :
- La structure PV est rétrocédée à l'agriculteur en l'état,
- Le développeur prend en charge le démantèlement des structures,
- L'agriculteur prend en charge le démantèlement des panneaux PV et un remplacement par des vitrages (plus rare).

Dans les cas rencontrés, ces différentes options restent ouvertes et une négociation entre les différentes parties prenantes doit être menée.

Impacts du PV sur le système agricole et bonnes pratiques identifiées

Etats initiaux et parcours de production

Les structures photovoltaïques sont mises en place dans des exploitations agricoles aux productions diverses. Celles-ci adaptent alors leur itinéraire technique pour intégrer la serre dans leur fonctionnement. Le tableau ci-dessous présente les différents états initiaux possibles pour l'activité agricole, pour l'échantillon enquêté, avant la mise en place de la serre.

Etats initiaux possibles de l'échantillon enquêté	• Grandes cultures • Arboriculture de plein champ • Maraîchage sous serre tunnel ou en plein champ • Systèmes en élevage laitier avec transformation fromagère

Les effets du couplage PV- agriculture sur le système agricole sont nombreux, et observables à trois échelles différentes : celle de la parcelle (résultats agronomiques, effets sur les rendements), celle de l'exploitation (effets économiques sur les débouchés, le chiffre d'affaire et la main d'œuvre) et celle du territoire (maillage agricole, paysage, environnement). Pour les quantifier, des états de référence peuvent être définis, correspondant à des situations sans installation photovoltaïque afin de servir de point de comparaison avec l'exploitation disposant d'une installation photovoltaïque.

Etat de référence possible	• Vignes ou arboriculture de plein champ • Maraîchage sous serre tunnel ou en plein champ • Lorsque le projet permet à l'exploitant de cultiver des productions non envisageables autrement, il peut considérer ses productions antérieures comme état de référence. C'est le cas d'exploitations qui ont diversifié leur production (par exemple avec un état initial d'élevage laitier). • Lorsque le projet permet à l'exploitant d'accéder à un nouveau foncier, il peut considérer sa surface antérieure (plus petite) comme état de référence. • Lorsque l'agriculteur possède une serre en verre et/ou une serre tunnel, elles peuvent servir de points de comparaison.

Plusieurs exploitants enquêtés ont indiqué que certaines productions n'auraient pas été envisageables sans la mise en place d'une structure (photovoltaïque ou non) car :

- certaines productions nécessitent un support solide (armature métallique) pour servir de tuteur ;
- certaines variétés sont sensibles aux aléas climatiques et aux bioagresseurs.

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de la parcelle

A l'échelle de la parcelle, différentes incidences du PV sur l'agriculture peuvent être identifiées. Le tableau ci-dessous résume les effets principaux des structures photovoltaïques, en comparaison avec différents points de référence : le plein champ, les serres tunnels et les serres en verre.
Certains effets négatifs peuvent être limités par des bonnes pratiques, identifiées dans une colonne dédiée.

Le principal effet positif observé est la protection des cultures face aux aléas climatiques par rapport à une culture de plein champ, ainsi qu'une meilleure rétention de l'eau par rapport à une culture de plein champ ou une culture sous serre tunnel. Une meilleure protection face aux ravageurs et aux maladies est également souvent constatée. Ces effets ne sont pas spécifiques aux serres photovoltaïques, mais permettent aux agriculteurs de bénéficier de ces avantages à moindre coût.
A contrario, l'effet d'ombrage des modules PV peut limiter les rendements des cultures, et affecter la date de récolte (qui peut être retardée ou avancée selon les productions).

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions micro-climatiques	**Augmentation de l'ombrage**		Diminution potentielle des rendements compensée par des rendements plus constants dans le temps (protection du gel et de la grêle). Retours d'expérience rencontrés dans les exploitations produisant des kiwis rouges et du raisin de table.	Diminution des rendements par rapport au plein champ pour un des répondants (10t/ha contre 12t/ha pour des abricots en AB)	Choix des variétés les mieux adaptées
	Effets sur l'hétérogénéité spatiale de lumière au sein de la serre			La majorité des répondants notent une hétérogénéité de lumière. Certains répondants indiquent que l'hétérogénéité de lumière crée une hétérogénéité de rendement, ce qui leur pose problème, notamment sur des cultures de fruits de la passion. D'autres jugent cette hétérogénéité non problématique (kiwi rouge, abricots, vignes et cerises, dont les variétés ont été choisies pour être adaptées à l'hétérogeneité).	Mise en place de tôles diffusantes situées sous les toits pour limiter l'hétérogénéité lumineuse Mise en place de plantations différenciées selon les zones lumineuses
	Effets sur la chaleur	Dans certains cas, la température plus fraîche de la serre photovoltaïque est bénéfique : par exemple, pour certaines cultures comme les kiwis rouges sous serre multichapelle fermée (température plus fraîche qu'en serre tunnel), ou selon le contexte pédoclimatique comme à La Réunion (température plus fraîche que sous serre en verre). Dans les autres cas, l'effet positif mentionné est le fait d'avoir des écarts de température plus faibles entre l'hiver et l'été par rapport au plein champ, à une serre tunnel et à une serre en verre.			Choix des variétés les mieux adaptées, pilotage précis des ouvrants, couplage avec une irrigation pilotée
	Effet sur la protection des cultures face aux aléas climatiques	La protection face aux intempéries est un avantage soulevé systématiquement. Pour certains exploitants, cette protection permet d'obtenir des rendements moyens « réels » supérieurs au plein champ (réduction des pertes liées aux aléas climatiques) La résilience face aux épisodes de fortes chaleurs a été mentionnée par plusieurs répondants	Mêmes résultats qu'une serre ou ombrière en verre.		

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Itinéraires techniques	Effet sur le calendrier cultural		Récolte précoce pour le kiwi et le muscat, ce qui est un effet dû à la serre et non au photovoltaïque. L'effet d'ombrage provoque un retard de quelques jours sur les cultures d'abricots et de fruits de la passion, ce qui n'a pas d'impact particulier sur l'itinéraire technique.		
	Effet sur les adventices	Moins de pousse d'adventices par rapport à un plein champ	Mêmes résultats qu'en serre tunnel		
	Effets sur les maladies et ravageurs	Peut faciliter la mise en place de filets anti-insectes Réduction des maladies par rapport au plein champ ou aux serres tunnels (notamment les maladies liées à l'humidité ou la pluie)	Mêmes résultats qu'avec une serre ou une ombrière en verre		
	Effets sur les intrants	Deux répondants ont largement réduit leurs traitements phytosanitaires (de respectivement 75% et 80%) par rapport à un plein champ. Réduction importante de la consommation d'eau pour la majorité des répondants (moins d'évapotranspiration et mise en place de bassins de récupération des eaux de pluie).	Mêmes résultats qu'une serre ou ombrière en verre.		
	Effets sur les variétés cultivées	Par rapport à un plein champ, possibilité de cultiver de nouvelles variétés en apportant de nouvelles conditions climatiques	Mêmes résultats qu'une serre ou ombrière en verre		Choix des variétés les mieux adaptées

Dans l'ensemble, selon les retours d'expérience collectés, le bilan est plutôt positif sur la partie agronomique : les rendements sous structures PV sont jugés satisfaisants par rapport à l'état de référence. Dans le cas où le rendement théorique est plus faible sous panneaux PV qu'en plein champ, la protection des aléas météorologiques permet de limiter de nombreuses pertes au champ et les rendements « réels » sur les trois dernières années sont meilleurs que sur les parcelles voisines (plein champ).

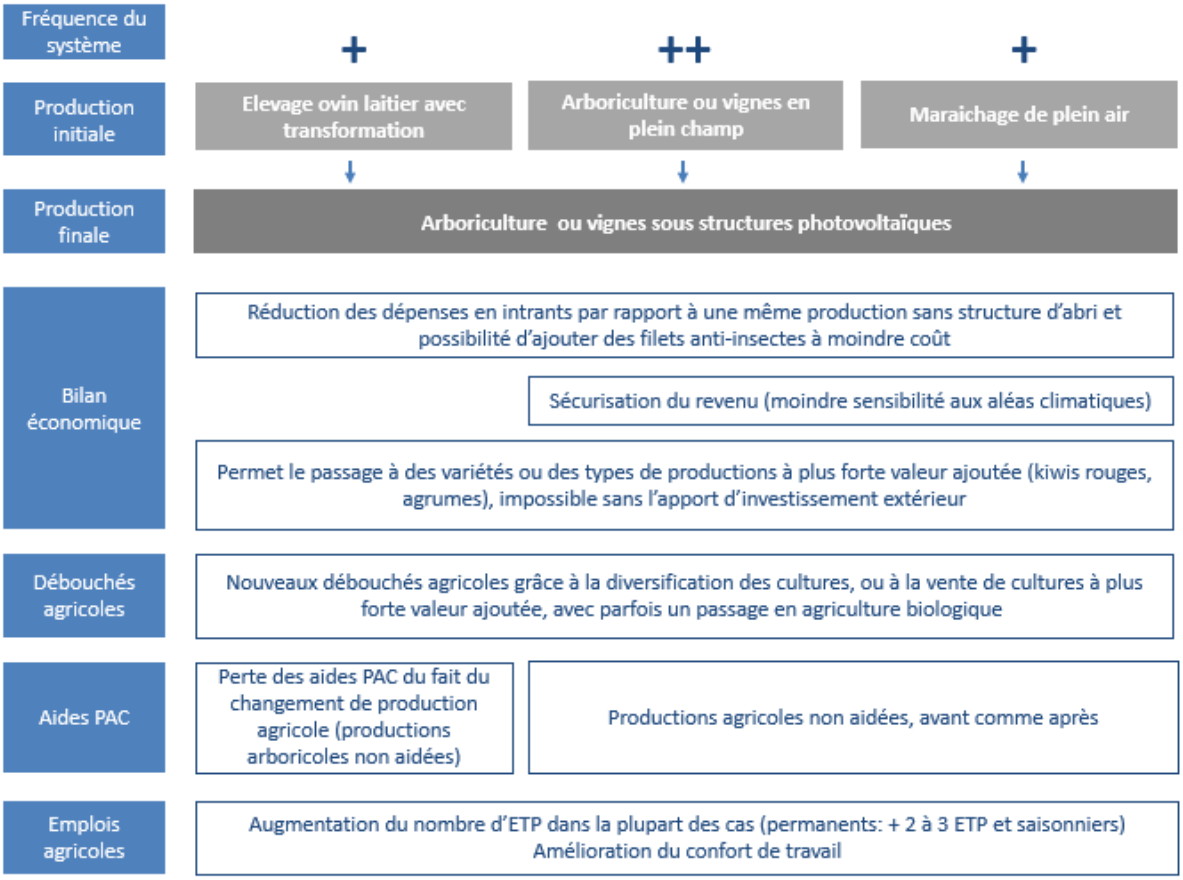
Incidences du PV sur l'activité agricole : à l'échelle de l'exploitation agricole

Les 3 exploitants interrogés affirment avoir augmenté leurs revenus grâce à l'installation photovoltaïque, pour plusieurs raisons :

- Productivité améliorée sur le long terme : moins de variabilité saisonnière sur les rendements et/ou la qualité
- Possibilité de travailler sur de nouvelles productions, plus rentables et/ou plus diversifiées
- Réduction de certains coûts (économie d'intrants)
- Accès à du capital (foncier, technique) auquel ils n'auraient pas eu accès autrement

Dans la majorité des cas, cette augmentation de revenus ne s'est pas faite dès la première année d'exploitation, mais après une à deux saisons.

Au-delà de l'impact économique, le confort psychologique pour l'agriculteur d'être protégé des intempéries est mentionné. D'autre part, le confort de travail est également amélioré pour la majorité des répondants.



Incidences du PV sur le système agricole : à l'échelle des territoires

A l'échelle du territoire, les structures photovoltaïques ont un impact paysager non nul.
Il convient de noter que ces structures offrent des protections sur des filières en déclin et fortement impactées par des aléas climatiques de plus en plus fréquents, et peuvent permettre de maintenir, voire de redémarrer ce type de production.
Enfin, l'utilisation de telles structures dans des filières fortement consommatrices d'intrants peut permettre d'encourager une réduction importante de ces derniers.

Surfaces agricoles potentiellement concernées par ce système	
Les informations fournies dans ce tableau ne sont qu'indicatives. En effet, elles désignent un gisement brut : celui des surfaces actuellement occupées par de l'arboriculture. Ces données ne fournissent pas une vision prospective, ni ne désignent le vrai gisement de surface disponible pour l'implantation de systèmes photovoltaïques. Pour cela, d'autres informations devraient être croisées, et notamment la compatibilité des installations PV avec ces productions.	
Gisement de surface adressable en France	L'arboriculture concerne un peu plus de 14 000 exploitations en France pour une surface totale d'environ 120 000 ha. Ces exploitations se trouvent principalement dans le sud de la France : Nouvelle-Aquitaine, Occitanie, Auvergne Rhône-Alpes, PACA. Les vignobles représentent une surface de 750 000 ha pour 85 000 exploitations. Les principales régions concernées sont la Nouvelle-Aquitaine, l'Occitanie, la région PACA, Auvergne Rhône-Alpes, mais également les régions Pays de la Loire et Alsace.
Régions concernées par ce type d'installations	Les régions concernées se situent principalement dans le sud de la France : Corse, Occitanie, Auvergne-Rhône Alpes et Nouvelle-Aquitaine et dans les DOM (La Réunion notamment).
Nombre de projets correspondant au système	Seulement une dizaine de projets recensés, et plusieurs au stade de projet.

Bilan du couplage - ARBORICULTURE SOUS OMBRIERE FIXE OU SERRE PHOTOVOLTAÏQUE

Les éléments dégagés précédemment permettent de tirer ce bilan :

ATOUTS

- **Structure agricole à coût nul ou moindre coût pour l'agriculteur**
- Accès à du **foncier supplémentaire** grâce à la mise en location de terrains
- **Protection contre les aléas climatiques**
- **Bonne rentabilité économique dans les retours d'expérience rencontrés**

FAIBLESSES

- **Adaptabilité limitée du système :** Nombre de variétés limité pour lesquelles le rendement ne diminue pas
- **Partage de la lumière** Peut être la cause de baisses de rendement ou d'un décalage des dates de récolte dus à l'ombrage des panneaux (souvent compensé sur le long terme par une meilleure protection de la structure face aux aléas climatiques)
- **Impact paysager** qui peut être important les structures sont hautes

OPPORTUNITES ET PRATIQUES D'INTERÊT

- **Choix des cultures adaptées aux conditions climatiques sous les panneaux PV qui semble déterminant pour obtenir de bons résultats**
- **Gestion de l'hétérogénéité de la lumière** par des plantations différenciées ou l'utilisation de matériel permettant de diffuser la lumière limitent les variabilités de rendement ou de **qualité ou sein des parcelles**

MENACES ET PRATIQUES A LIMITER

- Modification potentiellement profonde des productions habituelles de l'exploitation si l'activité agricole initiale est différente
- **Réversibilité du système :** la fin de vie des projets reste souvent à négocier avec le développeur
- **Accompagnement technique** et agronomique rarement proposé par le développeur (1 retour d'expérience sur 3)
- **Occupation de surface agricole** : Adapté préférentiellement à des terrains agricoles de grande dimension

Sources
Cultures agricoles - Sous serre photovoltaïque - Reden Solar - avril 2019 *La serre photovoltaïque - Un outil agricole performant et durable – Reden Solar – septembre 2017* *Entretien REDEN Solar* *http://www.arboriculture-fruitiere.com/articles/technique-fruit/une-production-de-kiwis-sous-serres-photovoltaiques* *http://www.bio-provence.org/IMG/pdf/compte_rendu_visite_abricotiers_sous_ombrieres_photovoltaiques.pdf* *https://www.akuoenergy.com/fr/documents/getPdf/fonds-maif-transition-akuo-energy-et-maif.pdf* *Entretien Akuo* *Etat de l'art bibliographique de la phase 1*
4 sites en exploitation et 1 projet en expérimentation enquêtés lors d'entretiens

FICHE 5 - PRODUCTION VEGETALE DE PLEIN CHAMPS SOUS OMBRIERES MOBILES

Description du couple « système photovoltaïque – production agricole » : modèle technico-économique

Les systèmes d'ombrières dynamiques permettent de moduler l'ombrage sur les plantes grâce à un pilotage des panneaux photovoltaïques. Ces technologies permettent, soit de jouer sur l'orientation des panneaux sur 1 ou 2 axes (2D ou 3D), soit de jouer sur la surface des panneaux grâce à un système coulissant. Cela permet, en fonction des objectifs du projet :

- de fournir de l'ombre aux plantes, notamment pour réduire l'évapotranspiration, ou de laisser passer la lumière ou la pluie vers les plantes (certains systèmes sur 1 ou 2 axes permettent aux modules de s'« effacer » en étant positionnés parallèlement aux rayons du soleil ou à la pluie, laissant entre 10 à 30% d'ombrage résiduel selon les technologies : panneaux, structure, moteurs, etc.),
- de fournir une protection physique aux plantes permettant une adaptation aux conditions climatiques,
- d'optimiser la production solaire voire, de suivre le soleil (*solar tracking*).

Les ombrières mobiles, parfois aussi appelées « persiennes » ou « solution agrivoltaïque dynamique » par les développeurs[17] sont encore peu déployées en France (et dans le monde) d'un point de vue commercial, et les projets existants concernent principalement des sites d'expérimentations non raccordés au réseau ou des démonstrateurs de petite taille.
A l'heure actuelle en France, les plus gros projets existants sont :

- un projet de 90 kWc (30+60 kWc sur 2 parcelles d'un même agriculteur dans les Bouches du Rhône pour les ombrières de la société OMBREA,
- un démonstrateur de 120 kWc en France pour les ombrières de la société REM-TEC en partenariat avec EDF Renouvelables sur le site des Renardières en Seine-et-Marne (à noter que cette société dispose aussi de 3 projets en exploitation depuis 2011 au Nord de l'Italie - 1,2, 1,3 et 3,2 MWc - ainsi qu'une dizaine de site de 100 kWc au Japon) et un site de 544 kWc en Chine.
- un démonstrateur de 2,1 MWc sur 4,5 ha dans les Pyrénées Orientales, et 3 dispositifs expérimentaux (Piolenc, La Pugère, Lavalette) pour les ombrières de la société SUN'AGRI.

A noter que des projets de nouvelles installations sont attendus en 2021 en France pour ces 3 sociétés, voire pour d'autres technologies d'ombrières.

Vues par satellite de sites équipés d'ombrières mobiles. De gauche à droite : OMBREA (13), REM-TEC (Emilie-Romagne, ITALIE), SUNAGRI (66). Crédits photographiques : Google Maps, 2020.

Les trois sociétés précitées partent du postulat suivant **:** le bilan du couplage doit être systématiquement bénéfique pour la production végétale associée, et seuls des systèmes mobiles avec un pilotage des modules photovoltaïques au service de la plante peuvent améliorer la performance agricole, en prenant notamment en compte les variations climatiques infra- et interannuelles.
Ce postulat commun masque des divergences de point de vue entre fabricants sur l'algorithme de pilotage des panneaux, la méthode pour alimenter et paramétrer ce modèle de pilotage, le type de panneaux et leur orientation, le taux de couverture et le type de structure PV à privilégier. Nous sommes en tous cas dans une phase de maturation de ces technologies pour lesquelles une standardisation n'arrivera que plus tard.
Il convient de noter que, quoi qu'il en soit, compte tenu du caractère récent de ces technologies, les retours expérimentaux sont peu nombreux et nous n'en sommes qu'au début de l'histoire de l'optimisation microclimatique. Ainsi, la mise en place d'algorithmes intelligents de pilotage des modules photovoltaïques permettant une amélioration de la croissance des plantes nécessite d'atteindre une masse critique de données pour de nombreuses cultures et sur plusieurs années avant d'être

[17] Le terme d'ombrière demeure encore le plus utilisé dans les experts que nous avons consultés ou au sein du comité technique de l'étude. En revanche, notons que ce terme peut apporter une confusion car la profession parle aussi d'ombrières pour les auvents de parking alors qu'il s'agit d'un produit différent. Ceci explique la volonté de certains acteurs d'utiliser le terme de « persiennes ». Cette fiche n'a pas vocation à résoudre ce débat.

totalement opérationnelle. A ce stade de développement de la technologie, il est ainsi difficile de parler « d'intelligence artificielle » ou « d'algorithmes intelligents », et il semble plus judicieux d'utiliser une formulation du type « pilotage basé sur la connaissance des stades phénologiques, les prévisions météo et les données in-situ », ce qui n'enlève rien aux possibilités futures d'amélioration des pilotages des modules.

Cette fiche n'a pas vocation à discriminer un système par rapport à l'autre[18] mais à compiler les données disponibles et non confidentielles sur ces ombrières mobiles pour les productions végétales de plein champ. Elle s'appuie sur plusieurs échanges par visioconférence, téléphone et mail avec les 3 sociétés précitées (OMBREA, REM-TEC, SUN'R/SUNAGRI), ainsi que sur une enquête téléphonique auprès de :

- 2 sites expérimentaux : 1 en arboriculture, 1 en vigne.
- 2 agriculteurs exploitant des parcelles de vignobles avec démonstrateurs agrivoltaïques (départements 66 et 13)
- 3 agriculteurs impliqués dans des projets en cours d'instruction et imminents : 1 en arboriculture dans les Pyrénées Orientales, 1 en vigne dans l'Aude, 1 en horticulture (pivoines, dans le Var)

Les projets et dispositifs expérimentaux enquêtés montrent que les développeurs de solutions d'ombrières mobiles ciblent principalement les zones les plus impactées par les changements climatiques (pourtour méditerranéen jusqu'à présent, avec des projets à venir dans le grand Sud-Ouest) et les cultures fortement consommatrices d'eau comme la vigne, les fruits à pépin/noyaux, le maraichage, l'horticulture et le riz.

Photos de projets avec la technologie de panneaux coulissants développée par OMBREA (crédits photographiques : OMBREA, 2020).

Photos de projets avec la technologie REM TEC sur tracker bi-axes (crédits photographiques : REM Tec, 2020).

Photos de projets avec la technologie de panneaux pivotants mono-axes développées par SUNAGRI (crédits photographiques : SUNAGRI, 2020).

[18] Les fabricants seront cités par ordre alphabétique dans cette fiche descriptive.

Caractéristiques techniques et impacts sur le foncier agricole

S'agissant de l'ombrage projeté sur la parcelle, les systèmes présentés dans le tableau ci-dessous, d'apparence proches, possèdent des caractéristiques qui les différencient fortement.
Les systèmes orientables sur axe(s) ont la capacité d'incliner leurs modules, voire de s'effacer quasi totalement en orientant les panneaux parallèlement aux rayons du soleil ou à la pluie. Ce dernier point est crucial car il nécessite des arbitrages complexes entre production agricole et production énergétique. En revanche, ils induisent des alternances ombre/lumières qui peuvent être plus ou moins tolérées selon le type de plante, sachant que le risque de brûlure des feuilles et des fruits est plus fort en cas d'alternance rapide sous un ensoleillement important.
Grâce à leur double orientation, les trackers bi-axes permettent des variations d'ombrage plus fines et plus précises. Les systèmes rétractables, quant à eux, ne peuvent pas s'effacer totalement. Leur exposition sud à 30° permettrait à priori de limiter les alternances d'ombrage pour les plantes avec des *extrema* moins prononcés en termes de rayonnement et d'ombre, et un ombrage maximal au pic de rayonnement à la mi-journée. Les systèmes existants ont aussi des empreintes au sol différentes compte tenu des différents types de structures utilisés, les structures à haubans ayant une empreinte très réduite.

Ces éléments purement factuels ne présagent en rien de la supériorité d'un système par rapport à un autre. En effet, les impacts seront différents selon le moment de l'année, la latitude, le type de culture en place, l'année climatique, etc. Les avantages/inconvénients de chaque technologie et leur capacité à apporter une solution concrète pour une culture donnée dans un contexte donné doivent encore être approfondis, car les retours d'expérience disponibles restent encore limités et non généralisables.

Type d'installation PV	**Ombrière mobile par translation (système OMBREA)**	**Ombrière mobile par inclinaison bi-axiale[19] (système REM tec)**	**Ombrière mobile par inclinaison mono-axiale (système SUN'R)**
Installations actuelles	4 installations : 2 sur vigne chez le même exploitant agricole (parcelle de 3000 m2, dans le 13), 1 sur horticultures (parcelle de 500 m2, dans le 84) et 1 sur maraichage (parcelle de 600 m2, dans le 13)	Site expérimental EDF de 120 kWc en France. 3 sites dans la vallée du Pô en Italie (1,2, 1,3 et 3,2 MWc) sur grandes cultures. Une dizaine de sites de 100 kWc au Japon, et un référence d'une capacité de 544 kWc en exploitation depuis 2016 en Chine.	1 démonstrateur (2,1 MWc, 4,5 ha) sur vignes dans le 66. 2 sites sur des stations expérimentales, non reliés au réseau : Piolenc (vignes) et la Pugère (arboriculture).
Puissance installée/ha	~0,4 MWc/ha en moyenne.	Entre 0,75 kWc et 1 MWc	~0,75 MWc/ha en moyenne
Productible en MWh/ha (en mode *tracking* solaire pur, sans effacement)	~ 700 MWh/an/ha (sans effacement, dans le 05).	Par rapport à la technologie fixe : + 45-50% sur du 3D (sans effacement) et + 25% du 2D (sans effacement)	~ 1240 MWh/an/ha (sans effacement, dans le 66)
Perte admise de productible pour gestion du pilotage	20 à 30%	Non communiqué.	<20 %
Taux de couverture (surface de la parcelle couverte par les panneaux PV)	De 7 (rétracté) à 25% (déployé) de taux de couverture, mais impossibilité de descendre sous les 7% car système coulissant.	- Jusqu'à 15 % de taux de couverture pour des panneaux à plat pour le tracker 1.0 - Jusqu'à 45 % de taux de couverture pour des panneaux à plat pour la tracker 2.0 - Effacement possible des modules jusqu'à 70 ° sur l'axe primaire et 90 ° sur l'axe secondaire Le taux de couverture dépend de l'espace entre axes qui, chez REM Tec, varie selon le type de culture mis en œuvre par l'agriculteur.	<40% de taux de couverture pour des panneaux à plat. Effacement possible des modules jusqu'à 90°.
Hauteur des panneaux	~ 4 m sur les installations actuelles, 2,4-2,5m en horticulture.	4,5 m au-dessus du sol généralement, jusqu'à 6m.	4,5 m sur les installations actuelles
Ecartement entre poteaux (pieu à pieu)	Entre 3,8 et 5m sur les installations actuelles	Entre 12 et 18m selon les cultures (structure suspendue avec des haubans, qui permet de réduire le nombre de poteaux).	Entre 9m et 11m sur les installations actuelles
Orientation des panneaux	Sud, inclinaison de 30°.	Tri-dimensionnelle	Est-Ouest, sur un axe Sud-Nord.

[19] La technologie bi-axiale de REM-TEC permettant aux panneaux de s'orienter dans 3 dimensions concerne uniquement les zones tempérées. Pour les zones tropicales et équatoriales, REM-TEC a choisi une technologie 2D mono-axe, car cette dernière serait suffisante compte tenu de la trajectoire du soleil sous ces latitudes.

Acteurs impliqués et nature des implications

En ce qui concerne les modèles d'affaires, les concepteurs de ces ombrières mobiles souhaitent apporter un service à l'agriculteur, notamment en protégeant les cultures : c'est pourquoi l'exploitant ne perçoit pas de rémunération, ni d'indemnité en échange de la présence des panneaux. En effet, dans ces projets, le besoin est normalement exprimé par l'agriculteur et la structure PV y répond en apportant une amélioration de la performance agricole.
Les modèles d'affaires avancés par les développeurs pour leurs projets à venir fonctionnent sur la base de montages tripartites (avec des nuances) : l'agriculteur exploite la parcelle agricole, une société de service assure le service agronomique (pilotage des panneaux), un développeur exploite la centrale électriquement.
Dans les faits, ces systèmes étant au stade de la démonstration à grande échelle, les développeurs assurent, à ce stade, le double rôle de développeur et de pilote des panneaux, voire de producteurs d'électricité. Par la suite (hors démonstrateurs), l'indépendance des 2 entités devra être questionnée puisque la société de service pourrait être une filiale d'un développeur.

Un **bail emphytéotique** sur 30 ans, voire 35 ans, est conclu entre le développeur et le propriétaire foncier. Dans la totalité des cas rencontrés, le propriétaire est aussi l'exploitant, les développeurs cherchant pour l'instant à minimiser la complexité des montages de projets. L'investissement est aussi majoritairement porté par des acteurs privés. Concernant ce dernier point, il doit être souligné l'émergence de projets (récents ou à venir très prochainement) où l'agriculteur co-investit dans la structure. Ce dernier peut même porter la totalité de l'investissement dans le cas de projets de petite taille (dans ces cas-là, il n'y a plus de développeur à proprement parler et l'agriculteur traite avec la société de service qui apporte la solution).
Soulignons que la contractualisation sur 20 ans entre l'agriculteur et un producteur d'énergie pour l'achat de l'électricité produite permet aux agriculteurs d'obtenir auprès des banques des emprunts sur 20 ans, contre 10 ans habituellement.

La **société de service** peut détenir la propriété intellectuelle du dispositif (brevet(s)). Elle met à disposition la technologie à un développeur (en tant que fabricant de la structure) et une prestation de pilotage et d'accompagnement agronomique à l'exploitant agricole, en s'appuyant sur un jeu de capteurs permettant de suivre les données climatiques[20]. Dans les faits et à ce stade de développement de cette filière, il est difficile de généraliser ces montages juridiques car il peut y avoir de nombreuses nuances. Par exemple, la société de service en question peut être une structure adossée ou fondée par le développeur, voire intégrée par le développeur. Le détenteur de la technologie (qui peut être un développeur comme c'est, pour l'instant, le plus souvent le cas) peut choisir de développer lui-même les projets dans les pays où il est historiquement implanté, et de fonctionner sous licence grâce à des partenariats avec d'autres développeurs dans certains pays où il est moins compétent.

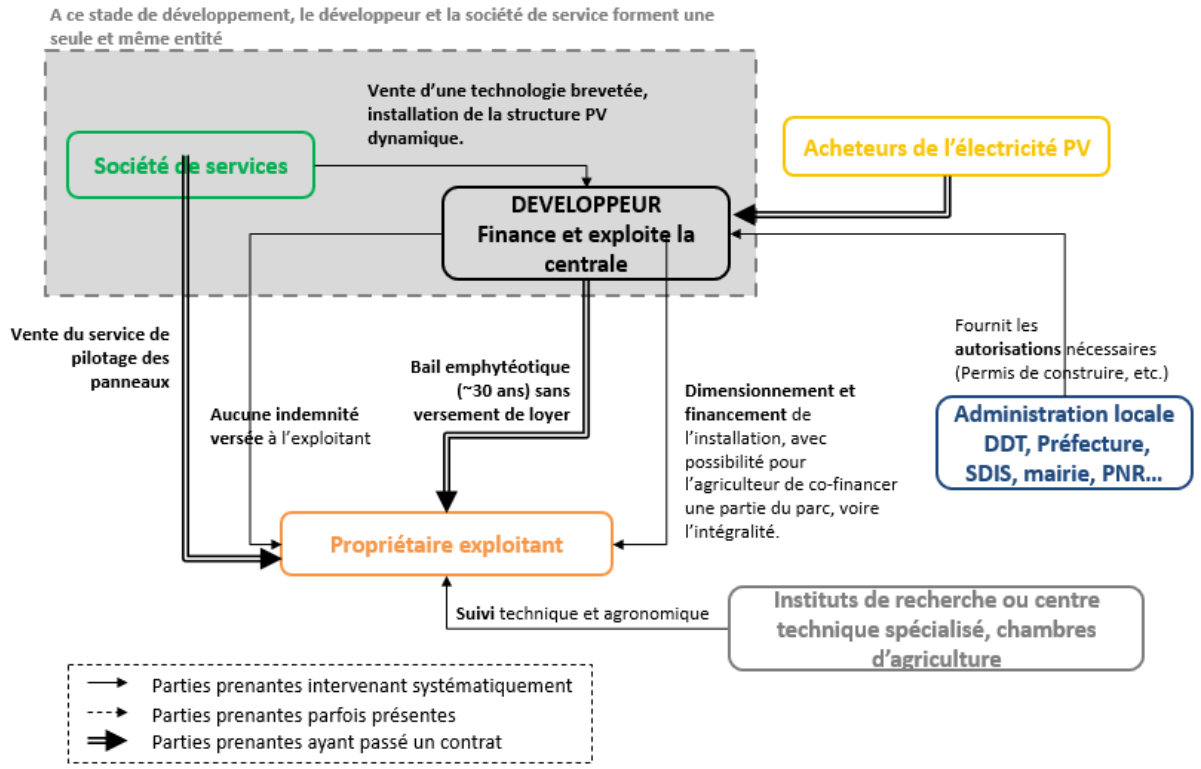
Compte tenu du fait qu'il existe une concurrence importante entre développeurs et que la majorité des projets actuels sont seulement des démonstrateurs, il est difficile de fournir des montants sur les prix des principales transactions ayant lieu au démarrage et pendant les projets. Nous avons quelques retours à prendre avec beaucoup de recul car pouvant fortement varier sur la vente du service de pilotage à l'agriculteur : environ 150 €/mois pour une unité de 100 kWc, même si dans les faits, elle est pour l'instant toujours offerte aux agriculteurs compte tenu du caractère pionnier des projets.

Dans la totalité des projets enquêtés, des organismes indépendants sont associés pour le **suivi de la partie agronomique** : INRA, Institut technique spécialisé (ASTREDHOR, CTIFL, IFV, etc.), Chambres d'agriculture départementales, centre techniques locaux d'expérimentation, Universités locales, etc.

Concernant la **commande de l'orientation des panneaux** pour l'agriculture, l'agriculteur n'a pas directement la main dessus, car il n'en a pas la compétence agronomique, le prestataire de service en charge du pilotage a une compétence que l'agriculteur n'a pas et doit également pouvoir contrôler l'équilibre économique global de la centrale, mais aussi pour des raisons de réglementations et de responsabilités eu égard aux assurances. Cependant, si le contrôle de l'installation ne peut pas être donné directement à l'agriculteur, il peut contacter le prestataire agrivoltaïque, par exemple en cas d'opération technique ou d'évènement climatique. Ce dernier peut alors intervenir à distance pour modifier l'orientation des panneaux. L'agriculteur et le prestataire échangent également des informations agronomiques relatives aux différents stades de croissance de la plante, aux performances, consommations, afin que le pilotage puisse être adapté.

[20] Grâce à une application sur son téléphone, l'agriculteur peut reprendre la main sur le pilotage s'il le souhaite, notamment lors d'opération culturales ou d'optimisation des périodes de récolte.

Le montage de projet générique pour les ombrières mobiles sur productions végétales de plein champ est résumé dans le diagramme suivant :



Impact du système agricole sur la production photovoltaïque

Certains développeurs enquêtés évoquent un gain de rendement PV d'environ 1% lié à la baisse de température générée par la transpiration des plantes ou l'effet de l'albedo pour des panneaux situés à des hauteurs supérieures à la moyenne.

Concernant le **productible annuel,** il est fortement influencé par le niveau d'effacement des panneaux aux phases cruciales de développement des plantes, et dépend donc fortement des besoins de la culture en place, du type de pilotage utilisé et du climat. Le type de structure (panneaux coulissants ou sur trackers 2D ou 3D) influencent aussi le profil de production journalier. Pour augmenter le productible perdu via le pilotage agronomique, ces ombrières utilisent souvent des panneaux bifaciaux verre-verre et doivent ainsi optimiser leur LCOE entre CAPEX et rendement.

Ces installations ont aussi des coûts d'OPEX et de CAPEX différents mais les détails communiqués par les développeurs ne nous permettent pas de fournir des LCOE détaillés par type d'installation. Les développeurs enquêtés communiquent globalement sur des **LCOE de 40 à 60% supérieurs** à des installations classiques de type centrale au sol. Il est ainsi envisageable de penser que ces LCOE se situent entre 80 et 130€ du MWh pour des puissances par projet de l'ordre de 3MWc. Ces coûts peuvent être expliqués pour les raisons suivantes :

- un stade de production encore peu élevé (en démonstration, donc peu d'économies d'échelle). Vu qu'il s'agit d'une technologie encore jeune, les quantités produites n'ont pas encore atteint la production de masse qui permettra une forte réduction des coûts.
- un besoin d'effacement au profit du besoin en rayonnement de la culture (entre 10 et 15% de hausse sur le LCOE),
- des frais d'abonnement potentiels pour le pilotage des modules,
- une plus grande quantité d'acier utilisée (hauteur),
- et un fort accompagnement agronomique (suivi scientifique).

Le développement à venir de nouvelles installations devrait engendrer, par économie d'échelle, une baisse des coûts de financement de ces structures (économies de CAPEX), ainsi qu'une baisse des coûts d'exploitation (économies d'OPEX).

Impacts du PV sur le système agricole et bonnes pratique identifiées

Etats initiaux et parcours de production

Dans le cas des ombrières dynamiques, il n'y a pour l'instant pas de différences entre état initial et état final. Au stade actuel de développement et de connaissances, la synergie apportée par la structure PV n'a pas vocation à aller vers de nouvelles productions mais bien de protéger ou d'optimiser les productions déjà présentes sur l'exploitation agricole.

En revanche, l'installation sur des cultures pérennes en cours d'exploitation est complexe à réaliser sans impacter le sol ou la culture en place. Les projets développés où programmés à court terme concernent majoritairement des renouvellements de vergers ou de vignobles suite à des arrachages ou renouvellement variétaux.
Ceci explique ainsi l'attente de retours d'expérience sur les rendements et la qualité des cultures compte tenu de la période nécessaire (3-5 ans) pour l'entrée en production d'un verger, d'un vignoble ou de certaines productions horticoles pluriannuelles. La quantité de données disponible devrait donc logiquement croitre fortement à très court terme. Certains développeurs interrogés ont déjà réalisé ou travaillent actuellement au développement de solutions de poses par le haut (grues et hélicoptères) qui permettraient de poser et fixer les structures photovoltaïques sans endommager le sol.

Etats initiaux possibles de l'échantillon enquêté	• **Viticulture** • **Arboriculture de plein champ (pommiers)** • **Horticulture (pivoines)**

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de la parcelle

A l'échelle de la parcelle, différentes incidences du PV sur l'exploitation agricole peuvent être identifiées. **Les 4 tableaux ci-dessous fournissent les effets principaux des ombrières dynamiques sur 4 productions de plein champ : viticulture, arboriculture, horticulture et maraîchage.** Certains effets négatifs peuvent être limités par des bonnes pratiques, identifiées dans une colonne dédiée. Ces tableaux ne sont que partiellement remplis, et des expérimentations existantes n'ont pas été renseignées, la profondeur d'analyse s'arrêtant naturellement aux informations mises à disposition par les opérateurs.
D'autre part, il convient de souligner que les expérimentations réalisées par l'INRAe qui sont citées dans le rapport d'état de l'art auquel cette fiche est annexée ou encore les dispositifs expérimentaux enquêtés (La Pugère et Piolenc) n'en sont qu'à leurs premières années d'expérimentations. Ils tendent aussi à forcer l'ombrage et les modalités de pilotage des panneaux afin de comprendre l'effet de l'ombrage à chaque stade végétatif. Les densités de panneaux sont d'ailleurs supérieures sur les sites expérimentaux par rapport aux démonstrateurs. D'autre part, la majorité des retours d'expérience portent sur les campagnes de production 2019 et 2020, qui sont 2 années plus chaudes que la moyenne, avec des étés secs ponctués d'épisodes de canicule récurrents, et des hivers plus doux que la normale. Le changement climatique devrait certes augmenter la fréquence des été secs et chauds et des hivers doux, mais ces 2 années favorables à l'agrivoltaïsme doivent nous inviter à rester mesurés sur le bilan du couplage observé. Etablir un bilan robuste concernant les incidences de ces ombrières sur le système agricole n'est donc pas possible, compte tenu du faible recul dont nous disposons actuellement : les premiers résultats n'étant pas totalement représentatifs des futures installations.

VITICULTURE

La synergie recherchée avec la vigne concerne principalement, dans un contexte de changement climatique, la diminution du stress hydrique et la baisse du taux de sucre des baies qui se répercutera sur le degré d'alcool et la qualité organoleptique.

Pour l'instant, les recherches cherchent à comprendre quel taux d'ombrage est nécessaire pour chaque stade phénologique, avec un focus particulier sur les étapes critiques que sont le débourrement (développement des bourgeons) et la véraison (changement de couleur du grain).

La présence des poteaux entraîne des difficultés de mécanisation au droit de ceux-ci, notamment pour les vendanges. Pour traiter cette difficulté, trois choix sont possibles et ont été remontés via les enquêtes :

- ne pas cultiver sous les poteaux, ce qui entraîne une perte de surface de 20% en théorie mais que la vigne tend à compenser en production car il y a moins de compétition,
- vendanger à la main les vignes proches des poteaux concernés (généralement 1 rang sur 3, 4 ou 5),
- ou transformer cette contrainte en opportunité en cultivant du raisin de table à l'aplomb des poteaux, ces derniers étant utilisés comme support pour le palissage du raisin de table (choix fait pour un projet à venir dans une coopérative viticole de l'Aude).

Incidences sur le système	Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions micro-climatiques	Baisse pilotée de l'évapotranspiration. Protection contre les gels printaniers (couverture nocturne par les panneaux à plat). Diminution des pertes erratiques liées aux aléas climatiques (gel, grêle, vent violent). Limitation des raillons lumineux à l'origine de brûlures pendant les périodes chaudes.		Atmosphère potentiellement plus humide, et donc plus génératrice de pression fongique.	Calibrage de l'algorithme de pilotage des panneaux sur les meilleures conditions pour la végétation.
Résultats techniques	Maturité plus homogène de la grappe. Diminution du taux de sucre (et *in-fine* du taux d'alcool des vins de l'ordre de 1°). Baies plus lourdes. Maintien des profils aromatiques typiques des terroirs.	Même dans l'hypothèse où le rendement de production, par récolte, est diminué, la protection apportée par les ombrières contre les aléas climatiques (gel, grêle, sècheresse…) permet de maintenir une constance de production chaque année, venant ainsi compenser et préserver les rendements globaux de l'exploitation (voire les augmenter si l'on considère les deux dernières années 2019 et 2020 – plus chaudes que la moyenne). Maladies : pas de différences observées sur la partie Est du bassin méditerranéen français (mais 2 années récentes à faible pression de maladie). A confirmer sur une année humide.	Potentielle hausse du risque de maladies fongiques en cas d'année humide.	
Conduite de la culture/itinéraire technique	Baisse de la consommation d'eau (~20%) du fait d'une moindre irrigation (jusqu'à 3 fois moins sur les années 2019-2020), et premier apport d'eau plus tardif. Synergies d'investissements en utilisant la structure PV comme support d'outils agricoles (filets paragrêles et anti-insectes) pouvant même être automatisés via un pilotage basé sur les données d'une station météorologique.	Traitements phytosanitaires et fertilisation.	Difficulté de mécanisation sous les rangées de poteaux en vigne (1 rang sur 3, 4 ou 5), avec nécessité de vendanger à la main ou d'abandonner cet espace de culture.	

Arboriculture

Nous disposons de peu de retours d'expérience pour l'arboriculture :

- Il existe un dispositif expérimental sur pommiers de variété Golden à la Pugère (13). La variété Golden est assez sensible aux maladies, elle induit des enjeux de coloration du fruit, et est assez productive. C'est donc une variété pertinente pour tester l'impact du PV sur la performance agricole.
- Les discussions avec divers experts, développeurs ainsi que des agriculteurs engagés sur des projets à court terme (nectarine et poire) nous permettent de dresser, à grands traits, les principales incidences au niveau de la parcelle.

La synergie recherchée sur le couplage avec l'arboriculture concerne principalement la diminution du stress hydrique, la protection contre les fortes chaleurs et brûlures du soleil ainsi que la protection contre le gel tardif au printemps. La présence de la structure PV est souvent vue comme une opportunité pour fixer des filets paragrêle ou filets de protection contre les insectes, réduisant fortement le coût d'investissement dans ce type de dispositif de protection. Les poteaux de la structure PV fournissent aussi une structure pour le palissage. Enfin, les premiers retours expérimentaux sur pommes montrent que la gestion de l'ombrage peut être une alternative intéressante à l'éclaircissage chimique, qui vise à ajuster la charge de fruits au potentiel productif de l'arbre. Cet éclaircissage est très aléatoire (dépendant de nombreux facteurs, difficiles à contrôler, comme l'humidité, la température, etc.) et induit des alternances interannuelles fortes sur la floraison. En production biologique, l'éclaircissage est réalisé manuellement et représente 200h de travail/ha. La régulation par l'ombrage pendant l'induction florale et le grossissement des fruits (l'arbre se décharge s'il est contraint vis-à-vis de la lumière) semble être une pratique plus souple et moins aléatoire.

Les pommiers et fruits à pépins en général peuvent être présents en sous-bois, haies et clairières. Ils sont donc potentiellement enclins à supporter l'ombrage. Il semblerait que les fruits à noyaux (pêches/nectarine, abricot, prunes cerises, etc.) sont beaucoup plus sensibles au manque d'ensoleillement mais il n'y a pas de retour expérimental à ce stade. A noter qu'un fruit précoce comme la cerise pourrait éventuellement bien s'insérer dans une synergie avec du PV, car sa fructification au début de l'été pourrait permettre de passer en *solar tracking* (orienté vers la production électrique) à partir de mi-juin. Toutefois, les impacts sur la saison suivante restent à valider car la phase post-récolte permet au feuillage de jouer un rôle de mise en réserve pour le redémarrage au printemps. D'autre part, la structure PV permettrait d'installer des filets contre la drosophile Suzuki, à l'origine de baisses importantes des volumes de cerises produites (abandon et arrachages de vergers).

Incidences sur le système	Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions microclimatiques	Baisse de l'évapotranspiration. Protection contre les gels printaniers (couverture nocturne par les panneaux à plat). Diminution des pertes erratiques liées aux aléas climatiques (gel, grêle, vent violent) Protection des fruits des brûlures du soleil (cause de déclassement commercial).		Limitation de la baisse de température nocturne en hiver limitant potentiellement la destruction des ravageurs (insectes) par le froid. Atmosphère potentiellement plus humide, et donc plus génératrice de pression fongique. Pression insectes à surveiller (carpocapse potentiellement favorisé si protégé de la chaleur, piqûres de punaises potentiellement supérieures).	Calibrage de l'algorithme de pilotage des panneaux sur les meilleures conditions pour la végétation.
Résultats techniques	Baisse de l'inhibition photosynthétique en période de canicule (croissance non (ou moins) stoppée). Diminution des alternances interannuelles de floraison des pommiers (par évitement d'un éclaircissage chimique).	Taille des fruits. Maladies : pas de différences (mais 2 années récentes à faible pression de maladie). A confirmer sur une année humide, ou dans des régions plus sensibles que le bassin méditerranéen.	Baisse potentielle du rendement. Baisse de la coloration des pommes en août si ombrage trop important, avec un impact potentiellement plus fort sur certaines variétés bicolores se colorant en septembre - octobre. Blocage de l'induction florale en cas d'ombrage trop fort. Baisse potentielle du degré brix (moins de sucres) et des arômes, pouvant impacter la commercialisation.	Choix des variétés les mieux adaptées, moins sensibles aux enjeux de coloration (pour les pommes, risque fort sur les variétés à coloration comme la Pink Lady®).
Conduite de la culture/itinéraire technique et mécanisation	Baisse d'irrigation (~20%) ou possibilité de ne pas investir dans un système d'irrigation qui devient incontournable dans certaines régions impactées par le changement climatique Régulation de la charge des vergers grâce à la gestion de l'ombrage pendant l'induction florale et le grossissement des fruits : pratique plus souple et moins aléatoire que l'éclaircissage chimique, et limitant les alternances (meilleur retour à fleur l'année suivante). Synergies d'investissements en utilisant la structure PV comme support au palissage des arbres, voire comme support d'outils agricoles comme les filets paragrêles et anti-insectes, pouvant même être automatisés via un pilotage basé sur les données d'une station météorologique. Limitation du lessivage du cuivre sur le végétal (protection physique contre la pluie), entrainant une meilleure protection de la plante, une limitation des doses de cuivre épandues et moins de résidus de cuivre au sol.	Traitements phytosanitaires et fertilisation (pratiques et quantités).	Léger retard de récolte pour certaines productions. Incompatibilité potentielle des modules photovoltaïques avec des pulvérisations de produits phytosanitaires, notamment les argiles utilisées comme barrières physiques pour protéger les fruits le risque de corrosion de la structure est aussi à prendre en compte). Potentiel impact sur mécanisation du verger, notamment pour la récolte si elle est mécanisée.	Découpler le pilotage de l'irrigation de la parcelle sous panneaux du reste du verger afin d'éviter l'excès d'eau qui limite la quantité de sucre dans les fruits.

Maraichage et horticulture de plein champ

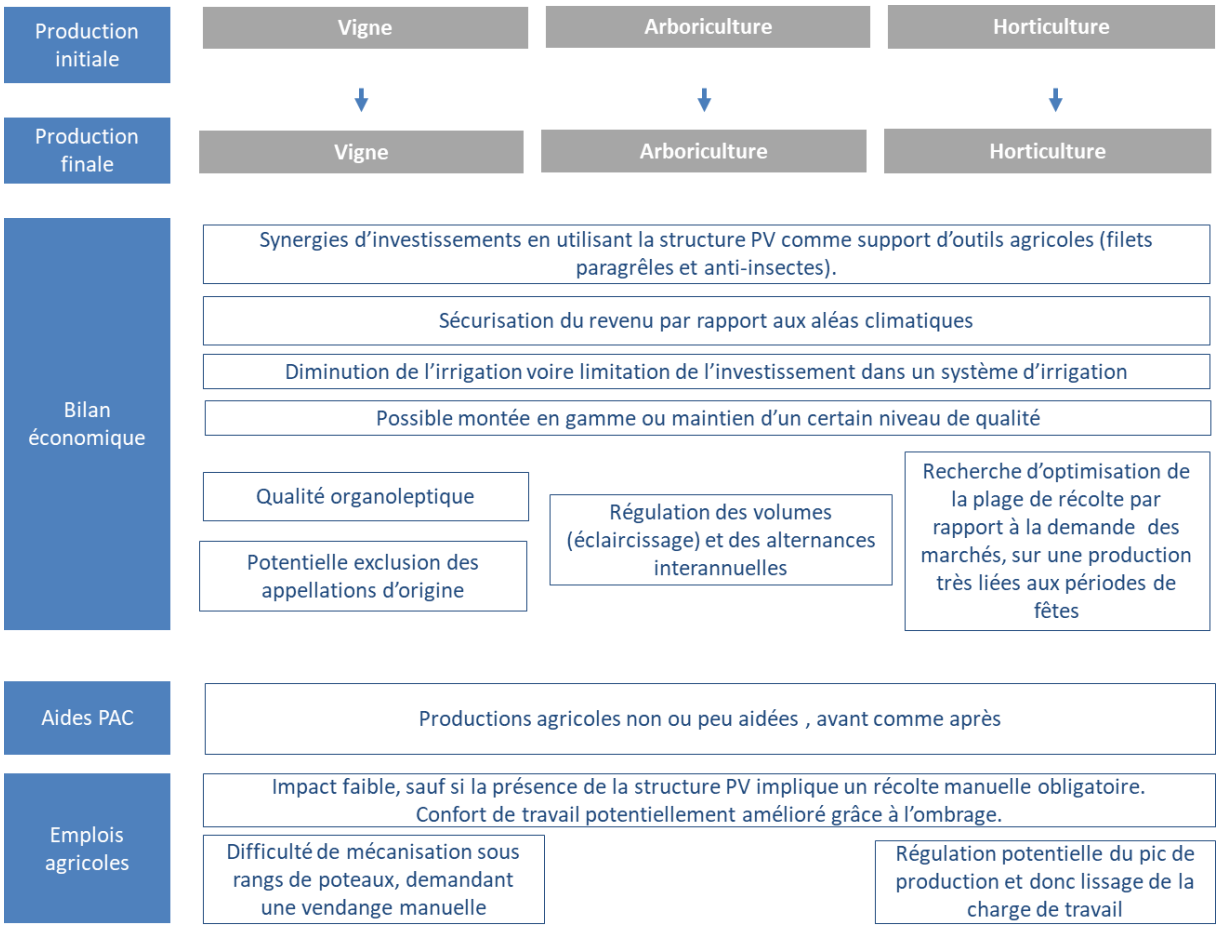
Les retours d'expérience sont très limités :

- Le principal retour connu concerne les travaux du Scradh-ASTREDHOR Méditerranée, qui teste un système automatisé d'ombrières photovoltaïques en culture de pivoines pour favoriser le refroidissement du sol en hiver afin de permettre la vernalisation de la pivoine et limiter la consommation d'eau en été, sous un système OMBREA. La qualité des fleurs a été améliorée sous les modules coulissants dynamiques : augmentation de 17% de la qualité des fleurs, grâce à de meilleures conditions climatiques durant la saison végétative, et une meilleure vernalisation pendant l'hiver (somme de températures froides atteinte, cf. tableau 8 de l'état de l'art pour plus de détails et référence).
- + 27% de besoin en eau sur la partie témoin.
- Nous avons aussi interrogé un agriculteur qui va démarrer une production de pivoines sous ombrières photovoltaïques mobiles à partir de janvier 2021. Ce dernier a souligné sa volonté de se protéger de la baisse du nombre de fleurs (moins de tiges par pied) causé par les fortes chaleurs, du stress hydrique mais aussi de l'incertitude sur les dates de production et leur adéquation avec les périodes de forte demande. Ce producteur n'a, par exemple, pas pu rentabiliser sa production au printemps 2020 lors de la fête des mères, car ses pivoines ont fleuri 10 jours trop tôt. Toujours selon ce même agriculteur, il n'aurait pas raté cette période de commercialisation cruciale avec un système de pilotage de l'ombrage.
- Concernant le maraîchage, nous ne disposons de très peu de retours. Notons la présence d'un démonstrateur OMBREA sur légumes de plein champ et des expérimentations INRAe (partenariat SUN'AGRI) sur salades (cf. rapport d'état de l'art).

Incidences sur le système	Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions micro-climatiques	Baisse de l'évapotranspiration. Diminution des pertes erratiques liées aux aléas climatiques (gel, grêle, vent violent). Protection contre les gels printaniers (couverture nocturne par les panneaux à plat). Diminution de la température du sol pendant l'hiver (meilleure vernalisation dans le cas de la pivoine : froid végétal nécessaire à la floraison et de plus en plus difficiles à atteindre). Lutte contre les fortes chaleurs estivales qui limitent la taille des tiges des fleurs. Protection face aux forts rayonnements (brûlures).		Risque de pression fongique en cas d'humidité résiduelle supérieure et de ventilation naturelle plus limitée en raison de la présence de la structure PV.	Calibrage de l'algorithme de pilotage des panneaux sur les meilleures conditions pour la végétation. Choix des variétés les mieux adaptées à l'ombrage.
Résultats techniques	Baisse de l'inhibition photosynthétique en période de canicule (croissance non (ou moins) stoppée). Baisse de l'irrigation. Potentielle baisse de la pression nématode du fait d'un sol se réchauffant moins vite. Meilleur contrôle de la montaison des salades.		Baisse potentielle du rendement. Baisse potentielle des qualités organoleptiques des légumes, notamment les légumes d'été comme la tomate.	
Conduite de la culture/itinéraire technique	Etalement des volumes infra-annuels sur une durée plus longue pour lisser la charge de travail et mieux coller à la demande, ou au contraire regrouper les volumes sur une durée plus courte pour mieux répondre à une demande ponctuelle type fête des mères.		Retard de récolte possible au printemps.	

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de l'exploitation agricole

Les impacts à l'échelle des exploitations agricoles peuvent être significatifs et le schéma ci-dessous résume ceux qui ont pu être identifiés au travers des échanges menés pendant l'étude. Néanmoins, le peu de retours d'expériences disponibles ne nous permet pas de fournir des données quantifiées sur ces impacts.



Surfaces agricoles potentiellement concernées par ce système	
Les informations fournies dans ce tableau ne sont qu'indicatives. En effet, elles désignent un gisement brut : celui des surfaces actuellement occupées par des vignes et de l'arboriculture. Ces données ne fournissent pas une vision prospective, ni ne désignent le vrai gisement de surface disponible pour l'implantation de systèmes photovoltaïques. Pour cela, d'autres informations devraient être croisées, et notamment la compatibilité des installations PV avec ces productions.	
Gisement de surface adressable en France	Surfaces de productions avec un besoin réel d'adaptation au changement climatique. – 600 000 ha de vignes dans les régions exposées au changement climatique du Sud de la France (PACA, Corse, Occitanie, Nouvelle-Aquitaine, Sud AURA) – 140 000 ha de productions arboricoles dans les régions exposées au changement climatique du Sud de la France (PACA, Corse, Occitanie, Nouvelle-Aquitaine, Sud AURA)
Bilan sur le potentiel de développement	Potentiel de développement plus important dans les régions sujettes aux fortes chaleurs et stress hydriques estivaux (zone méditerranéenne et Sud-Ouest)
Occupation du système déjà installé	Faible (<10ha). Les projets existants concernent principalement des sites d'expérimentations non raccordés au réseau ou des démonstrateurs de petite taille. Des projets de nouvelles installations sont attendus en 2021 en France, avec plus d'une quinzaine de projets lauréats de l'AO CRE Inno2
Nombre de projets correspondant au système	9 projets d'expérimentation ou de démonstration, dont un projet de taille plus importante (2,1 MWc sur 4,5 ha) dans les Pyrénées Orientales.
Surfaces concernées (régions)	PACA, Occitanie, AURA et Nouvelle-Aquitaine.

Bilan du couplage - PRODUCTION VEGETALE DE PLEIN CHAMPS SOUS OMBRIERES MOBILES

Les éléments dégagés précédemment permettent de tirer ce bilan du couple installation photovoltaïque – production agricole :

ATOUTS

Service agronomique important : Système conçu et développé dans l'optique d'apporter un service agronomique à l'agriculteur (pas de contrepartie financière liée à l'implantation d'un procédé photovoltaïque) qui se doit donc d'être efficient pour assurer son déploiement.

Bonne adaptabilité du système : Caractère dynamique du pilotage des panneaux permettant d'offrir différents services aux cultures tout en tenant compte de leurs besoins (selon les stades phénologiques).

Effacement possible de l'ombrage et taux de couverture photovoltaïque faible.

Protection contre les aléas climatiques dans un contexte de changement climatique,

FAIBLESSES

Les algorithmes de pilotage intelligents de ces systèmes **sont toujours en cours de recherche** et doivent être adaptés aux contextes pédoclimatiques et aux variétés de cultures considérées.

Manque de retours agronomiques généralisables à ce stade – données sur les années 2019 et 2020 principalement avec étés secs et chauds (pas forcément représentatifs).

Pour la vigne, **difficulté de mécanisation** au droit des poteaux de la structure.

LCOE non stabilisé et plus important, à l'heure actuelle, que celui des autres systèmes photovoltaïques sur terrains agricoles.

Impact paysager potentiellement mal perçu par le consommateur de vin qualitatif

OPPORTUNITES ET PRATIQUES

Intérêt agronomique sur des productions à forte valeur ajoutée à l'ha.

Synergies d'investissements en utilisant la structure PV comme support d'outils agricoles (filets paragrêles et anti-insectes).

Adaptation au changement climatique.

Gouvernance équilibrée entre le besoin d'avoir un acteur indépendant/neutre pour le pilotage des modules, le besoin d'impliquer l'exploitant, et la production d'électricité.

Suivi agronomique par des organismes indépendants permettant de contrôler les résultats agronomiques et d'adapter, le cas échéant, le pilotage des panneaux.
Zone témoin exploitée dans des conditions identiques
Gisement foncier important

MENACES ET PRATIQUES A LIMITER

Partage de la lumière : Attention aux dérives possibles d'un pilotage des panneaux qui pourrait, selon les stades phénologiques, **favoriser le suivi solaire** (maximisation de la production PV) au détriment de la culture en place.

Incompatibilité potentielle entre les traitements phytosanitaires et la structure PV (recouvrement physique des argiles, du soufre/cuivre, corrosion) notamment pour la viticulture et l'arboriculture (à surveiller à l'avenir, notamment dans le cas de modules bifaces).

Incompatibilité actuelle entre culture des vignes et l'AOP car les cahiers de charges l'interdisent

Baux tripartites : besoin de bien anticiper **le risque au moment de la transmission** de l'installation.

Sources
Etat de l'art bibliographique de la phase 1
Plusieurs échanges visio, téléphone et mail avec 3 développeurs (OMBREA, REM-TEC, SUN'R/SUNAGRI)
Enquête téléphonique auprès de : - *2 sites expérimentaux : 1 en arboriculture, 1 en vigne.* - *2 agriculteurs exploitant des parcelles des vignobles avec démonstrateurs agrivoltaïques (départements 66 et 13)* - *3 agriculteurs impliqués dans des projets en cours d'instruction et imminents : 1 en arboriculture dans ls Pyrénées Orientales, 1 en vigne dans l'Aude, 1 en horticulture (pivoines, dans le Var)*
https://www.ombrea.fr/ , https://remtec.energy/fr/agrovoltaico , https://sunagri.fr/

FICHE 6 - ELEVAGE OVIN SOUS CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

Description du couple « système photovoltaïque – production agricole » : modèle technico-économique

Le système détaillé dans la présente fiche correspond à l'adaptation d'une « centrale au sol standard » (incluant les centrales au sol surélevées autour d'1 m au point bas et pouvant avoir des inter-rangées plus écartées jusqu'à 10m) sur pieux fixes (mono-pieux ou bi-pieux) et permettant la valorisation des surfaces herbacées (terres de grandes cultures, prairies ou friches agricoles et transformées en prairies permanentes) par un cheptel ovin (en conduite laitière ou allaitante).

Ce type de système PV, existant depuis les années 2010, est aujourd'hui le plus représenté en France, en termes d'occupation des surfaces considérées comme agricoles : il représente 41% du référencement des installations réalisés dans le cadre de cette étude. A noter qu'une distinction est faite en suivant sur l'état initial (avant la centrale) de l'occupation du sol.

Dans le cadre des enquêtes réalisées, il est ainsi apparu un certain recul sur ces systèmes avec notamment, certains développeurs, spécialisés dans ce couplage, qui ont mis en place des suivis spécifiques qui leur permettent d'exploiter leurs retours d'expérience pour améliorer leurs conceptions.

Distinction entre éco-pâturage et activité professionnelle d'élevage ovin

De manière générale, les centrales au sol ont un enjeu de maintien, sur la durée, de leur potentiel de production énergétique. Ainsi, aucune ombre ne doit être portée sur les structures sous peine de diminution significative du productible. Un rapide constat a permis d'appréhender que la reprise de la végétation dans l'emprise d'un parc est très rapide (même si elle dépend de plusieurs critères) et qu'un entretien est donc indispensable pour éviter l'apparition d'ombre portée.

Pour cela, deux scénarios ont été développé : d'une part, un entretien par fauchage mécanique, souvent réalisé par les équipes d'entretien, d'autre part, un éco-pâturage réalisé sous la forme d'une prestation, comme très souvent pour l'entretien des espaces publics, sites industriels ou espaces naturels.
Souvent réalisé avec des races très rustiques pour être dehors toute l'année (type mouton d'Ouessant), ce pâturage ne nécessite pas de grand soin et n'est pas exigeant quant à la qualité fourragère de la végétation.

Exemple de races pour prestations d'éco-pâturage / entretien : Le mouton Ouessant

Suite au développement de ce type d'association, des tests par des éleveurs ovins ont été conduits en introduisant des parcs photovoltaïques parmi leurs surfaces exploitées afin d'analyser les résultats comparatifs des parcelles et des enjeux pour leur exploitation.
Ainsi, la nouvelle génération de centrales au sol montre une modification des pratiques et une professionnalisation de l'activité ovine sous les panneaux. Les cheptels ovins, valorisant les prairies sous panneaux photovoltaïques, sont rattachés à des filières agricoles ovin viande / ovin lait.

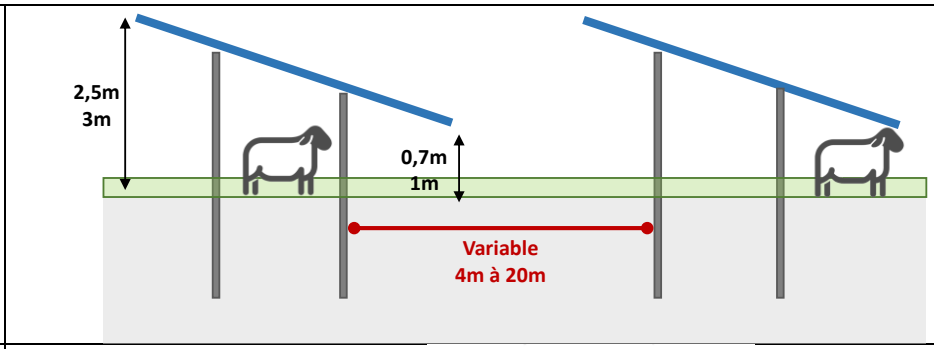
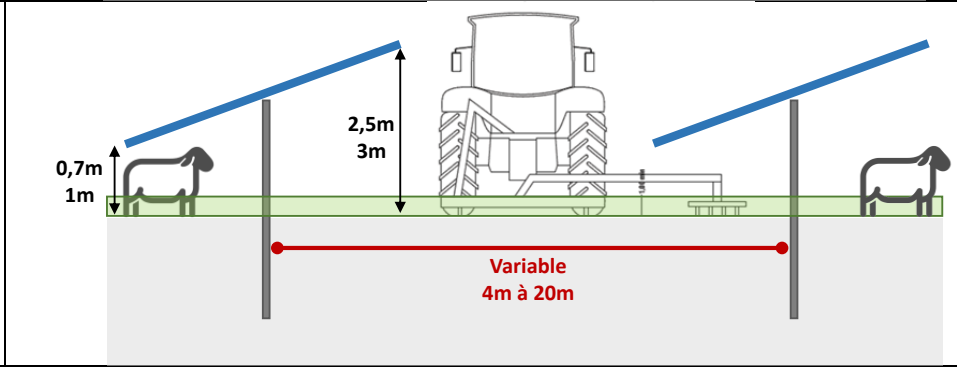
Exemples *(non exhaustif mais à titre de comparaison)*			
Races bouchères		**Races laitières**	
Race Ile de France	Race Suffolk	Race Lacaune	Race Manech tête noire
		(AOP Roquefort)	*(AOP Ossau-Iraty)*

Autres systèmes encore non présents en France mais en cours de développement

En 2020, des projets avec d'autres herbivores (bovins, caprins, porcins et équins) sont en cours de développement (à noter qu'il n'y a pas encore d'installation de ce type en exploitation sur le territoire national).

Bovins (principalement)	**Caprins (anecdotique)**	**Porcins (anecdotique)**	**Equins (anecdotique)**
Système le plus proche techniquement de l'élevage ovin en termes de modèle économique. La principale contrainte du système, freinant son développement, est la taille et la force des animaux pouvant dégrader les installations.	Proche en taille et au niveau des filières de valorisation des productions de viande et de lait, la filière caprine est une bonne candidate mais représente une contrainte technique forte liée aux dégâts créés par les animaux grimpeurs et aux éventuels ombrages supplémentaires (clôtures, surélévation…).	La filière porcine étant en pleine extension, ce système est en réflexion mais présente de fortes contraintes environnementales liées aux sensibilités d'exploitation des surfaces en herbe (pollution azotée notamment).	Pour les mêmes raisons que l'élevage bovin, les grands équidés sont susceptibles de dégrader les structures photovoltaïques.

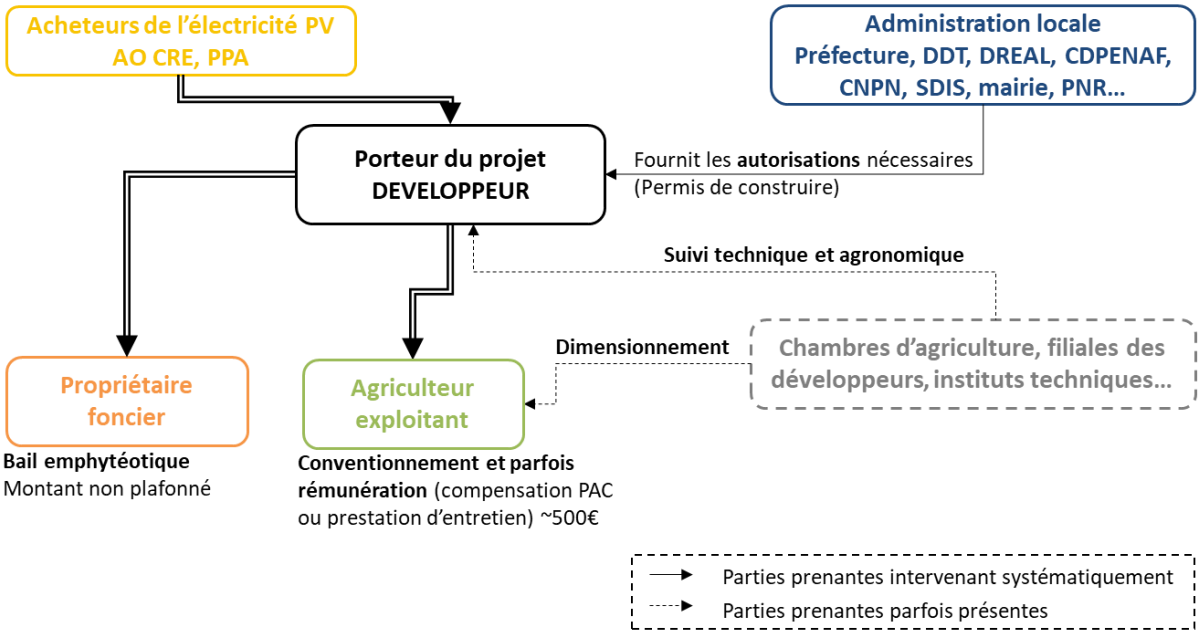
Schéma de principe du couple Agri-PV :

Installation bi-pieux	
Installation mono-pieux	

Caractéristiques techniques et impact sur le foncier agricole	
Type d'installation PV	Centrale au sol pieux fixes (mono-pieux/bi-pieux)
Densité de puissance (MWc/ha)	De 0.8 à 1 MWc/ha en moyenne (jusqu'à 1,1MW/ha)
Surface et production moyenne des installations (MWc)	Corrélé à la surface très variable allant de 5ha à plus d'une centaine. Moyenne peu représentative.
Taux de couverture des panneaux photovoltaïques (surface de la parcelle couverte par les panneaux PV)	Entre 20% et 50%
Type d'utilisation du sol	La mise en place de prairie se fait sur toute la surface y compris celle sous les panneaux. Soit prairies spontanées, soit prairies semées (volontairement)
Installation en zone auparavant non cultivée ?	Possible, ce type d'installation peut être retrouvé sur des friches ou délaissés et autre espace non agricole (ou non utilisé par l'agriculture et qui retrouve un usage agricole)

Acteurs impliqués et nature des implications

Lors des échanges avec les développeurs et des enquêtes auprès des exploitants, le seul modèle d'affaire qui a été recensé est le suivant.



Le développeur investit seul dans la structure PV. Un bail emphytéotique de 30 ans est conclu entre le développeur et le propriétaire du terrain, avec un versement annuel entre 1000 €/ha et 2000€/ha, soit plus de 3 fois le montant d'un fermage dans les zones considérées. A noter qu'à l'inverse du prix du fermage agricole, il n'existe pas de plafonnement de ce loyer. Dans certains cas, des négociations, suite à mise en concurrence notamment, ont abouti à des loyers annuels de l'ordre de 5000€/ha (voir plus). Également, c'est à mettre en corrélation les caractéristiques des statuts de propriété foncière qui sont différents entre le nord où le fermage majoritaire et le sud de la France où le statut de propriété est majoritaire.

Une convention est signée avec l'exploitant agricole en charge de l'activité agricole. Le bail existant initialement entre le propriétaire et l'exploitant est donc rompu et le développeur devient l'intermédiaire (à noter que des baux tripartites ou des baux en volumes sont recensés mais restent très minoritaire dans les cas rencontrés). Selon le degré de détail de cette contractualisation entre l'exploitant et le développeur, ce modèle d'affaire peut parfois amener à des situations précaires. Effectivement, la contractualisation entre ces deux acteurs passe généralement par une convention d'une durée comprise entre 3 et 6 ans, basée sur un accord de mise à disposition du foncier sans loyer. Bien que ces conventions soient renouvelables, elles peuvent néanmoins amener l'exploitant à cesser son activité en cas de situation conflictuelle car elles ne comportent généralement aucun objectif de résultat. Elles peuvent parfois prendre en compte des objectifs de production mais ne vont généralement jamais plus loin que le nombre de brebis. S'il ne s'agit pas d'un cahier des charges définissant un objectif de résultat quant à la performance de l'élevage, un remplacement de l'éleveur peut être décidé en cas de difficultés. La plupart des éleveurs sont habitués à devoir renouveler les baux et fermages avec les propriétaires mais ils demandent souvent plus de garanties quant à la durabilité des investissements agricoles (restructuration de l'exploitation, nouveau bâtiment type bergerie, achat d'équipement) qu'ils vont porter (15 ans attendus, souvent en corrélations avec les amortissements portés). Lorsque le suivi de l'élevage est en place (encore très rare parmi les systèmes enquêtés), un bilan avec les équipes techniques, voire avec un technicien ovin, permet de valider le renouvellement et de compléter autant que nécessaire, les missions à la charge de chaque parti.

L'exploitant peut percevoir une rémunération pour l'entretien lorsque ce dernier est à sa charge (environ 500€/ha/an). Les surfaces inclues dans l'emprise d'un parc photovoltaïque changeant d'affectation et n'étant plus éligibles aux déclarations PAC, certains développeurs estiment que cette rémunération permet aussi de compenser cette perte d'aides PAC.
Ainsi, les aides découplées, appelées « Droits à Paiement Unique » (en moyenne 130€/ha), liées à ces surfaces ne sont plus octroyées. En revanche, les exploitations continueront à toucher les aides couplées (environ 20€/brebis pour les ovins) et les éventuelles aides du 2nd pilier (notamment les aides à la bio et les MAEC). En conséquence, et suivant les développeurs, une compensation financière plus importante peut éventuellement être octroyée pour limiter les effets de ces pertes de subventions.

Un soutien à l'investissement peut également intervenir en cas de besoin lorsque l'exploitation agricole doit évoluer pour intégrer le système photovoltaïque à son parcellaire. En particulier, les coûts d'investissements pour l'achat ou l'agrandissement du cheptel, l'ensemencement suite aux travaux, le raccordement à l'eau des parcelles pour l'abreuvement, l'entretien du sol, des points d'eau et de la clôture mobile (cellules de pâturage dans le parc), l'accompagnement technique

de l'exploitant, l'achat d'équipement et de matériel (bergerie, salle de traite, bétaillère, tracteur adapté aux interrangés de panneaux) peuvent être pris à la charge (pour partie ou totalement) par le développeur. Leur montant est très variable suivant les projets (de 1 000€ à plus de 100 000€).

Dans le cas où l'exploitant agricole est aussi le propriétaire foncier, l'installation photovoltaïque va permettre de stabiliser les comptes de l'exploitation en garantissant un prix du loyer en général bien plus haut que le prix du bail agricole. Cet apport permet une pérennisation économique de l'exploitation dans un contexte très sensible pour les exploitations ovines.

L'intervention des organismes et représentants agricoles peut permettre de dimensionner les performances de l'élevage ovin sous les panneaux et de les suivre sur le long terme. A noter que cette intervention peut également être initiée lors de la réalisation des dossiers réglementaires, notamment ceux évaluant les effets du projet sur l'économie agricole (étude de compensation agricole collective).

A noter que des réflexions sur les baux tripartites entre propriétaire, agriculteur et développeur sont en cours, y compris des modèles de co-investissement ou d'entrée au capital de ces acteurs.

Enjeux économiques et financiers

La filière ovine étant une des filières dont l'économie de marché est des plus délicates sur le territoire national, il existe un risque important concernant ces systèmes car la tendance montre que les exploitants propriétaires sont parfois plus intéressés par le seul revenu foncier que par un projet d'élevage ovin performant. L'utilisation du projet comme alibi pour accéder à ce foncier est ainsi dénoncé. Dans ces cas, l'exploitation ovine a tendance à être abandonnée dans les 5 années après l'installation de la centrale photovoltaïque. Une deuxième cause d'abandon de la production agricole est liée à la méconnaissance du métier d'éleveur ovin par les développeurs : celle-ci peut engendrer un mauvais dimensionnement des besoins de l'agriculteur tant dans la technique de gestion que dans le besoin d'accompagnement, et aboutir à la conception de systèmes de production non adaptés au territoire (exemple : demande d'engagement en bio alors que ce n'est pas compatible avec la capacité de travail de l'exploitant ou la demande de production laitière dans un bassin IGP ovin viande).

Impact du système agricole sur la production photovoltaïque

Lors du dimensionnement du projet, pour des raisons de mécanisation agricole et de maintien des itinéraires techniques de l'exploitation, il peut être décidé d'augmenter l'écartement et la hauteur des rangés de panneaux. Par rapport à une centrale au sol standard, cette augmentation de l'écartement entre rangées entraîne une diminution du productible à l'hectare et donc, une augmentation du LCOE. Toutefois, d'autres éléments, liés aux avantages offerts par les surfaces agricoles mobilisées, permettent de contrebalancer cette possible augmentation :

- CAPEX potentiellement moins important en raison de coûts de travaux (préparation du terrain, coûts de raccordement…) moindres,
- OPEX potentiellement moins important lié à de plus faibles coûts de foncier et/ou d'entretien du sol,

Ainsi, si les paramètre du ratio peuvent varier par rapport à une centrale standard, le LCOE peut, selon les configurations et les sites, être maintenu à un même niveau équivalent que pour une centrale au sol standard.

Impacts du PV sur le système agricole et bonnes pratique identifiées

Etats initiaux et parcours de production

Les structures photovoltaïques sont mises en place dans des exploitations agricoles diverses. Le tableau ci-dessous présente les différents états initiaux possibles pour l'activité agricole, pour l'échantillon enquêté, avant la mise en place du système.

Etats initiaux possibles	- Exploitation céréalière, avec notamment des projets sur les secteurs dits « espaces intermédiaires » (productions céréalières en difficultés et présence de grandes surfaces foncières), - Elevage bovins ou ovins avec prairies en place ; cependant, l'installation photovoltaïque nécessitera des adaptations agricoles, - Les friches agricoles où l'activité agricole était abandonnée pour diverses raisons (sociales, agronomiques, environnementales) et le modèle prévoit sa réintroduction - Les friches agricoles (actuellement non valorisées mais disposant d'un potentiel agricole) conduites en prairies. A noter que la mise en place de centrales au sol sur d'autres activités agricoles n'est à ce jour pas envisagée en raison des freins liés au remplacement d'activités agricoles à bonne valeur ajoutée par un retour à la prairie (exemple viticulture, maraîchage ou arboriculture).

Cas particuliers des sites dégradés selon l'AO CRE	A savoir que ces types de systèmes existent et sont rencontrés sur des sites dégradés ou des friches industrielles, privilégiés historiquement par les appels d'offres nationaux sur le photovoltaïque. Si les risques de pollution le permettent (en particulier pour les décharges, sites industriels ou autres), un travail de revégétalisation peut être mené et ainsi permettre la réintroduction d'une activité agricole sur l'emprise. Une réflexion sur la construction et le dimensionnement du projet agricole peut prendre du temps mais permettra d'anticiper les enjeux de gestion agricole d'un tel parcellaire. Des éleveurs enquêtés disposent de parcelles sur d'anciens terrains délaissés (ferroviaires ou autoroutiers) mais aussi d'anciennes carrières remises en état. Ces surfaces n'étaient initialement pas agricoles et sont potentiellement redevenues agricoles. **Ces surfaces ne sont pas des surfaces agricoles telles que ciblées par la présente étude.**

Etats finaux en comparatif	Mise en place d'une prairie avec élevage ovin, en conduite allaitante pour l'essentiel des enquêtes (laitière plus rarement recensée).

Les effets du couplage PV- agriculture sur le système agricole sont nombreux, et observables à trois échelles différentes : celle de la parcelle, celle de l'exploitation et celle du territoire. Pour les quantifier, des états de référence peuvent être définis, correspondant à des situations sans installation photovoltaïque afin de servir de point de comparaison avec l'exploitation disposant d'une installation photovoltaïque.

Etats de référence possible	Dans l'ensemble des cas rencontrés, l'implantation du système PV s'est accompagnée d'une mutation d'un système céréalier à un système d'élevage à l'herbe, d'un changement d'élevage (bovin vers ovin) ou d'une remise en production de friche ou de sites dégradés via l'élevage ovin. L'état de référence optimal correspondrait à un élevage conduit de façon représentative d'un bassin de production ovine (AOP, viande/lait, transhumant, productif, mixte ou spécialisé) mais la grande diversité des systèmes de conduite rencontrée pendant l'enquête limite significativement les possibilités de comparaison et l'analyse statistique.

Parallèles avec les systèmes Centrales au sol - maraîchage	Au cours du recensement des projets en cours de développement proposant des systèmes centrale au sol couplés à des productions maraichères ont été rencontrés. Ces derniers n'étant pas encore construit, l'analyse des retours d'expérience est contrainte. A noter que la plupart des projets de ce type prévoient une intercalation entre les rangés de panneaux et les rangées agricoles sans superposition.

Incidences du système photovoltaïque sur la production agricole : à l'échelle de la parcelle

Une prairie au cœur de l'attention

Les principales incidences du système se concentrent sur la qualité fourragère des prairies valorisées par les troupeaux ovins. La réussite de la conduite du cheptel dépend de la qualité, de la quantité et de la gestion de l'herbe. Selon les données standard, le chargement des prairies est généralement compris entre 0,4ha et 0,7ha pour 8 brebis (pouvant correspondre à 10 brebis/ha soit 0,7 UGB/ha). Il est similaire à celui des prairies en zone agricole. En fonction des régions d'élevage et des systèmes de production, les systèmes d'élevage ne sont pas régis de la même façon (prolifiques, saisonnés, transhumants, laitier…) et la gestion de la prairie sera adaptée aux objectifs.

Le pâturage des ovins n'est pas sans effet sur la prairie et le maintien de sa qualité doit être assurée par l'éleveur : gestion des espèces et gestion des refus (un refus est un ensemble d'espèces végétales qui ne sont pas consommées par les brebis), fertilisation (apport de matières organiques, d'azote et d'oligo-éléments pour limiter l'appauvrissements des sols) et chaulage (limitation de l'acidité des sols pour assurer une bonne minéralisation et une bonne vie microbienne des sols) pour garantir une bonne conservation des prairies, année après année.

D'après les enquêtes réalisées, les principaux effets sont variés suivant la temporalité et la localisation. Lors de la mise en place du système, les effets des travaux sont négatifs sur la prairie car ils peuvent être intrusifs sur les sols (ornières des engins de chantiers, tranchées…). Deux éléments sont déterminants pour limiter ces effets : l'état initial de la parcelle et les réensemencements et remises en état agricole après les travaux. L'entrée en exploitation agricole du parc peut être retardée de 1 à 3 ans suivant la qualité/quantité de la revégétalisation à des fins agricoles. Tout dépend des conditions de semis et d développement des prairies semées, ou du développement de la végétation spontanée.

Une fois passée la phase sensible du chantier, l'installation photovoltaïque peut avoir d'autres incidences, positives, neutres ou négatives. Ces incidences sont détaillées dans le tableau ci-dessous mais il conviendra de garder à l'esprit qu'elles proviennent de constats relevés de façon qualitative uniquement car il n'existe pas encore de suivis ou de comparaisons chiffrées permettant d'étayer scientifiquement ces observations.

Le bien-être animal et les performances de reproduction

A ce jour, dans le cadre des enquêtes réalisées, aucun éleveur ne fait part de gêne occasionnée par la présence des centrales sur leur cheptel. Les indicateurs semblent ainsi être similaires à des exploitations ovines standard (taux de fécondité, taux de mise bas, taux de prolificité, taux de mortalité similaires aux cas types correspondants). A noter qu'il n'existe pas, à ce jour, de comparaison avec des élevages sous panneaux photovoltaïque. Dans le cadre de l'étude, moins de 5 éleveurs enquêtés nous ont indiqué relever certains de ces indicateurs.

Si habituellement, ce sont les arbres qui apportent des espaces ombragés aux pics de chaleurs de la journée, il est constaté par les éleveurs que les animaux s'accommodent très bien de l'ombre faite par les panneaux. A noter qu'en comparaison aux boisements rencontrés sur les espaces pâturés classiques, l'ombre est répartie de façon plus homogène sur la parcelle limitant ainsi la dégradation de zones en raison d'un sur-entassement des animaux.

A ce jour, aucune étude scientifique ne relève un potentiel effet du champ électrique/magnétique généré par l'installation photovoltaïque sur le bien-être des animaux. Quelques études géobiologiques sont en cours mais n'ont pas encore rendu publiques leurs conclusions.

Concernant la pression parasitaire, aucun effet notable positif ou négatif n'a été recensé (notamment la mouche dévoreuse) en lien avec la centrale photovoltaïque par rapport à une situation standard.

Une articulation à prévoir avec le reste de l'exploitation agricole

Les exploitations enquêtées, lorsqu'elles sont spécialisées en élevage ovin, ont une partie de leurs surfaces d'exploitation non pâturées (production de foin ou de céréales). Pour la majorité des systèmes d'élevage, les conditions de gestion du cheptel ne permettent pas une présence des animaux à l'année en extérieur (hiver et période de mises bas très délicates). L'herbe sur pied n'est donc pas la seule ressource alimentaire. Les fourrages et compléments alimentaires céréaliers sont produits sur le reste de l'exploitation ou plus souvent achetés à l'extérieur, hors centrale photovoltaïque, pour garantir une autonomie alimentaire toute l'année et s'adapter aux périodes sensibles des brebis (période de lactation notamment).

Les installations photovoltaïques ont des effets positifs sur l'activité agricole lorsqu'elles facilitent les conditions de pâturage avec une répartition plus étendue des périodes de pousses de l'herbe (plus précoces car protégées du gel par exemple). Aussi, cela permet un maintien durable et à long terme des surfaces de prairies permanentes face à un éventuel retournement pour la production céréalière ou l'enfrichement lorsque les surfaces ne sont pas irrigables. La sécurisation de l'installation photovoltaïque (vidéosurveillance et clôtures) assure et rassure quant à la protection du cheptel en l'absence de l'éleveur ou du berger, en particulier pour les éleveurs transhumants. C'est aussi constaté sur les exploitations dont le parcellaire est morcelé, soumis à des dégradations et vols, voire en présence du loup, dont la zone est de plus en plus étendue.

Toutefois, les structures photovoltaïques peuvent aussi avoir des effets négatifs car elles limitent les rotations annuelles des productions (surfaces en prairie permanente). Ces structures photovoltaïques, si elles ne sont pas adaptées à la mécanisation, contraignent très fortement aussi la fauche (action mécanique enrubannage/fanage) et la valorisation de production de fourrages lorsque le pâturage le permet.

A noter que les impacts des projets peuvent avoir des degrés variables suivant leur taille puisque le recensement a permis de constater des surfaces d'emprises comprises entre 5ha et plus d'une centaine d'hectares.

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions micro-climatiques	**Augmentation de l'ombrage**	- En sol pauvre et conditions sévères	- Le plus souvent (des + et – selon les années et les saisons)	- Limitation de la photosynthèse et de la pousse de l'herbe sous les panneaux (non démontré).	- Ecartement des panneaux pour augmenter l'espacement entre les rangs de panneaux.
	Modification des températures	- La température est plus élevée l'hiver et plus fraiche l'été, ce qui permet une pousse plus homogène de l'herbe sur l'année.	- Effet neutre sur les ovins mais pourrait avoir éventuellement des effets positifs (non mesurés) sur la mortalité des agneaux sensibles aux écarts de températures.		
	Effets sur la protection face aux aléas climatiques	- Evite le gel et les fortes brûlures de l'herbe ce qui assure une bonne reprise aux intersaisons.	- Peu d'effets lorsque les prairies ne sont pas soumises au gel ou aux sécheresses.		
Itinéraires techniques	**Qualité fourragère des prairies**		- Potentielles difficultés d'enracinement d'espèces prairiales pour les surfaces initialement en céréales (non liées à la structure photovoltaïque mais à l'état initial du sol).	- Phase du chantier sensible et pouvant avoir des conséquences plus ou moins lourdes : calendrier, emprise au sol (ornières, tranchées), travaux de réensemencements (adaptation de la banque de graines, des calendriers de semi). - Tendance, constatée mais non quantifiée à ce jour, à favoriser le développement de certaines espèces. - Fertilisation non suffisante pour maintenir le taux de matière organique ou d'oligo-éléments nécessaires à la pousse. - Gestion de la saisonnalité de la production et de l'accès à l'herbe (couverts temporaires et permanents) mais constat d'un manque de données exploitables à ce sujet lors des enquêtes	- Evaluation en amont de la qualité du sol. - Anticipation de la reprise de l'herbe après le chantier (semi, préparation du sol). - Suivis techniques à développer pour identifier et homogénéiser les bonnes pratiques.

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
	Effet sur la gestion du parcellaire		- Réorganisation nécessaire lorsque l'exploitation n'est pas en élevage ovin. - Accès aux parcelles maintenus (formation électrique adaptée dispensée aux exploitants)	- Contraintes potentielles à la mécanisation par limitation de la fauche possible ou interdiction des herbicides induisant une mauvaise gestion des refus et un appauvrissement progressif de la prairie (chaulage et amendements organiques).	- Limitation de la surface globale sous panneaux pour permettre une gestion différentiée et complémentaire des prairies. - Mise en place d'un cahier des charges pour garantir le maintien de la qualité des prairies (possibilités d'enrichissement, lutte contre l'acidification et l'appauvrissement progressif, opérations de chaulage et fertilisation). - Prise en compte des axes de circulations des animaux et des engins agricoles dans le schéma global de l'installation (portails, accès, chemins de circulation) - Adaptation des engins agricoles pour la fauche (lorsque possible) - Adaptation des itinéraires techniques liées à la précocité, la reprise de l'herbe et les rythmes de fauches notamment sur la sortie des troupeaux à l'herbe, la gestion des stocks de fourrage, les dates d'entrée en bergerie…
Itinéraires techniques	**Effet sur la gestion des animaux**	- Des temps de pâturages annuels rallongés grâce à un cycle de l'herbe moins affecté par les grands froids et sécheresses. - Passage d'un système intensif à un système extensif			- Adaptation aux systèmes ovins locaux avec la prise en compte de la très grande variété des cas types d'élevages ovins régionaux et des systèmes d'exploitation associés. - Valorisation de la précocité et maintien des animaux le plus longtemps à l'herbe.

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Bien-être animal	**Effets sur la santé et le bien-être animal**	- Protection des ovins contre le soleil estival avec une répartition de l'ombrage évitant la dégradation de zones spécifiques en raison d'un sur-entassement des animaux.	- Pas d'influence constatée à ce jour sur le bien-être animal, ni sur les indicateurs pour l'analyse des performances des productions ovines (Performances zootechniques du troupeau (prolificité, engraissement, bien-être). - Pas de hausse de la mortalité chez les agneaux - Pas d'influence du photovoltaïque constatée sur la pression parasitaire.	- La question des effets des champs magnétiques sur les animaux n'est à ce jour pas tranchée, peu d'éléments tangibles permettent de l'estimer : des études géobiologiques sont en cours.	- Evaluation sanitaires des troupeaux
	Effets sur la protection contre les prédateurs	- La sécurisation des parcs par des clôtures en dur et une surveillance rapprochée permet de limiter significativement les risques de prédation.		- Un cas de loup ayant réussi à pénétrer dans un des parcs enquêtés malgré une clôture de 2m.	- Intérêt du parc clôturé, qui doit l'être correctement pour garantir la sécurisation du troupeau.

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de l'exploitation agricole

Selon les états initiaux des cas considérés, les incidences à l'échelle de l'exploitation agricole sont très variables.

Fréquence du système	++	+++	+	+++
Production initiale	**Grandes cultures**	**Prairies, Landes et Estives secteur ovin**	**Prairies, Landes et Estives secteur bovin**	**Friches, gels ou Jachères**
Production finale	**Prairies permanentes avec élevage ovin sous panneaux photovoltaïques**			
Données techniques	Equipements de production à adapter au regard des **contraintes à la mécanisation fortes** **Protection de la prairie contre le gel et la sècheresse**			
	Bergerie et machinisme Temps de semis de la prairie (**long**)	Temps de reprise de la prairie (**court**) et **réadaptation du cycle**		Remise en production (**long**) **Revégétalisation qualitative et quantitative à faire** **Bergerie et machinisme**
Débouchés agricoles	Modification des débouchés avec contractualisation nécessaire avec une coopérative (ou négociant) et un **abattoir** voire **laiterie**	Maintien des débouchés si **production ovine**	Modification ou maintien si présence d'acteurs **multi-espèces**	**Valorisation du potentiel** agricole possible (friche) Rattachement à une exploitation et débouchés
Données économiques	Ordre de grandeur de VA plus faible Diversification en système mixte Sécurisation économique Mutation des équipements ***Transition métier de céréalier à éleveur (AOP/IGP ovines)***	Ordre de grandeur de VA similaire ***Valorisation en AOP/IGP ovine possible suivant les territoires*** **Adaptation du système d'élevage**		Gain net de VA ***Valorisation en AOP/IGP ovine possible suivant les territoires*** ***Installation agricole***
Aides PAC	Perte aides PAC sur le foncier concerné ***DPU → 200€/ha/an avec ou sans compensation***			
Emplois agricoles	Changement d'exploitant si nécessaire - Maintien voire gain d'emplois à l'ha ***+ 1 Salarié généralement (ou dans le cadre d'une installation)***			

Dans le cas où l'état initial concerne la culture de céréales, les enjeux sont lourds puisqu'il s'agira de modifier profondément la filière en place. L'exploitant initial devra être formé au métier d'éleveur au préalable et revoir l'ensemble des contrats de débouchés et méthodes de travail. Il s'agit d'une mutation profonde souvent prise à la légère et conduisant à un mauvais dimensionnement des moyens humains, techniques et des équipements à mettre en place. Les enjeux et risques financiers sont importants car la valeur ajoutée est souvent inférieure du fait de l'importance des charges pesant sur un élevage par rapport au système céréalier. Un changement d'exploitant est parfois préférable dans ces cas de figure mais nécessite la recherche d'un éleveur pertinent qui souhaite s'engager. Aussi, le temps de mise en place de la prairie est long (2 ans environ pour avoir une entrée possible du cheptel) au regard des précédents culturaux céréaliers monospécifiques initiaux.

Les systèmes où la prairie est déjà initialement présente sont généralement plus efficients mais soulèvent des enjeux de concurrence entre filières lorsqu'il s'agit de secteur bovin IGP/AOP. En effet, les secteurs d'élevage sont souvent spécialisés sur le territoire national et l'élevage bovin reste très majoritaire (hors secteurs traditionnels de l'ovin). Il est à noter que si l'exploitant souhaite s'inscrire dans une filière de valorisation type AOP fromagères, il devra s'inscrire dans des surfaces contraintes à une aire géographique fixe et délimitée précisément par l'INAO. Sur ces secteurs, la valorisation économique est généralement significativement meilleure.

A noter que chaque centrale au sol associée à une production ovine dispose de paramètres très particuliers et multifactoriels représentant la grande diversité de la production ovine sur le territoire national. Une comparaison des performances de ces élevages (entre eux mais aussi avec des élevages sans structure photovoltaïque) s'en retrouve compliquée et ne pourrait donc être réalisée qu'au cas par cas, tenant compte des conditions d'exploitations de l'éleveur (spécialisé, mixte bovin/céréalier, à l'herbe, transhumant, en gestion prolifique) et du territoire concerné (production laitière Roquefort, en IGP agneau boucher du Limousin, etc.). Il est ainsi constaté que les succès de ce type de système sont actuellement grandement portés par l'implication et le bon sens empirique de l'agriculteur.

Incidences du PV sur le système agricole : à l'échelle des territoires

A ce jour, les exploitations enquêtées sont inscrites dans les filières traditionnelles du territoire. Les cahiers des charges des coopératives agricoles ou abattoirs n'ont pas émis de contre-indications relatives aux conditions d'élevage et valorisent les agneaux, issus de ces systèmes, de la même façon que les agneaux standards. Des réflexions sont en cours pour l'évolution des cahiers de charges des appellations (modifications possibles par l'INAO et les ODG). Il en est de même pour les productions labellisées comme Label Rouge, IGP ou AOP.

Les effets positifs à l'échelle des territoires sont constatés lorsque le projet s'insère dans des dynamiques de diversification des cultures ou dans des dynamiques de soutien à l'installation de jeunes éleveurs en recherche de surfaces complémentaires pour appuyer leur dossier d'installation.

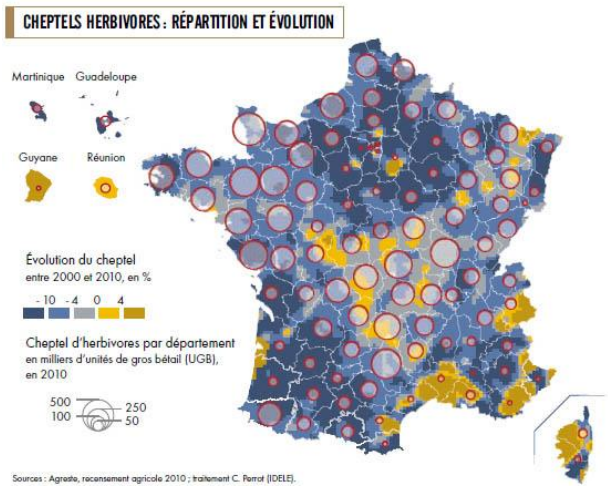
A l'inverse, des effets négatifs sont également rencontrés à l'échelle des territoires :

- Au sein même de la filière ovine : déstabilisation due à des productions dont les coûts de revient sont inférieurs à des systèmes classiques
- Spéculation sur le foncier agricole et risque d'accroissement de la difficulté d'accès au foncier pour les autres cultures (dont l'élevage bovin) voir autres types de cultures.

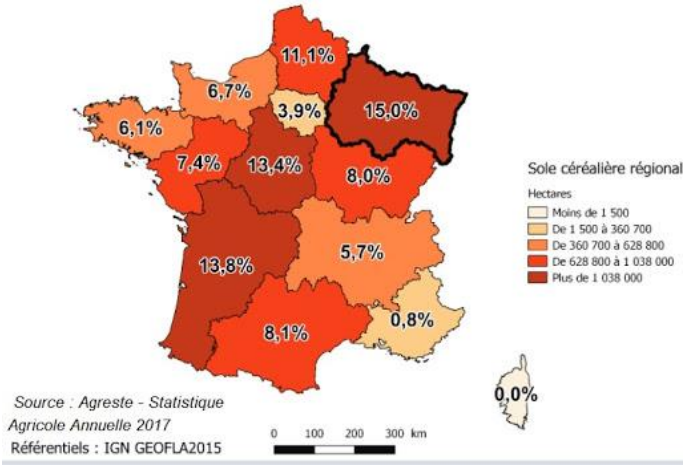
Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Exploitations et emplois	**Effets sur la structure des exploitations**	- Sécurisation financière et soutien des projets de diversification des exploitations agricoles. - Confort de travail grâce à la garantie assurée par la surveillance des parcelles (lutte contre les vols, fuites et attaques du cheptel).		- Modification partielle ou totale de la spécialisation de l'exploitation avec des conséquences structurelles importantes (formation, équipements, technicités, emploi, contrats). - Changement parfois nécessaire d'exploitant. - Spéculation foncière et course à la rente foncière.	- Formation des agriculteurs lorsque ces derniers ne sont pas éleveurs - Accompagnement à la mutation structurelle de l'exploitation. - Plafonnement des prix des loyers accordés aux propriétaires.
	Effets sur l'emploi agricole	- Soutien à la transmission et à l'installation d'exploitations ayant des difficultés à trouver du foncier disponible. - Maintien d'un emploi ancré au territoire et non délocalisable (présence quotidienne auprès du cheptel)		- Engagement d'exploitants agricoles en âge de pré-retraite sans prise en compte des projets du successeur.	- Travail sur un projet agricole moyen et long terme (avec l'exploitant en place et son successeur par exemple). - Prévoir des garanties de maintien de l'activité agricole sur la durée du parc photovoltaïque (changement d'exploitants notamment)
Filières agricoles	**Débouchés des productions**		- Pas d'effets sur les conditions d'éligibilités aux cahiers des charges AOP fromagers ou bouchers. - Pas d'effets sur les filières ovines de commercialisation et transformation qui restent les filières traditionnelles (bouchères et laitières) - Maintien de la valeur ajoutée à l'hectare	- Concurrence avec la filière céréalière lorsque cette dernière est présente initialement. - Possible concurrence entre filières d'élevages par le favoritisme des productions ovines couplé à du photovoltaïque, en particulier sur les secteurs AOP bovines.	- Une étude de marché et l'analyse des débouchés (présence d'abattoirs et bassins de consommation, contrats de débouchés) permet de sécuriser la bonne valorisation économique des productions. - Accompagnement à la mutation des filières de débouchés - Prise en compte des grandes diversités des productions ovines nationales (bassins laitiers/bassins bouchers, races, filières)

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
	Démarches environnementales	- Favorisation et soutien des démarches environnementales et interdiction des produits phytosanitaires - Amélioration écologique lorsque passage des monocultures céréalières à une prairie permanente.			- Valorisation des banques de graines locales - Accompagnement à la mise en place d'alternatives aux produits phytosanitaires (notamment mécaniques)
	Fonctionnalité de l'espace et paysage			- Possible enclavement de parcelles et d'ilots agricoles fonctionnels clôturés. - Surélever les structures peut conduire à dégrader l'intégration paysagère de l'installation	- Réflexion à l'échelle du territoire afin de mettre en cohérence les projets entre eux.

<table>
<tr><th colspan="2">Surfaces agricoles potentiellement concernées par ce système</th></tr>
<tr><td colspan="2">Les informations fournies dans ce tableau ne sont qu'indicatives. En effet, elles désignent un gisement brut : celui des surfaces actuellement occupées par de l'élevage ovin. Ces données ne fournissent pas une vision prospective, ni ne désignent le vrai gisement de surface disponible pour l'implantation de systèmes photovoltaïques. Pour cela, d'autres informations devraient être croisées, et notamment la compatibilité des installations PV avec ces productions.</td></tr>
<tr><td>Types de surfaces adressables en France</td><td>Adapté aux grandes parcelles des zones intermédiaires, secteurs d'élevage (grandes cultures non irrigables, secteur de production ovine) et secteur à fort enfrichement / déprise agricole</td></tr>
<tr><td>Bilan sur le gisement de surfaces adressables en France</td><td>Des surfaces très importantes (avant prise en compte des enjeux environnementaux, urbanistiques et de raccordement) mais <u>ne correspondent pas à des surfaces de développement disponibles</u> :
Exploitations ovines en France : environ 44 000 pour 35 ha de SAU en moyenne
Exploitations bovines en France : environ 106 000 pour 93 ha de SAU en moyenne
Exploitations en polyculture-élevage : 48 000 pour 85 ha de SAU en moyenne
Exploitations en grandes cultures : 124 000 pour 87 ha de SAU en moyenne

Un V présentant la présence du cheptel herbivore allant de la Bretagne à l'Occitanie puis à la moitié Est du territoire national.

 
</td></tr>
<tr><td>Occupation du système déjà installé</td><td>70 installations recensées sur le territoire mais des degrés de réussite très variés allant d'un éco-pâturage avancé à un système d'élevage pleinement performant.</td></tr>
<tr><td>Nombre de projets correspondant au système</td><td>Prospections foncières et sécurisation très importants évalués à plus de 100 000ha en 2020 à dire d'experts.</td></tr>
<tr><td>Surfaces concernées (régions)</td><td>Des centaines d'hectares (présents sur toutes régions géographiques), des prospections foncières très avancées et répondant aux besoins des développeurs</td></tr>
</table>

Bilan du couplage - ELEVAGE OVIN SOUS CENTRALE PHOTOVOLTAÏQUE

Les éléments dégagés précédemment permettent de tirer ce bilan du couple agri-PV :

ATOUTS

- **Le service agricole :** investissements productifs en partie soutenus par la filière photovoltaïque et appuyant les dynamiques de projets des exploitations
- **Partage lumineux présentant des avantages** : préservation contre les sécheresses et contre le gel, amélioration de la précocité
- **Consommation de foncier agricole utile limitée :** imperméabilisation au niveau des locaux techniques et des chemins mais présence d'herbe sous les tables
- **Résultats économiques :** soutien économique à la valorisation d'un foncier agricole contraignant (absences de réseau d'irrigation) ou à tendance à l'enfrichement
- **Pérennisation des filières** : soutien d'une filière en difficulté, avec des exploitations à faibles valeurs ajoutées à l'hectare et des revenus d'éleveurs parmi les plus bas en France, tout en conservant les filières traditionnelles.
- **Bonne réversibilité du projet :** mais encore peu de retours d'expériences

FAIBLESSES

- **Adaptabilité limitée du système :** l'ombrage est pénalisant pour la pousse de l'herbe (hors période de sécheresse) et une structure fixe avec mise en place de mesures correctives difficiles (sans parler de la mécanisation)
- **Une grande diversité des modèles d'élevages ovins** qui rend difficile la comparaison et la généralisation des résultats par rapport aux retours d'expériences des systèmes en place
- **Partage de la lumière peu dimensionné** aux besoins de l'herbe
- **Mauvaise réputation** liée aux écueils de certaines installations et un amalgame entre éco-pâturage et production agricole (mauvais projet agricole).
- **Rentabilité économique pour l'exploitant** : Appât du prix du bail et risque de spéculation foncière (tendance à la rente des propriétaires-exploitants) non systématique
- **Des concurrences avec les autres systèmes d'élevage** (bovin) via la favorisation d'un système en raison de sa compatibilité avec une structure photovoltaïque
- **Soutien technique du développeur très rare**
- **Peu, voire aucune donnée comparative sur ces systèmes, pourtant les plus répandus en France sur terrains agricoles**

OPPORTUNITES ET PRATIQUES D'INTERÊT

- **Travail sur la conception du projet agricole** avec les acteurs des filières et sur les besoins de l'activité agricole (itinéraire technique, équipement, main d'œuvre, débouchés)
- **Valoriser la concertation locale** avec la profession agricole compétente et spécialisée dans l'accompagnement des éleveurs pour construire un projet d'élevage performant sur le long terme : participation aux dynamiques territoriales, alimentation de proximité, systèmes de polyculture-élevage plus résilients, ancrage de l'emploi agricole…
- **Réflexion importante à mener en amont** sur les circuits de commercialisation disponibles
- **Un partage des retours d'expériences agricoles** pourrait faciliter le développement et l'exploitation de nouveaux projets d'élevages
- **Diminution de la densité de panneaux** (dégradation du productible solaire) pour s'adapter aux besoins des éleveurs et possibilité de mécanisation avec les nouvelles structures PV

MENACES ET PRATIQUES A LIMITER

- **Méconnaissance des effets de l'ombrage sur le cycle de l'herbe et Avoir recours à l'éco-pâturage** et non un élevage professionnel
- **Suivi agricole non obligatoire mais pourtant primordial et Ne pas prévoir de garantie** du maintien de l'élevage assuré sur la durée du parc.
- **Réversibilité du système :** la fin de vie reste souvent à non anticipée (financièrement) avec le développeur
- **Implication de l'exploitant agricole** : adaptation non systématique aux besoins de l'agriculteur et **Temps de développement** pas adapté au projet agricole
- Des projets qui sont initialement des projets énergétiques pour lesquels une co-activité agricole est possible ; ce ne sont pas des projets liés à l'offre d'un service agronomique ou zootechnique
- **Consommation de sols agricoles :** des projets de grande à très grande taille qui mal dimensionnés peuvent conduire à l'arrêt de l'activité agricole pendant 30 ans et **Risque de course au foncier**

Sources
Echanges avec une quinzaine de développeurs, *Echanges avec des 28 éleveurs de régions pédoclimatiques diversifiées.* *Etat de l'art bibliographique de la phase 1*

FICHE 7 - ELEVAGE SOUS OMBRIERE OU SERRE PHOTOVOLTAÏQUE

Description du couple « système photovoltaïque – production agricole » : modèle technico-économique

Présentation des structures photovoltaïques

Cette fiche couvre l'ensemble des systèmes de production animale sous des panneaux photovoltaïques surélevés d'au-moins 2m. Selon les retours d'expérience rencontrés, il peut s'agir d'ombrières photovoltaïques (1 retour d'expérience) ou de serres multichapelles symétriques (1 retour d'expérience et un projet). Ces deux systèmes sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Type d'installation photovoltaïque	Description	Photographie	
Serre PV	Hauteur : entre 3 et 5,5m Puissance : entre 0,6 et 1MWc/ha		
Ombrières PV fixes (parfois appelés serres ouvertes)	Hauteur : entre 2 et 4m Puissance : près de 1MWc/ha		

Deux facteurs permettent de distinguer ces systèmes :

- La présence de structures en verre sur le toit reliant les panneaux photovoltaïques entre eux
- La présence ou non de parois latérales.

Ce dernier facteur étant très variable selon les installations, la présence de structures en verre sur le toit est retenue pour distinguer les serres photovoltaïques des ombrières PV fixes.

Cette définition diffère ainsi de celle de l'AO CRE bâtiments[21], où une serre est « une structure close destinée à la production agricole dont le toit est en partie transparent pour laisser passer la lumière », tandis qu'un hangar agricole est « un bâtiment utilisé pour le stockage de véhicules et autres équipements agricoles, ou pour abriter des animaux, et permettant le travail dans un lieu couvert […] sans contrainte en matière de clos ».

Au total, trois entretiens ont été réalisés pour cette fiche :

- Une exploitation, encore au stade de projet, d'élevage porcin sous serre multichapelles ;
- Un élevage avicole sous serres monopentes ;
- Un élevage avicole sous serre multichapelles. Cet élevage a été abandonné et remplacé par un projet de maraichage (traité dans la fiche « Serre PV – maraîchage » pour des raisons sanitaires.

Ainsi, les retours obtenus sont à prendre avec précaution.

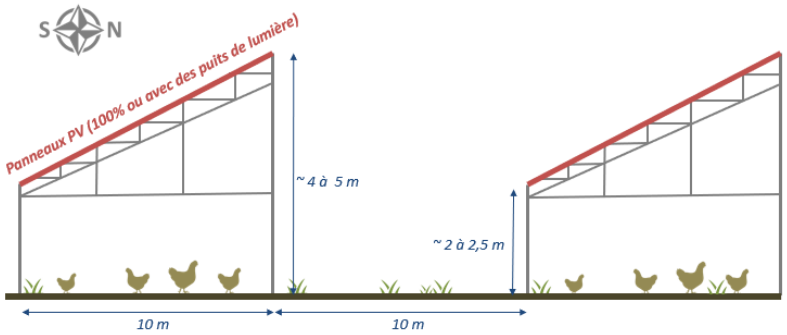
[21] Comission de Régulation de l'Energie, 2020. Cahier des charges de l'appel d'offres portant sur la réalisation et l'exploitation d'Installations de production d'électricité à partir de l'énergie solaire « Centrales sur bâtiments, serres et hangars agricoles et ombrières de parking de puissance comprise entre 100 kWc et 8 MWc ».

Présentation des systèmes rencontrés lors des enquêtes

Parmi les entretiens réalisés, deux types d'élevage ont été analysés : des poules pondeuses sous ombrières et une installation encore au stade de projet d'élevage porcin sous serre multichapelle. Dans l'ensemble des cas rencontrés, les panneaux PV sont orientés au sud. Les installations sont représentées par les schémas ci-dessous :

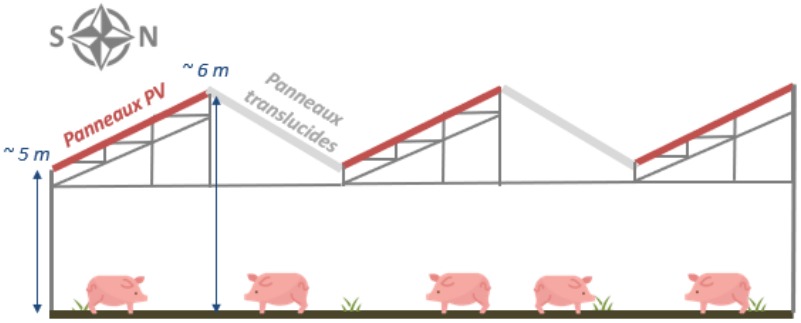
Dans le cas des ombrières monopentes avec élevage de poules pondeuses, la face recouverte de panneaux photovoltaïques peut contenir des puits de lumière.

Dans les cas rencontrés, les ombrières n'ont pas de parois latérales en verre. En revanche, des filets brise vents peuvent être installés autour de l'ombrière servant de poulailler principal. Ces filets peuvent être retirés ou installés en fonction des besoins de l'agriculteur d'orienter les animaux vers une partie ou l'autre de son terrain.



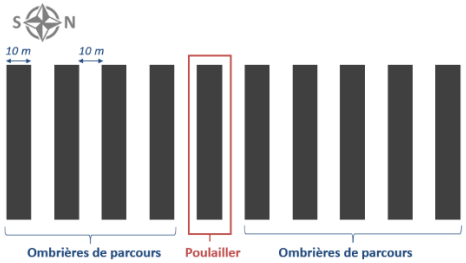
Elevage avicole sous ombrières photovoltaïques

Le projet d'élevage porcin sous serre prévoit des parois fermées sur les 4 faces latérales : les faces nord et sud devraient être en verre, et les faces est et ouest seront constituées à moitié de verre (partie basse) et à moitié de filets brise-vents (partie haute). Ces filets pourront être retirés et constitueront une aération supplémentaire de la serre en été pour le bien-être des animaux.



Elevage porcin sous serre photovoltaïque

Sous la serre multichapelle comme dans les projets d'ombrières, l'écartement entre les pieux est de 4 à 5 m dans le sens de la largeur, et de 10 m dans le sens de la longueur.
Les retours d'expérience montrent que les structures photovoltaïques sont aménagées en bâtiment d'élevage. Dans le cas de l'élevage porcin sous serre, cela concerne l'ensemble de la structure. Dans le cas des élevages avicoles, une des ombrières est aménagée en poulailler, tandis que les autres servent de protection sur les parcours. Le poulailler est localisé au milieu du terrain, comme représenté dans le schéma ci-dessous :



Vue du dessus d'un parcours avicole

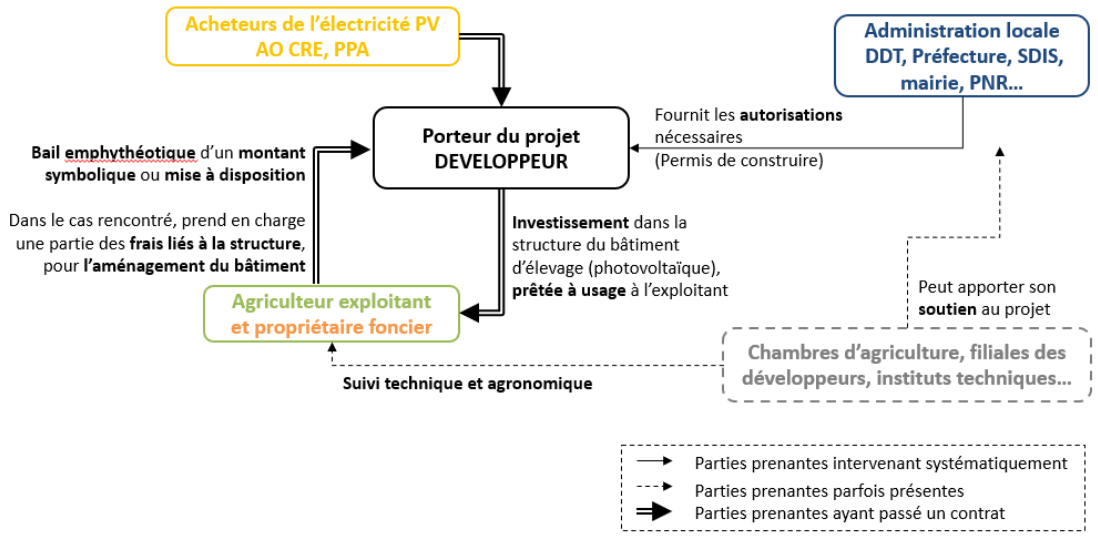
Les aviculteurs n'organisent pas de rotation à proprement parler au sein de leurs parcours. Toutefois, ils mettent en place des vides sanitaires régulièrement sous les ombrières. Une partie du terrain devient alors inaccessible aux volailles, ce qui offre la possibilité aux agriculteurs de replanter de l'herbe.
Le projet d'élevage porcin, quant à lui, prévoit un pâturage tournant au sein de la serre, en installant des cloisons entre les pieux. Il prévoit de planter des légumineuses au sol pour alimenter ses cochons.

Caractéristiques techniques et impacts sur le foncier agricole	
Densité de puissance (MWc/ha)	Environ 1,1 MWc/ha
Puissance moyenne des installations (MWc)	***Ombrières :*** Un projet d'une puissance installée d'1 MWc, un autre de 7 MWc ***Serre multichapelle*** : 3,2 MW pour la serre multichapelle
Surface moyenne des projets	***Ombrières :*** Un projet de 1,3 ha, un autre de 5,5 ha ***Serre multichapelle*** : ~2,5 ha
Taux de couverture des panneaux photovoltaïques (surface de la parcelle couverte par les panneaux PV)	Le taux de couverture du PV représente environ 50% de la surface totale du projet.
Type d'utilisation du sol	***Ombrières*** : L'une des ombrières est aménagée en poulailler. Sous les autres ombrières et sur les surfaces non occupées par des ombrières, le sol est utilisé en parcours d'élevage. ***Serre multichapelle*** : Le projet prévoit la construction d'un bâtiment d'élevage avec logettes.
Utilisation du sol avant le projet	***Ombrières :*** Les deux retours d'expérience sont des structures installées sur zones déjà agricoles (cultures de plein champ) ou sur friches agricoles. ***Serre multichapelle*** : Le retour d'expérience installée sur surface classée en forêt au PLU, qui a fait l'objet d'une compensation : l'exploitant doit ainsi replanter 6 ha de forêts.

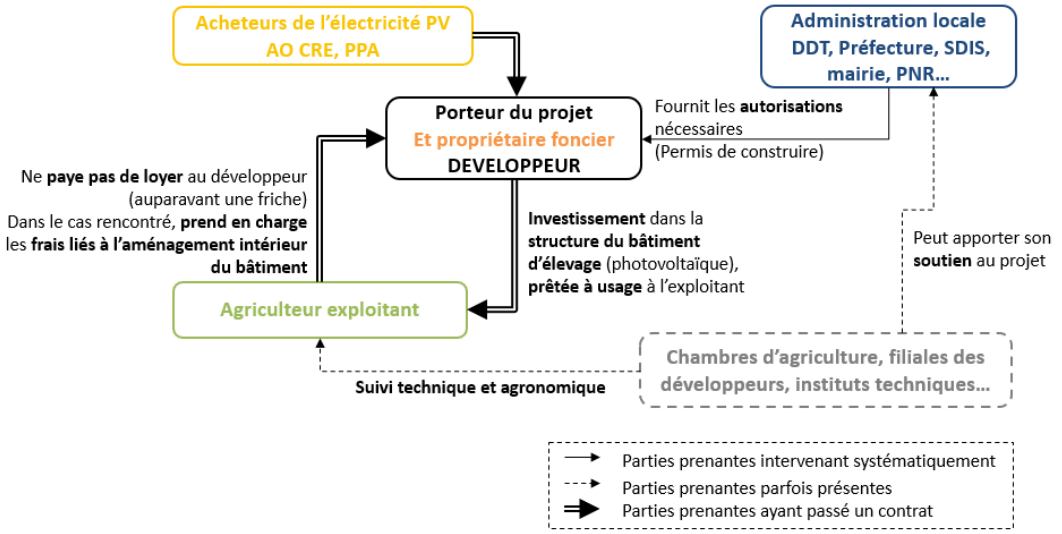
Acteurs impliqués et nature des implications

Trois cas de figure ont été recensés, selon la nature du propriétaire foncier.

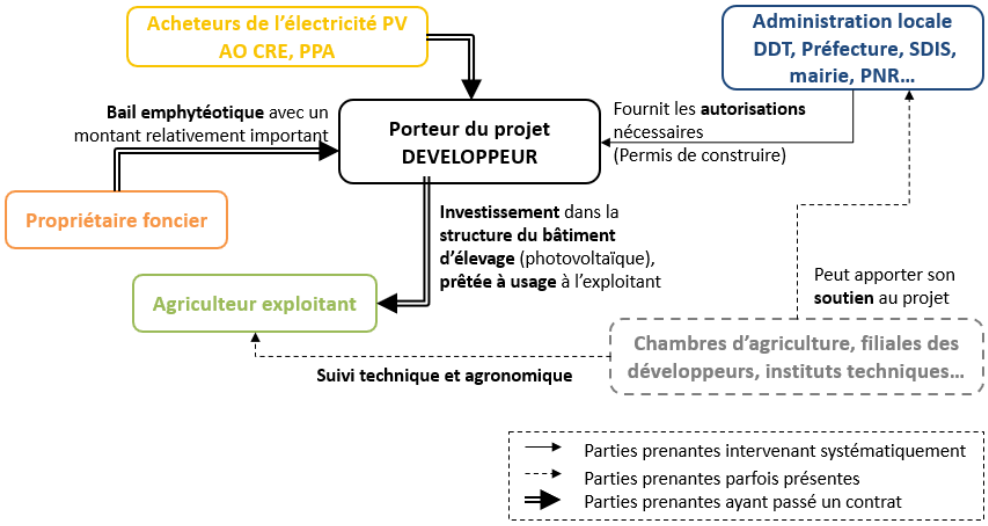
1. L'exploitant est propriétaire foncier et permet au développeur de produire de l'énergie photovoltaïque en contrepartie des investissements dans la structure. Dans le retour d'expérience rencontré, le développeur ne paye pas de loyer. En revanche, l'exploitant a pris à sa charge les frais d'aménagement de l'intérieur de la structure afin d'en faire un **bâtiment d'élevage** (800 k€ dans le cas de figure rencontré, pour un élevage porcin). La figure ci-dessous résume cette situation :



2. Dans un second modèle d'affaires, le développeur est propriétaire foncier. Dans le cas rencontré, l'exploitant bénéficie du terrain qui lui est mis à disposition sans payer de loyer. Ce cas de figure semble exister lorsque la construction de la structure a nécessité un changement d'usage de la parcelle, de zone Naturelle (N) au PLU à une zone agricole (A). L'activité agricole est alors une condition même de la mise en place de ces panneaux PV sur la parcelle, et la structure est laissée à l'agriculteur de façon totalement gratuite, sans qu'aucune contrepartie financière ne lui soit demandée.
En revanche, dans le cas de figure rencontré, l'exploitant agricole prend à sa charge les frais d'aménagement internes du bâtiment (500 k€ pour un poulailler).
La figure ci-dessous résume ce cas de figure :



3. Dans un troisième modèle d'affaires, le propriétaire foncier est une tierce personne. Dans ce cas-ci, le développeur paye un loyer au propriétaire en plus de laisser l'exploitant agricole utiliser la structure sans contrepartie financière. Comme dans les deux premiers cas précédents, l'intérêt de l'agriculteur réside alors dans le fait de pouvoir utiliser une structure agricole **sans investissement**, ou **avec un investissement limité**. Cette situation est résumée ci-dessous :



Dans tous les cas, des baux emphytéotiques de longue durée sont contractualisés entre le propriétaire et le locataire (au moins 20 ans).

En ce qui concerne la fin de vie des ombrières et serres, plusieurs cas de figure existent : les structures peuvent être rétrocédées à l'agriculteur en l'état, ou les panneau x démantelés par le développeur. Dans la moitié des cas rencontrés, les deux options sont possibles : le développeur laisse l'agriculteur décider.
Dans le cas où les structures sont rétrocédées à l'agriculteur en l'état, celui-ci aura alors à sa charge le démantèlement des panneaux et leur fin de vie au moment venu et a donc le choix entre :

- Remplacer à ses frais les panneaux par des vitrages horticoles ou autres protections,
- Signer de nouveau un bail avec un développeur (parfois le même) pour prolonger le contrat.
- Trouver un autre acheteur à qui vendre son électricité.

Impact du système agricole sur la production photovoltaïque

Aucun impact sur la production photovoltaïque n'est identifié pour ce type de couplage

Impacts du PV sur le système agricole et bonnes pratique identifiées

Etats initiaux et parcours de production

Les entretiens réalisés ont mis en évidence plusieurs états initiaux, qui permettent d'en déduire plusieurs états de référence :

Etats initiaux possibles	Plusieurs états initiaux ont été rencontrés dans les retours d'expériences de l'enquête. Il peut s'agir : • De nouveaux agriculteurs qui s'installent, • D'agriculteurs diversifiant leurs activités, souvent, basées sur du maraichage et des cultures de plein champ, • D'agriculteurs voulant étendre leurs activités d'élevage, basées sur des ateliers différents (porcins engraisseurs). En ce qui concerne les parcelles utilisées pour l'implantation des structures photovoltaïques, plusieurs états initiaux ont été recensés : • Des friches, ce qui est le cas le plus fréquent • Du maraîchage de plein champ
Etats finaux (en comparatif)	Plusieurs états finaux ont également été rencontrés dans les retours liés à l'enquête : • De l'élevage de poules pondeuses • Des ateliers porcins naisseurs Dans les cas rencontrés, la structure PV sert soit : • De bâtiment d'élevage • Ou permet de mettre en place des parcours tournants en installant des filets autour des ombrières ou en créant des box à l'intérieur de la structure. Dans plusieurs retours d'expérience, les exploitants ont le projet de planter des végétaux : - Sous ou entre les ombrières photovoltaïques (diversification avec des agrumes ou du maraîchage de plein air), - A l'intérieur de la serre, pour cacher les poteaux et améliorer le bien-être des animaux (espèces arbustives). Dans le cas rencontré, l'agriculteur a émis la volonté de semer des mélanges de prairies artificielles (légumineuses et graminées) pour permettre un pâturage tournant. Il a mentionné avoir besoin d'accompagnement technique à ce sujet pour évaluer la faisabilité de son projet. Dans l'une des situations enquêtées, l'atelier d'élevage a été remplacé, quelques années après l'installation du système PV, par une activité de maraîchage. Cette modification est due à des problématiques sanitaires sans lien direct avec la structure photovoltaïque.
Etat de référence possible	Dans l'ensemble des cas rencontrés, l'implantation du système PV s'est accompagnée d'un changement du type d'exploitation agricole, et le plus souvent de produit final. Les situations initiales décrites précédentes peuvent donc constituer un état de référence possible. Afin de tenir compte des apports du photovoltaïque, un autre état de référence possible est de comparer les élevages avec structures photovoltaïques aux mêmes élevages avec des bâtiments d'élevage standard.

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de la parcelle

Les entretiens ont permis de mettre en évidence différentes incidences du photovoltaïque sur les installations agricoles :

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions micro-climatiques	**Ombrage**	L'ombrage bénéficie aux volailles et aux porcins	Effet neutre par rapport à une structure sans photovoltaïque		
				Le cas échéant, l'ombrage peut impacter la bonne tenue des couverts végétaux sur les parcours	
	Température	La température est plus élevée l'hiver et plus fraiche l'été	Effet neutre par rapport à une structure sans photovoltaïque		
	Protection face aux aléas climatiques	La toiture offre une protection des animaux face aux aléas climatiques	Effet neutre par rapport à une structure sans photovoltaïque		
Itinéraires techniques	**Traitements pour les animaux**		Besoin de réaliser régulièrement des vides sanitaires pour éviter les maladies. Effet observé dans tout bâtiment agricole.	Cette contrainte n'existait pas sur les parcelles de parcours non couverts. La mise en place d'ombrières introduit cette obligation.	Pour le cas des ombrières, cette contrainte peut permettre aux exploitants de mettre en place un pâturage tournant
	Gestion du parcellaire	Les animaux explorent d'avantage toute la parcelle puisqu'il y a de l'ombrage réparti	Résultat qui pourrait être obtenu avec une structure sans photovoltaïque		
	Gestion des animaux	Sous la serre PV, les pieux déjà implantés permettront de faire des logettes pour les porcins à moindre coût. Ces logettes permettront une meilleure gestion du troupeau (séparation des truies gestantes…)	Ce type de gestion de troupeau est possible dans un bâtiment d'élevage		
Autres	**Bien-être animal**	Sensation de sécurité sous les ombrières	Résultat qui pourrait être obtenu avec une structure sans photovoltaïque		
	Protection contre les prédateurs	Pour les volailles, les panneaux photovoltaïques orientés vers le sud fournissent une protection contre l'attaque de buses, qui se fait du sud vers le nord.	Le même résultat pourrait être obtenu avec une structure sans photovoltaïque		

Incidences du PV sur l'activité agricole : à l'échelle de l'exploitation agricole

Seuls deux retours d'expérience permettent de comparer des états initiaux et finaux d'exploitation. L'un des retours d'expérience d'élevage avicole sous ombrières PV est une reconversion vers le métier d'exploitant agricole. Il s'est installé directement avec le projet photovoltaïque, le développeur étant propriétaire du terrain et des structures.
Les deux exploitants ont souligné une opportunité pour passer en agriculture biologique.
Toutefois, il est à noter que l'éligibilité de telles ombrières à une SIQO (AOC, Label Rouge, AB…) pourrait à l'avenir être remise en question. En effet, cette installation ne respecte pas certaines recommandations du SYNALAF [22], et notamment le fait d'avoir au maximum 10% de la surface des parcours recouverte par des panneaux photovoltaïques. De même, il existe un risque sur l'appellation « œufs de poules élevées en plein air » (directive 1999/4/CE[23]), qui stipule que l'espace extérieur doit être recouvert de végétation et ne doit faire l'objet d'aucune autre utilisation. Enfin, la nécessité de désinfecter les bâtiments d'élevage avicole[24] devra être considéré dans la mise en place des projets.

Le schéma ci-dessous résume les différents effets du passage à des ombrières ou une serre PV à l'échelle de l'exploitation agricole pour les deux autres retours d'expérience :

Production initiale	Ananas de plein champ	Elevage engraisseur uniquement
Production finale	Elevage de poules pondeuses	Elevage porcin naisseur-engraisseur
Adaptations agronomiques	Passage à une nouvelle activité de production	Aujourd'hui, il produit des céréales en AB qu'il vend, et il achète des céréales non certifiées pour son atelier d'engraissement des porcs. En démarrant une activité de naisseur-engraisseur, il pourra vendre des porcs labellisés AB et valoriser ses céréales directement dans son atelier d'élevage. Pour cela, il devra diminuer le nombre de porcs vendus.
Débouchés agricoles	Passage à de nouveaux débouchés en AB	Changement de débouchés: toujours des grandes et moyennes surfaces mais en AB (biocoop, …)
	A l'avenir, risque d'inéligibilité à certaines appellations, certification et labels (Label Rouge, IGP, AB…)	
Aides PAC	Pas d'aides PAC sur cette production	Pas de changement d'aides PAC
Emplois agricoles	Pas de changement	+ 2 ETH grâce à la nouvelle activité

Aucun des exploitants enquêtés ne touche de revenu lié à la vente d'électricité ou de loyer. En revanche, tous considèrent que l'association à une production PV a permis d'obtenir un abri qu'ils n'auraient pas pu financer autrement, et ainsi d'accroître leurs revenus par rapport à leur situation de référence (élevage de plein air ou exploitation plus petite), et ce pour diverses raisons :

- Accès à du capital : foncier et bâti supplémentaire
- Augmentation de la productivité agricole
- Passage au bio permis par la nouvelle structure et donc vente de produits à plus grande valeur ajoutée

Le passage en AB est retrouvé dans les deux retours d'expérience, et correspond à deux cas de figure distincts : dans un cas, l'exploitant profite d'un changement de production pour vendre ses œufs en agriculture biologique. Il dispose déjà de foncier agricole, et l'aide à l'investissement que constitue la structure PV lui permet de démarrer une nouvelle production en respectant les contraintes de bien-être animal nécessaires à l'obtention d'un label.

[22] Le Douairin P., 2020, Photovoltaïque sur les parcours : le Synalaf donne ses préconisations, https://www.reussir.fr/volailles/photovoltaique-sur-les-parcours-le-synalaf-donne-ses-preconisations>
[23] Texte consolidé Règlement (CE) n° 589/2008 de la Commission du 23 juin 2008 portant modalités d'application du règlement (CE) n° 1234/2007 du Conseil en ce qui concerne les normes de commercialisation applicables aux œufs, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A02008R0589-20171125
[24] Arrêté du 8 février 2016 relatif aux mesures de biosécurité applicables dans les exploitations de volailles et d'autres oiseaux captifs dans le cadre de la prévention contre l'influenza aviaire

Dans le cas de l'élevage porcin, l'accès à un nouveau bâtiment d'élevage lui permet de passer d'une activité d'engraisseur à une activité de naisseur-engraisseur. Cet exploitant produisait déjà des céréales en AB ; la naissance de porcelets était le maillon manquant pour pouvoir produire du porc biologique.

L'un des retours d'expérience mentionne que les panneaux photovoltaïques ont été implantés en même temps que des caméras de surveillance, appartenant au développeur. La présence de ces caméras a limité les vols, et a ainsi indirectement amélioré le résultat économique de l'exploitation.

Incidences du PV sur le système agricole : à l'échelle des territoires

Aucun impact du système PV à l'échelle des territoires n'a été identifié.

Surfaces potentiellement concernées par ce système	
Les informations fournies dans ce tableau ne sont qu'indicatives. En effet, elles désignent un gisement brut : celui des surfaces actuellement occupées de l'élevage porcin et avicole. Ces données ne fournissent pas une vision prospective, ni ne désignent le vrai gisement de surface disponible pour l'implantation de systèmes photovoltaïques. Pour cela, d'autres informations devraient être croisées, et notamment la compatibilité des installations PV avec ce type d'élevage.	
Gisement de surface adressable en France	Aviculture de plein air, élevages porcins de plein air, soit environ 2 800 exploitations en France (plein air et taille suffisante). Surface adressable de l'ordre de **14 000 ha** en France.
Occupation du système déjà installé	Quelques hectares (moins de 10 projets)
Surfaces concernées (régions)	Les régions où les filières d'élevage sont déjà présentes

Bilan du couplage - ELEVAGE SOUS OMBRIERE OU SERRE PHOTOVOLTAÏQUE

Les éléments dégagés précédemment permettent de tirer ce bilan du couple installation photovoltaïque – production agricole :

ATOUTS

Service agricole rendu à l'agriculteur : Accès à une structure agricole à coût nul ou moindre coût pour l'agriculteur

Partage de la lumière : Pas de tension sur le partage de la lumière lors d'un couplage avec de l'élevage (sans cultures associées)

Adaptabilité du système : structure modulable pour répondre aux contraintes de l'activité d'élevage

Occupation de la surface agricole : Dans certains cas, les projets PV permettent de valoriser des zones auparavant en friche

OPPORTUNITES ET PRATIQUES D'INTERÊT

NC

FAIBLESSES

Les bénéfices agronomiques sont liés à l'apport d'une structure qui pourrait être déployée sans photovoltaïque, car déjà utilisée couramment dans le monde agricole.

MENACES ET PRATIQUES A LIMITER

Fort besoin de formation et de technicité de l'exploitant si l'activité agricole initiale est différente

Impact potentiellement fort de l'installation des structures sur le parcellaire de l'exploitation : bien penser en amont aux évolutions (alimentation animale, parcours)

L'installation de telles structures (en trop grand nombre ou densité), notamment sur les zones de parcours, peuvent **remettre en cause les débouchés (sous SIQO) pour les productions agricoles**. Certaines exploitations rencontrées ne respectent pas les recommandations du SYNALAF concernant l'agriculture biologique, et pourraient ne plus être éligibles à l'avenir. La question se pose également pour l'appellation « œufs élevés en plein air ».

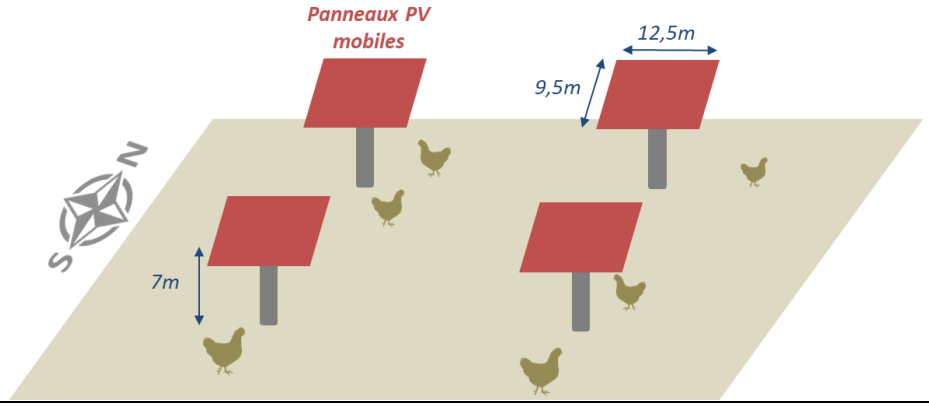
Occupation de surface agricole : Avec un même taux de recouvrement, la surface totale des parcelles avec ombrières est souvent supérieure à celle des serres. Sous serre en revanche, l'ensemble de la surface est imperméabilisé. Enfin, dans certains cas, les projets sont implantés sur des zones auparavant forestières.

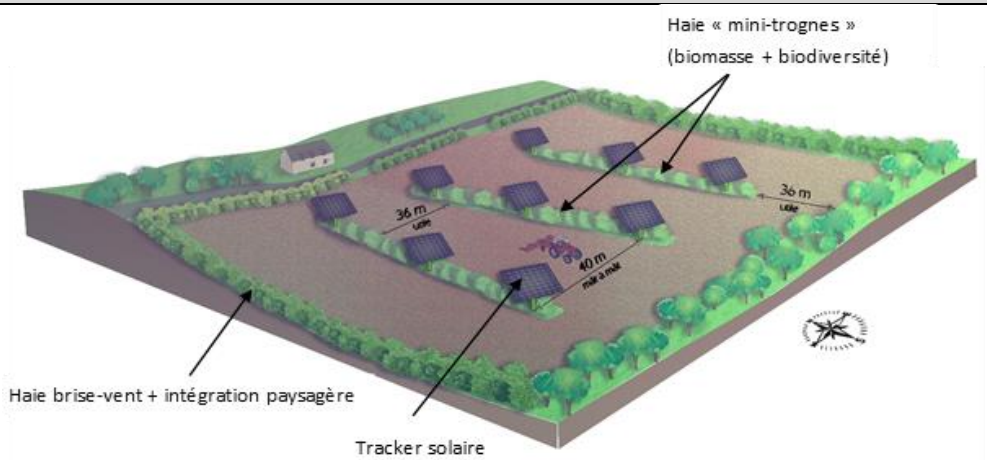
Sources
http://www.lafranceagricole.fr/elevage/des-parcours-ombrages-amoindre-cout-1,0,3835344329.html
3 retours d'expériences collectés lors d'entretiens
Etat de l'art bibliographique de la phase 1

FICHE 8 - TRACKERS PHOTOVOLTAÏQUES EN AUTOCONSOMMATION

Description du couple « système photovoltaïque – production agricole » : modèle technico-économique

Le système décrit ici est celui d'une structure « tracker », dont la surface photovoltaïque suit constamment la course du soleil, implantée sur du foncier agricole et dont l'électricité produite est autoconsommée en majeure partie. Cette fiche se base essentiellement sur deux entretiens réalisés avec un développeur photovoltaïque, deux retours d'expérience recensés en ligne et une recherche bibliographique. Sur le plan géographique, ce type de système peut être rencontré partout en France, même la majorité des exploitations sont actuellement des élevages bretons.
Les systèmes concernés sont résumés dans le tableau suivant :

Type de production agricole	Schéma de fonctionnement	Système fréquemment rencontré ?	Description
Trackers sur parcours d'élevage		Système rencontré dans de nombreuses exploitations (plusieurs centaines)	Les trackers sont implantés sur des parcours d'élevage de plein air (élevages avicoles ou bovins majoritairement). Dans certains cas, il s'agit de systèmes de polyculture-élevage, et la rotation inclue une période de culture sous les trackers. L'énergie produite est autoconsommée pour des usages divers (chauffage des bâtiments d'élevage, blocs de traite, ventilation etc.) et couvre généralement entre 30 et 40% des besoins de l'exploitation. Installation de 8 à 10 trackers par hectare

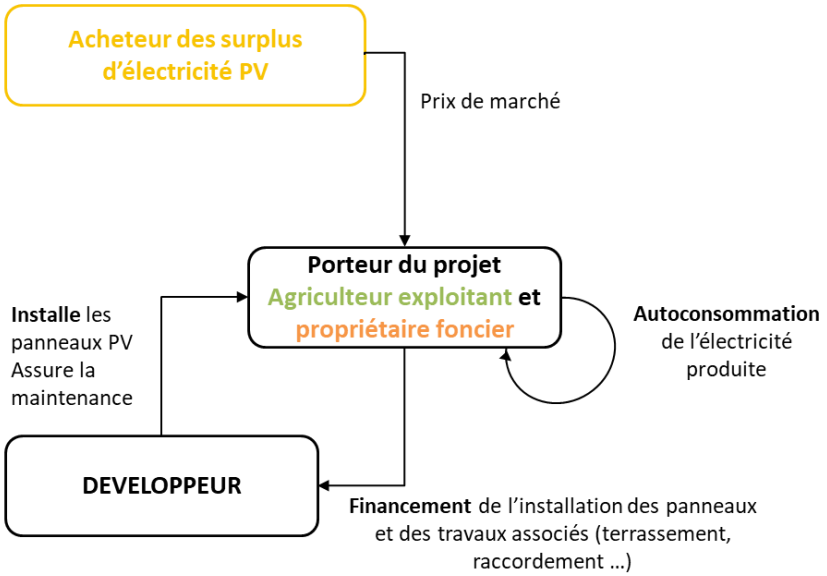
Type de production agricole	Schéma de fonctionnement	Système fréquemment rencontré ?	Description
Trackers sur cultures	 Crédits : OKwind	Système actuellement peu développé (quelques parcelles seulement)	Les trackers sont placés sur des parcelles cultivées (grandes cultures). Le dimensionnement des trackers et leur espacement permet le passage des engins agricoles entre chaque rangée. Environ 30 trackers par hectare

Ces différentes installations ont les caractéristiques techniques suivantes :

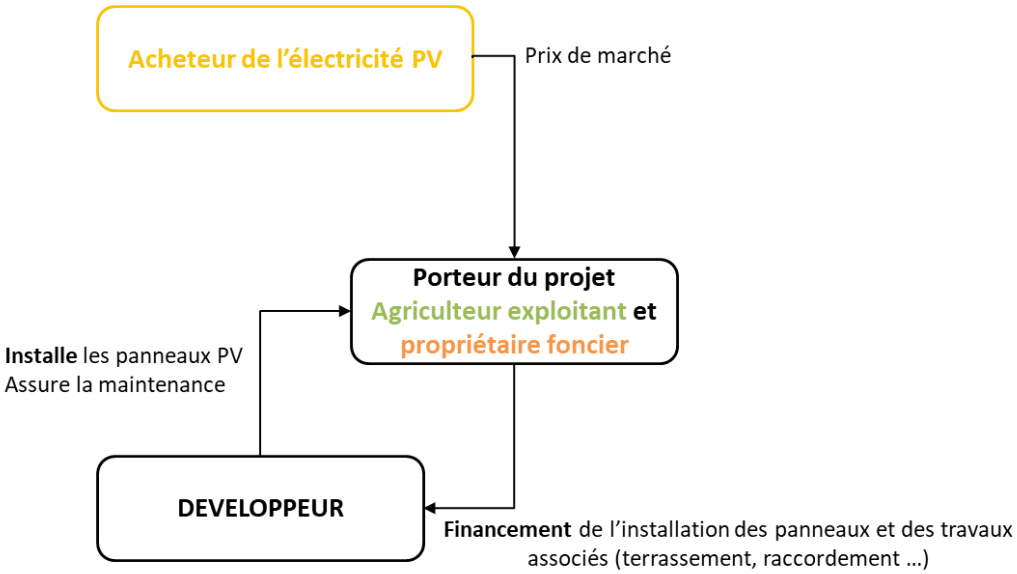
Caractéristiques techniques et impact sur le foncier agricole	
Densité de puissance (MWc/ha)	**Trackers sur parcours d'élevage** : 8 à 10 trackers par ha soit environ 0,2 MWc/ha **Trackers sur grandes cultures** : 30 trackers par ha soit environ 0,6 MWc/ha
Puissance moyenne des installations (MWc)	Actuellement, en moyenne 1,5 trackers par exploitation soit **0,03 MWc**
Surface moyenne des projets	Actuellement, majoritairement des petits projets : l'ordre de grandeur est **inférieur à 0,5 ha**
Taux de couverture des panneaux photovoltaïques (surface de la parcelle couverte par les panneaux PV)	**Trackers sur parcours d'élevage** : ~12% **Trackers sur grandes cultures** : ~36%
Type d'utilisation du sol	Les trackers ont une emprise au sol de 6m². Cette emprise au sol peut être plus ou moins importante selon les projets : **Trackers sur parcours d'élevage** : 8 à 10 trackers par ha soit environ 60 m²/ha **Trackers sur grandes cultures** : 30 trackers par ha soit environ 180 m²/ha soit 2% de la surface agricole utile Dans les cas des parcelles cultivées, l'emprise réelle est plus importante : les zones entre trackers, pour une rangée donnée (cf. schéma ci-dessus), ne sont pas exploitées (des haies sont plantées). En revanche, l'utilisation des sols ne change pas sous les panneaux PV et en dehors des espaces où les trackers projettent une ombre.
Utilisation du sol avant le projet	Pas de modification de l'usage des sols : Parcours d'élevage, parcelles cultivées, foncier non agricole

Acteurs impliqués et nature des implications

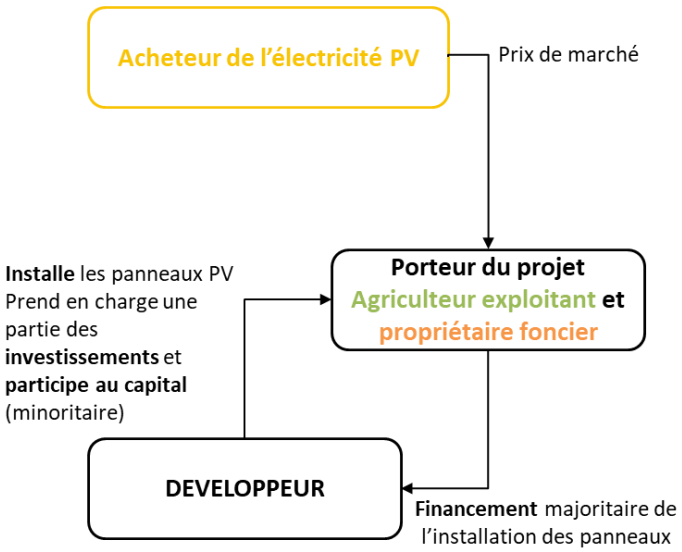
Dans le modèle d'affaire le plus fréquent, l'exploitant agricole investit dans l'installation des trackers sur ses parcelles et il consomme la majorité de l'énergie produite. Le surplus est injecté sur le réseau et vendu au prix de marché (vente : 5-6c€ / kWh). Ces systèmes ne sont actuellement pas éligibles à l'arrêté tarifaire. L'investissement est amorti sur 7 à 10 ans environ. Cette autoconsommation couvre généralement de 30% à 40% des besoins énergétiques de l'exploitation. Le développeur assure la maintenance des panneaux. Les panneaux arrivent en fin de vie au bout de 30 ans environ et l'exploitant peut alors choisir de les renouveler ou de démanteler les structures. Le démantèlement est à la charge de l'exploitant (~2 000 € de travaux pour 8-10 trackers).
Le dimensionnement des systèmes, afin de couvrir 30 à 40% des besoins énergétiques de l'exploitation, aboutit à l'autoconsommation de la quasi-majorité de l'électricité produite par les panneaux (90-95%).
Ce modèle d'affaire est le modèle standard pour les trackers sur parcours d'élevage.



Dans un second modèle d'affaire, moins fréquent et qui concerne davantage les installations sur cultures, l'exploitation agricole investit dans les trackers dans une optique de revente de l'électricité produite au prix de marché (vente : 5-6c€ / kWh).



Enfin, dans un dernier cas (uniquement au stade projet actuellement), le développeur co-investit avec l'exploitant agricole dans l'installation des trackers. Le développeur participe au capital, mais reste minoritaire. L'électricité produite est injectée et vendue sur le réseau.



Impact du système agricole sur la production photovoltaïque

Le système agricole n'a pas d'impact sur la production photovoltaïque dans le cas d'un tracker installé sur un parcours d'élevage.
En revanche, concernant les installations en grandes cultures, les panneaux doivent être mis à l'horizontal lors du passage des plus grands engins. Il peut donc y avoir un impact négatif ponctuel (limité) sur la production photovoltaïque mais également un risque de détérioration de l'installation en cas de passage des engins trop près de la structure.

Impacts du PV sur le système agricole et bonnes pratiques identifiées

Etats initiaux et parcours de production

L'installation de ce type de structures photovoltaïques peut se faire à partir de deux états initiaux :

Etats initiaux possibles	• Parcours d'élevage • Grandes cultures et prairies

Etat de référence possible	• Pour l'élevage, des parcelles agricoles sans panneaux. • Pour les systèmes en grande culture, des parcelles sans panneaux PV ou des parcelles en agroforesterie.

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de la parcelle

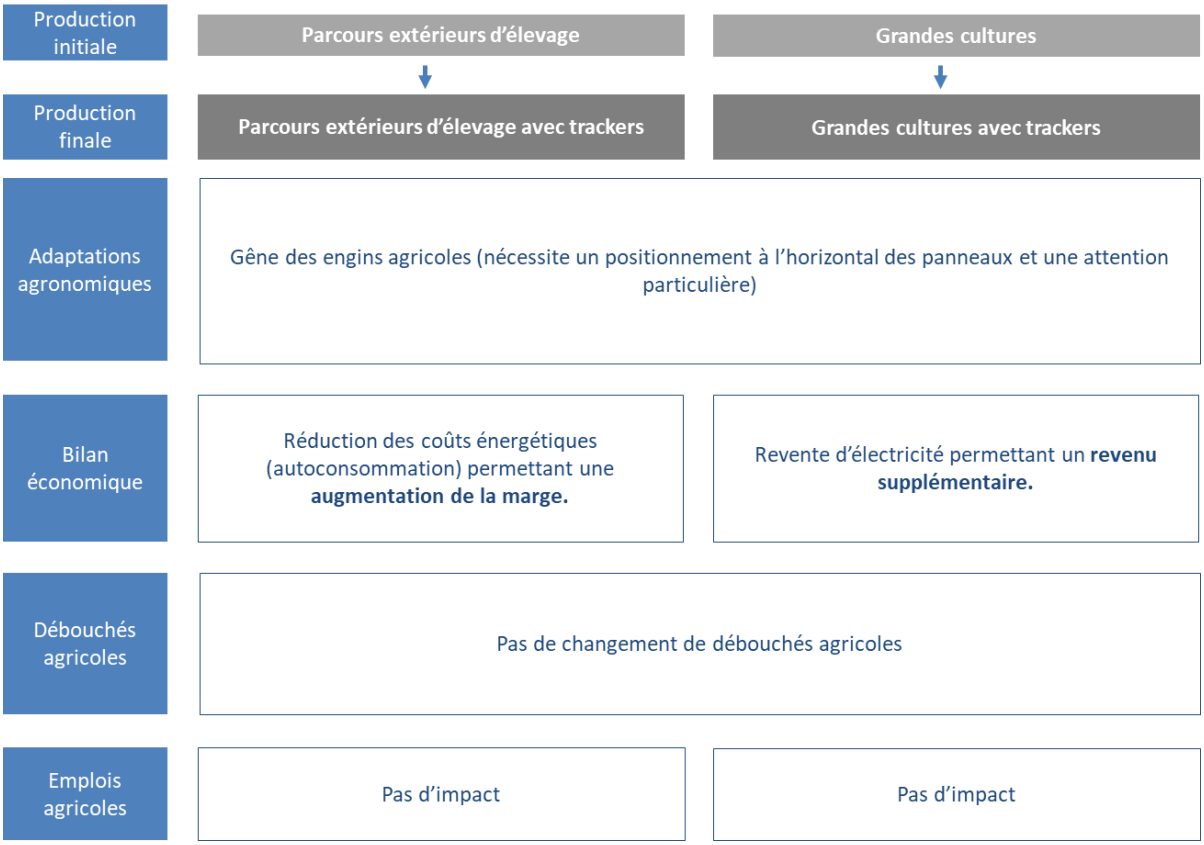
Dans les systèmes d'élevage, les trackers impactent très peu la production agricole, tant que la densité de trackers est assez faible (moins de 10 trackers par hectare). En revanche, il y a un risque d'effet seuil : à partir d'une certaine densité, l'ombrage risque de devenir impactant pour les couverts végétaux des parcours d'élevage.
Les structures peuvent également apporter un ombrage rapidement mobilisable : les observations montrent que les animaux viennent s'abriter sous les trackers.

Les systèmes implantés sur grandes cultures sont plus rares : les trackers cherchent à optimiser la production d'électricité, l'ombrage et par conséquent l'impact sur les cultures peut ainsi être non négligeable. En règle générale, ces systèmes impactent peu les travaux agricoles mais ils peuvent gêner le passage des engins agricoles : il convient alors de les positionner à l'horizontale.

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
	Bien-être animal	L'ajout de ces structures apporte un ombrage qui peut être rapidement mis en place, à la différence des arbres qui nécessitent quelques années de pousse.	Effet possible avec un parcours arboré ou des ombrières non PV.	La qualité d'ombrage de ces structures n'ayant pas été caractérisée : elles ne devraient pas, à priori, remplacer 100% des arbres ou arbustes d'un parcours.	Une étude sur la densité de ces structures et leur impact sur le parcours herbeux et arboré des animaux est indispensable.
	Réduction de la surface exploitable			Les trackers mobiles (et leurs fondations) sur les cultures réduisent la surface agricole utile. Il en va de même pour les prairies fauchées dans les exploitations d'élevage.	
	Ombrage		Pour les densités de trackers observées (souvent moins de 10 trackers par hectare, maximum 30 trackers par hectare) cet impact reste très limité.	Les trackers réduisent la quantité de lumière parvenant aux cultures. Cet impact est d'autant plus important que les panneaux suivent en permanence la course du soleil (orientation à 90° par rapport au rayonnement direct).	Limiter la densité de trackers.
	Manœuvre des engins agricoles			Les structures viennent gêner les trajets des engins agricoles et nécessitent une mise à l'horizontale des panneaux ainsi qu'une attention particulière pour ne pas détériorer les structures au passage.	Adapter les dimensions des structures ou le calepinage des trackers par rapport à la zone de production agricole. Utiliser des engins avec GPS.
	Qualité des sols			Les fondations nécessaires aux structures viennent impacter les sols via des blocs bétons d'environ 2 x 2 x 2m. L'impact sur la qualité des sols perdure probablement plusieurs années après le démantèlement.	Le système est réversible techniquement mais nécessite des travaux importants et à la charge de l'exploitant.

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de l'exploitation agricole

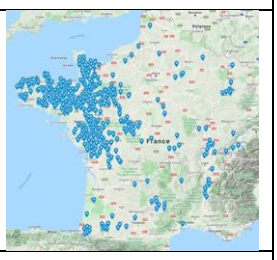
A l'échelle de l'exploitation, ce type de projet permet avant tout d'améliorer la rentabilité économique de l'exploitation à long terme : réduction des coûts en électricité (autoconsommation) de 30% à 40% et permet d'être davantage indépendant par rapport aux fluctuations des prix de l'énergie.
Dans le modèle de revente de l'électricité, ce type de projet permet de garantir un revenu supplémentaire pour les exploitants.



Incidences du PV sur le système agricole : à l'échelle des territoires

Ces systèmes ont un impact paysager conséquent. De plus, ces installations de petite capacité ne font pas l'objet d'une étude d'impact et échappent aux CDPENAF[25]. Il y a un risque de mitage du territoire si de nombreux agriculteurs installent des trackers.

Le potentiel de développement de ce système est étudié dans le tableau ci-dessous :

Surfaces agricoles potentiellement concernées par ce système	
Les informations fournies dans ce tableau ne sont qu'indicatives. En effet, elles désignent un gisement brut : celui des surfaces actuellement occupées par des parcours d'élevage et des grandes cultures. Ces données ne fournissent pas une vision prospective, ni ne désignent le vrai gisement de surface disponible pour l'implantation de systèmes photovoltaïques. Pour cela, d'autres informations devraient être croisées, et notamment la compatibilité des installations PV avec ces productions.	
Gisement de surface adressable en France	C'est plus de la moitié de la SAU nationale qui est concernée. La surface adressable est de l'ordre du million d'hectares
Nombre de projets actuels correspondant au système	Environ 800 sites et 1 200 trackers installés.
Surfaces concernées (régions)	Toutes les régions sont potentiellement concernées. Actuellement, parc installé majoritairement en Bretagne et Pays de la Loire.  Crédits : OKwind
Bilan sur le potentiel de développement	Gisement de surface adressable très important

[25] Commission départementale de préservation des espaces naturels, agricoles et forestiers. Ce dispositif contribue à limiter la consommation d'espaces naturels, forestiers ou à vocation agricole.

Bilan du couplage - TRACKERS PHOTOVOLTAÏQUES EN AUTOCONSOMMATION

Les éléments dégagés précédemment permettent de tirer ce bilan :

ATOUTS

- Apport d'une autonomie énergétique de l'exploitation
- Pour l'élevage : apport d'un ombrage rapide pour les animaux et, à priori, peu d'effet négatif sur la production agricole (pour la densité de trackers observée)

FAIBLESSES

- Système majoritairement dédié à la production électrique avec un suivi constant de la course du soleil
- Qualité d'ombrage non caractérisée par rapport à un ombrage naturel
- Pour les grandes cultures : ombrage important qui peut avoir un impact sur la production agricole, diminution de la surface agricole et nécessité d'attentions particulières en cas de passage des engins agricoles

OPPORTUNITES ET PRATIQUES D'INTERÊT

- L'exploitant agricole est soit le porteur exclusif du projet soit le principal participant au capital

MENACES ET PRATIQUES A LIMITER

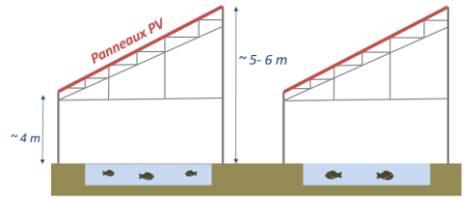
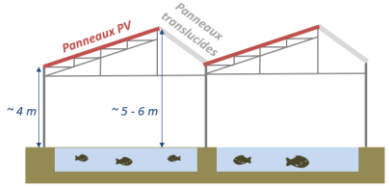
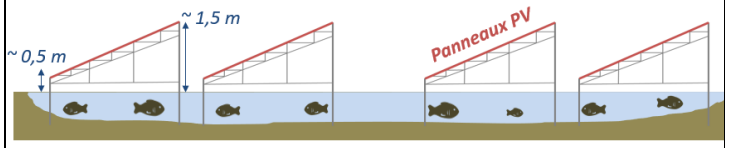
- Impact paysager spécifique et non négligeable du fait de la hauteur et de la dimension des trackers
- Fondations en béton limitant la réversibilité du système pour le sol
- Densité de trackers à limiter : Risque d'atteinte d'un effet seuil où l'ombrage devient impactant pour les couverts végétaux des parcours d'élevage
- Risque de mitage du territoire si de nombreux agriculteurs installent des trackers, d'autant que ces installations sont souvent de petite capacité et peuvent échapper à la procédure CDPENAF

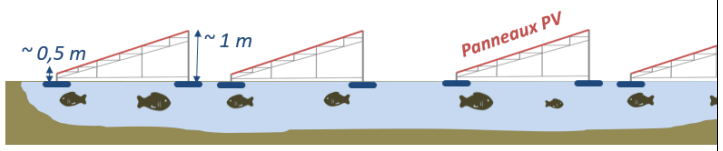
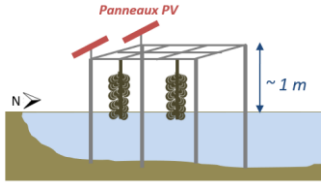
Sources
2 entretiens développeurs
2 Retours d'expériences disponible en ligne (hors entretiens)
Etat de l'art bibliographique de la phase 1

FICHE 9 - PROTECTION PHOTOVOLTAÏQUE AQUACOLE

Description du couple « système photovoltaïque – production agricole » : modèle technico-économique

Les systèmes décrits ici regroupent différents types de production aquacoles (pisciculture et conchyliculture). Deux grandes catégories de structures PV ont été recensées : des ombrières fixes (surélevées de plusieurs mètres au-dessus des bassins), des centrales fixes ou flottantes (où les panneaux se situent juste au-dessus de la surface) ou des structures spécifiques.
Les différentes structures existantes sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Type de production	Type de structures PV	Type de bassins	Localisation des pieux	Schéma de fonctionnement	Système fréquemment rencontré ?	Description
Aquaculture	Ombrières	Sur bassins aquacoles	Implantés dans le sol		Système le plus fréquemment rencontré en métropole	Hauteur de panneaux généralement importante (plus de 4 m) Systématiquement orientées vers le sud Couvrent en général quelques bassins
	Ombrières reliées les unes aux autres par des panneaux en verre translucide				Système également rencontré en métropole et à la Réunion	
	Centrales	Sur plans d'eau naturels	Pieux fixes au fond des plans d'eau		Systèmes rencontrés uniquement à l'étranger (Asie)	Faible hauteur de panneaux (<1 m au-dessus de la surface), surfaces couvertes importantes

Type de production	Type de structures PV	Type de bassins	Localisation des pieux	Schéma de fonctionnement	Système fréquemment rencontré ?	Description
			Pieux munis de flotteurs ancrés par des chaines			
Conchyliculture	Panneaux photovoltaïques sur tables conchylicoles	Sur plans d'eau naturels	Pieux fixes au fond des plans d'eau		Système rencontré dans quelques installations en France	La production PV permet d'actionner les cordes sur lesquelles sont fixées les coquillages

Ces différentes installations ont les caractéristiques techniques suivantes :

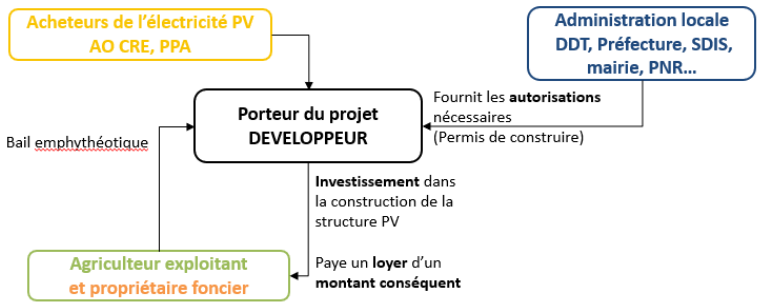
Caractéristiques techniques et impact sur le foncier agricole	
Densité de puissance (MWc/ha)	***Installations sur bassins*** : Environ 1MWc/ha ***Installations sur plan d'eau*** : Entre 0,5 et 0,75 MWc/ha
Puissance moyenne des installations (MWc)	***Installations sur bassins :*** Entre 1,5 et 2,8 MWc
Surface moyenne des projets	***Installations sur bassins :*** Entre 1,5 et 2,5 ha
Taux de couverture des panneaux photovoltaïques (surface de la parcelle recouverte par les panneaux PV)	***Installations sur bassins*** : Plus de 50% ***Installations sur plan d'eau*** : Entre 20% et 50%
Type d'utilisation du sol	**En aquaculture *:*** ***Sous les panneaux PV:*** Bassins aquacoles ***Entre les panneaux PV:*** Chemins et voies de circulations entre bassins aquacoles **En conchyliculture *:*** Les panneaux prennent une petite surface des tables conchylicoles. La production des coquillages de fait sans distinction des zones situées sous les panneaux ou entre les panneaux
Bassins aquacoles déjà existants ?	***Installations sur bassins*** : Parmi les deux cas interrogés, l'un avait déjà des bassins existants. Dans l'autre cas, le montage du projet s'est fait en même temps que le démarrage de l'activité aquacole. ***Installations sur plan d'eau*** : L'activité conchylicole était préexistante à l'installation des panneaux PV

Deux retours d'expérience ont été recueillis pour des productions sous ombrières uniquement, correspondant aux deux premiers systèmes présentés. Toutefois, l'analyse bibliographique permet de donner quelques éléments concernant les autres systèmes.

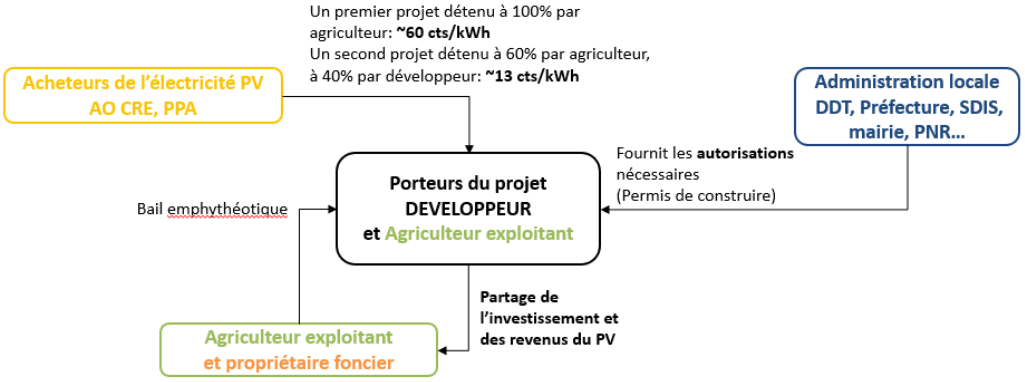
Acteurs impliqués et nature des implications

Les retours d'expérience permettent de distinguer deux modèles d'affaires pour les ombrières fixes sur bassins aquacoles. Dans ces deux modèles d'affaires, les agriculteurs exploitants sont propriétaires fonciers.

Dans le premier modèle d'affaires, seul le développeur est le porteur du projet photovoltaïque. Il assure seul les travaux d'installation du PV, et est le seul à toucher des revenus de la vente de l'électricité. Il contractualise un bail emphytéotique avec l'agriculteur d'une durée de 20 à 30 ans et paye un loyer pendant toute la durée du bail. Ce modèle d'affaires est schématisé ci-dessous :



Il existe également des cas où l'agriculteur est propriétaire d'une partie de l'installation PV.
Dans un des retours d'expérience rencontrés, l'agriculteur était propriétaire à 100% d'une ombrière construite en 2010. Il avait alors remporté l'AO CRE bâtiment, et vendent leur électricité à 60 cts €/kWh. Il bénéficie ainsi directement d'un revenu électrique important. Par la suite, il a aussi développé un autre projet avec un développeur en ne prenant qu'une part de 60% dans les investissements et en obtenant un tarif d'achat plus faible : 13 cts €/kWh. Ce modèle d'affaires est résumé dans le schéma ci-dessous :



Ces projets reposent sur des engagements à long terme concrétisés par des baux de 20 à 30 ans, parfois renouvelables. Au terme de ce bail, les structures photovoltaïques sont rétrocédées à l'exploitant agricole, qui peut choisir de les conserver ou bien de les faire démanteler par le développeur.

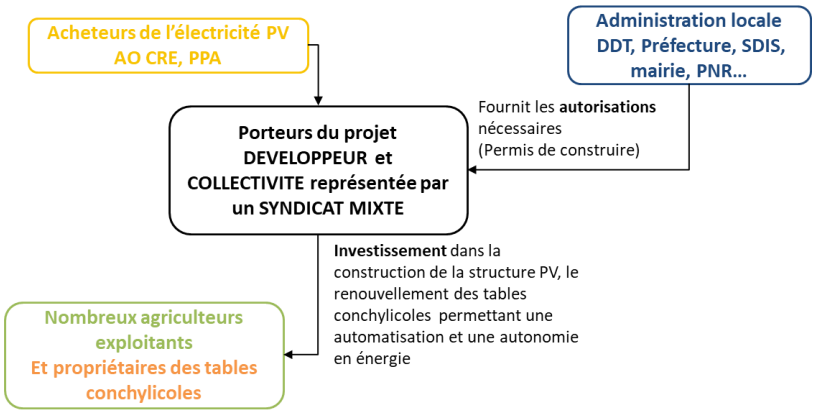
En ce qui concerne les projets conchylicoles, le modèle d'affaires principal semble faire intervenir différents acteurs :

- Un développeur photovoltaïque,
- Une collectivité territoriale (syndicat mixte),
- De nombreux exploitants conchylicoles (jusqu'à 800 dans certains cas), regroupés au sein d'une structure (syndicat mixte).

D'après l'état de l'art bibliographique, le portage de projet et les investissements sont assurés par le couple développeur-collectivité. Une partie du financement est également assuré via une plateforme de financement participatif et une autre par l'Etat et la Région.

Les exploitants semblent être généralement propriétaires de leurs tables conchylicoles. Ils acceptent de couvrir leurs tables de panneaux photovoltaïques en échange d'une automatisation de ces tables, d'une autoconsommation énergétique et, pour la majorité, d'un renouvellement des tables (parfois fortement corrodées par l'eau de mer).

Ce modèle d'affaires est résumé dans le schéma ci-dessous :



Impacts du système agricole sur la production photovoltaïque

D'après les retours des développeurs, ainsi que certaines publications scientifiques[26], le fait d'installer des panneaux photovoltaïques au-dessus de plans d'eau peut avoir un effet positif sur la production d'électricité. En effet, ils contribuent à rafraichir les panneaux et ainsi à améliorer leur productible électrique. D'après les développeurs également, les bassins capturent la poussière, ce qui diminue l'entretien nécessaire au bon fonctionnement des panneaux PV. A long terme en revanche, l'environnement humide peut potentiellement accélérer la corrosion des panneaux, notamment pour les installations localisées sur des plans d'eau salée.

Impacts du PV sur le système agricole et bonnes pratiques identifiées

Etats initiaux et parcours de production

Les retours d'expérience n'ont pas démontré de cas où l'installation d'une structure PV permet d'acquérir du foncier supplémentaire ou permet à de nouveaux agriculteurs de s'installer. Ainsi, ces protections photovoltaïques semblent s'implanter dans des exploitations aquacoles existantes. Les bassins peuvent déjà être recouverts par des toits ou non.

En ce qui concerne les installations photovoltaïques sur lacs ou étangs naturels, les états initiaux sont ces mêmes espaces non recouverts de panneaux.

En ce qui concerne le photovoltaïque sur bassins conchylicoles, les panneaux sont installés sur des tables de conchyliculture déjà existantes même si elles sont parfois renouvelées à ce moment-là.

Etats initiaux possibles de l'échantillon enquêté	En ce qui concerne les **bassins piscicoles**, les états initiaux possibles sont les suivants : • Bassins piscicoles déjà existants, non recouverts. C'est le seul cas rencontré dans les entretiens. • Bassins piscicoles couverts par des ombrières simples. En ce qui concerne les **bassins naturels**, les états initiaux des projets sont des lacs et étangs sans installations En ce qui concerne les **installations conchylicoles**, les états initiaux des projets sont des tables conchylicoles déjà existantes.

Le couplage avec le PV a des effets différents selon l'installation considérée (installations piscicoles ou conchylicoles), bien que certains effets soient communs. Ils sont observables à trois échelles différentes : celle du bassin (rendements, effets sur la croissance des algues), celle de l'exploitation (effets économiques sur les débouchés, le chiffre d'affaire et la main d'œuvre) et celle du territoire (maillage agricole, paysage, environnement). Pour les quantifier, des états de référence peuvent être définis, correspondant à des situations sans installation photovoltaïque afin de servir de point de comparaison avec l'exploitation avec installation photovoltaïque.

Etat de référence possible	En ce qui concerne les **bassins piscicoles**, plusieurs états de référence sont possibles : • Comparaison avec un système sans ombrières de protection • Comparaison avec des ombrières non PV En ce qui concerne les bassins naturels, l'état de référence possible est le bassin naturel sans PV, qui correspond à l'état initial avant le projet • En ce qui concerne le bassin conchylicole, l'état de référence est également l'état précédent, à savoir des tables conchylicoles sans panneaux PV.

Dans la suite de cette fiche, le cas d'installations de centrales sur des lacs ou étangs naturels pour la pisciculture ne sera pas traité, par manque de données bibliographiques et de retours d'expérience

[26] Kidegho G., Kinyua R., Muriithi C., Njoka F., 2020, Innovative Solar Photovoltaic and Termoelectric Power Generator for a Recirculating Aquaculture Sytem

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle du bassin

Ombrières fixes sur bassins aquacoles

A l'échelle du bassin, les ombrières photovoltaïques semblent avoir de multiples effets positifs sur la production piscicole sous-jacente. Elles permettent de rafraîchir la température moyenne de l'eau, de la stabiliser et ainsi d'en faciliter le pilotage, tout en limitant certains intrants. L'ombrage permet d'améliorer le bien-être animal : pour l'un des deux retours d'expérience, il a permis une augmentation de 20% de la productivité des bassins. Enfin, les ombrières offrent une certaine protection face à divers aléas d'ordre climatique (périodes de forts ensoleillements occasionnant des pics de température au niveau des bassins et qui peuvent impacter gravement les élevages) ou de prédation (oiseaux).

En conséquence, les rendements ont été maintenus, voire améliorés, pour les deux pisciculteurs interrogés. Ces deux derniers se disent très satisfaits de l'impact global des ombrières sur leur production agricole.

Incidences sur le système agricole		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions micro-climatiques	**Ombrage**	L'ombre est propice à la plupart des espèces de poissons d'élevage. Dans certaines exploitations, il permet d'augmenter la production des espèces les plus fragiles et à plus forte valeur ajoutée. L'ombrage limite également le développement des algues.	Les mêmes effets seraient obtenus avec des ombrières simples sur les bassins aquacoles	Si ombrage partiel sur les bassins, peut provoquer une hétérogénéité de température et perturber la répartition des poissons dans les bassins. Sur les plans d'eau, l'ombrage et la diminution de la turbidité peuvent modifier les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote dans la colonne d'eau. Ce qui pourrait engendrer un dégagement de gaz à haut effet de serre (CO_2, N_2O), notamment dans le cas de milieux eutrophes[27].	L'homogénéité de l'ombrage des bassins est l'un des facteurs de réussite des projets. En revanche, les impacts environnementaux de ces projets (émissions de gazs à effet de serre) restent à étudier.
	Température de l'eau	Rafraichissement de la température de l'eau. Température de l'eau plus facile à piloter (plus stable)	Cela n'a pas d'effet si les pisciculture sont situées sur des rivières, auquel cas l'eau qui arrive est déjà chaude		
	Protection face aux aléas climatiques	Protection face aux pics de chaleur	Les mêmes effets seraient obtenus avec des ombrières simples sur les bassins aquacoles		
Itinéraires techniques	**Intrants**	Diminution des traitements nécessaires, moins d'eutrophisation			
Autres	**Bien-être animal**	Amélioration du bien-être animal. Notamment, les poissons au soleil peuvent prendre des coups de soleil.			
Effets sur la production finale	**Diminution des pertes**	Protection face aux prédateurs (oiseaux)			
	Rendement	Retours d'expérience qui indiquent un maintien, voire amélioration du rendement (notamment en raison de la protection face aux pics de chaleur)		Une publication indique que des effets négatifs modérés pourraient être observés sur les quantités de poissons produites, du fait d'un moindre niveau d'oxygène dissous.	

[27] Pierre-Alexandre Château, Rainer F. Wunderlich, Teng-Wei Wang, Hong-Thih Lai, Che-Chun Chen, Fi-John Chang, Mathematical modeling suggests high potential for the deployment of floating photovoltaic on fish ponds, Science of The Total Environment, Volume 687, 2019, Pages 654-666, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.420.

Tables conchylicoles équipées de panneaux PV

Concernant les centrales sur production conchylicole, les ombrières photovoltaïques permettent essentiellement d'améliorer la qualité des productions et leur résilience, notamment en limitant la prolifération de certaines algues pendant les canicules.

Incidences sur le système		Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions micro-climatiques	**Température de l'eau**	Potentiel rafraichissement de l'eau, qui pourrait permettre en particulier de limiter la prolifération de certaines algues lors des épisodes de canicule (malaïgue)[28]	Même effet qu'avec un autre système d'ombrage		
Itinéraires techniques	**Installation de bulleurs**	Le photovoltaïque permet l'autonomie énergétique de bulleurs à oxygène, voués eux aussi à limiter le développement des algues dans l'eau			
	Automatisation des tables conchylicoles	Le photovoltaïque permet l'autonomie énergétique d'un système d'exondation des huîtres (i.e. les sortir de l'eau automatiquement).			
Effets sur la production finale	**Qualité**	Le fait d'exonder les huitres améliore leur qualité.	Même effet qu'avec un autre système permettant d'exonder les huitres.		

En Méditerranée, les huîtres élevées sont de l'espèce Bouzigues, et ont généralement une qualité inférieure à celles provenant de l'océan Atlantique. Cela est notamment dû au fait qu'elles restent longtemps immergées dans des lagunes riches en nutriments, ce qui accélère leur développement. Au bout de 8 mois, il arrive que les mollusques soient prêts alors que la chair n'est pas assez ferme et la coquille encore friable[29].

Exonder les huitres permet de bloquer leur croissance, ce qui permet d'avoir, en proportion, plus de chair que de coquillage.

De plus, les rayonnements UV qui arrivent sur le coquillage tuent les micro-organismes qui s'accrochent à la coquille. Cet effet n'existe toutefois que pour les huitres élevées sur cordes, et pas celles élevées en poches[30].

Dans les systèmes étudiés, les panneaux PV permettent d'automatiser l'exondage grâce à l'énergie solaire, mais le même résultat serait obtenu de façon manuelle.

[28] Cette information est issue des entretiens d'agriculteurs recensés lors de l'étude bibliographique, et reste à être démontrée par des études scientifiques

[29] F. Domerge, 2019. Les huîtres à marée solaire : comment un système de marée artificielle a donné naissance à un produit d'exception et un ovni dans les huitres méditeranéeennes, Vice France, <https://www.vice.com/fr/article/9kxnk7/les-huitres-a-maree-solaire>

[30] A. Devailly, 2011. L'ostréiculteur qui réinvente les marées, Le Monde, <https://www.lemonde.fr/planete/article/2011/12/30/l-ostreiculteur-qui-reinvente-les-marees_1624137_3244.html>

Incidences du PV sur l'activité agricole : à l'échelle de l'exploitation agricole

En pisciculture, les effets des ombrières photovoltaïques sont globalement **positifs à l'échelle de l'exploitation** :

- Dans les modèles d'affaires rencontrés en pisciculture, les agriculteurs touchent **un loyer.**
- Les structures peuvent permettre de réduire les intrants et donc les coûts d'exploitation, ou d'accéder à des débouchés avec des prix de vente supérieurs comme pour certains poissons à forte valeur ajoutée (l'omble chevalier notamment) qui ne peuvent être produits qu'en zone ombragée. Ces derniers avantages ne sont néanmoins pas directement liés au photovoltaïque, mais plutôt à l'apport d'un ombrage par un abri, financé intégralement ou en partie par des partenaires.

En ce qui concerne les rendements piscicoles, les retours d'expériences sont concordants : l'un des agriculteurs a vu une amélioration de rendement de 20% suite à l'installation des ombrières. L'autre, considère que la pisciculture est un secteur fortement impacté par le changement climatique en crise et qu'il aurait perdu 20% de sa production en dix ans s'il n'avait pas installé ces ombrières. Ce résultat n'est pas spécifique au photovoltaïque, bien que le loyer de celui-ci constitue une aide qui permet d'investir dans ces abris.

Dans les deux cas, les pisciculteurs considèrent que les projets photovoltaïques ont permis une augmentation très significative de leurs revenus agricoles.
Hormis ces effets économiques, les exploitants interviewés soulignent l'amélioration du confort de travail que permet l'ombrage. Un autre avantage est que ces structures ne nécessitent pas d'adaptation particulière des pratiques agricoles.

En conchyliculture, les effets rapportés sont une meilleure qualité des productions. Celle-ci entraine alors l'ouverture de nouveaux débouchés pour les huitres, notamment auprès de restaurateurs. Le fait de limiter la prolifération des algues limite également les pertes, et améliore donc les rendements et ainsi les résultats économiques.

La figure ci-dessous résume ces deux situations rencontrées :

Production initiale	Bassins piscicoles sans couverture	Aquaculture sur plan d'eau sans couverture
Production finale	**Bassins piscicoles sous ombrières PV de poissons finis et jeunes vendus à d'autres pisciculteurs**	**Conchyliculture sur plan d'eau sans couverture**
Adaptations techniques	Pratiques agricoles peu impactées par le passage sous panneaux PV. Parfois, permet **d'augmenter** la **proportion d'espèces plus fragiles** à plus forte valeur ajoutée (ombres chevaliers) par rapport aux truites	Automatisation des tables conchylicoles en autoconsommation, installation de bulleurs à oxygène dans l'eau
Bilan économique	**Augmentation de la marge**, grâce à une augmentation des rendements et/ou une diminution des coûts de production (moins d'intrants, autoconsommation, pilotage facilité de la T° de l'eau…) **Revenus complémentaires** grâce au loyer touché. Le projet PV apporte aussi une **capacité à investir** sur un marché à forte valeur ajoutée	A priori, **amélioration du bilan économique** car limitation des pertes associées à la prolifération de la malaïgue lors des épisodes de canicules
Débouchés agricoles	Dans les cas rencontrés, pas de changements de débouchés même si les tonnages d'ombres chevaliers vendus augmentent	Une **amélioration de la qualité** de certains produits (huitres de Bouzigues) peut permettre d'ouvrir de **nouveaux débouchés** (auprès de restaurateurs notamment)
Aides PAC	Pas d'aides PAC sur ces productions	
Emplois agricoles	Amélioration du confort de travail (ombrage) Embauche d'un employé par an pour l'un des répondants	Automatisation des tables conchylicoles

Incidences du PV sur le système agricole : à l'échelle du territoire

D'après l'un des retours d'expérience, l'opportunité économique apportée par le photovoltaïque dans ces projets d'ombrières sur bassins d'aquaculture pourrait participer au maintien des filières piscicoles.

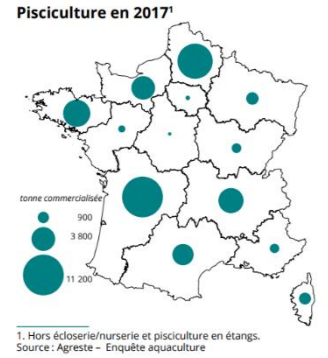
Bilan du couple photovoltaïque – production agricole

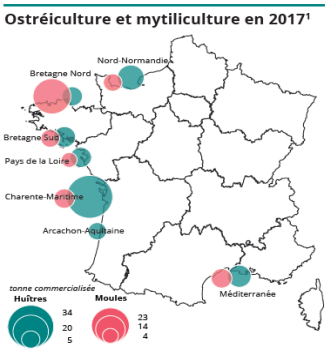
Le potentiel de développement de ce système est étudié dans le tableau ci-dessous :

<table>
<tr><th colspan="2">Surfaces agricoles potentiellement concernées par ce système</th></tr>
<tr><td colspan="2">Les informations fournies dans ce tableau ne sont qu'indicatives. En effet, elles désignent un gisement brut : celui des surfaces actuellement occupées par des productions piscicoles et conchylicoles. Ces données ne fournissent pas une vision prospective, ni ne désignent le vrai gisement de surface disponible pour l'implantation de systèmes photovoltaïques. Pour cela, d'autres informations devraient être croisées, et notamment la compatibilité des installations PV avec ces productions.</td></tr>
<tr><td>Gisement de surface adressable en France</td><td>Ce système couplé peut soit faire l'objet de nouveaux projets, soit être installé sur des productions piscicoles et conchylicoles existantes.

La production piscicole type truite en France s'élève à 35 milliers de tonnes, dont 20 tonnes dans les régions du Sud de la France. La production de poissons d'étangs s'élève à 8 milliers de tonnes. En termes de surfaces, la pisciculture d'étangs représente un gisement adressable très important, de l'ordre de 70 000 ha en France, tandis que les bassins piscicoles ne représentent qu'une surface de l'ordre de 200 ha en France.

Les productions d'huitres et de moules sont de près de 80 et 50 milliers de tonnes respectivement, fortement déployées sur la façade Atlantique. Les zones à vocation conchylicoles sont importantes représentent une surface de l'ordre de 15 000 ha en France.

 
</td></tr>
<tr><td>Nombre de projets correspondant au système</td><td>1 seul projet de centrale PV sur conchyliculture
3 projets en France d'ombrières fixes sur pisciculture</td></tr>
<tr><td>Surfaces concernées (régions)</td><td>Manque de recul pour déterminer les régions de développement potentiel. Les systèmes existants sont situés en Nouvelle-Aquitaine et à La Réunion, dans des régions plutôt ensoleillées.</td></tr>
</table>

Bilan du couplage - PROTECTION PHOTOVOLTAÏQUE AQUACOLE

Les éléments dégagés précédemment permettent de tirer ce bilan du couple photovoltaïque – production agricole :

ATOUTS

Le service agricole : Le fait d'avoir des ombrières améliore la qualité des productions, en aquaculture comme en conchyliculture. En aquaculture, cela permet aux exploitations de limiter l'impact du changement climatique.

Partage lumineux non problématique : l'ombre est propice à la culture aquacole, voire à une amélioration de celle-ci.

Pas de consommation de foncier agricole utile : Installation des ombrières sur des bassins utilisés en production aquacole

Résultats économiques : quel que soit le modèle d'affaire, les exploitants perçoivent des avantages financiers (loyer conséquent ou partage des revenus liés à la vente de l'électricité) ou des avantages en nature avec, par exemple, un renouvellement ou une automatisation des tables conchylicoles. Dans l'ensemble des modèles d'affaires, le revenu issu de la production agricole reste le plus important.

Itinéraires techniques : Le photovoltaïque est peu impactant sur les pratiques agricoles

Pérennisation de l'exploitation : Dans les systèmes conchylicoles, le PV apporte une autonomie énergétique des outils d'exploitation agricole (système d'exondation, bulleurs à oxygène...). Dans les systèmes aquacoles, il permet un investissement dans des ombrières et améliorent la viabilité à long terme de l'exploitation grâce à la diversification des revenus.

Bonne réversibilité du projet : D'un point de vue économique, tous les cas de figure existent: le propriétaire du panneau (agriculteur ou développeur) est en charge du démantèlement. Dans l'autre cas de figure rencontré, la fin de vie reste à définir.

FAIBLESSES

Implique des **contraintes techniques** pendant la phase de construction et impacte parfois la productivité au moment des travaux et l'année suivante.

Investissements globaux relativement conséquents

MENACES ET PRATIQUES A LIMITER

Gisement de surface relativement limité pour les installations sur bassins piscicoles

OPPORTUNITES ET PRATIQUES D'INTERÊT

Développement pouvant être lié à un projet de territoire avec la mobilisation de nombreux acteurs (collectivités, agriculteurs, associations environnementales, développeurs...)

Adaptation aux besoins des agriculteurs et parfois participation des exploitants au capital

Bonne adaptabilité du système : Adapté aux mêmes productions que sans PV

Sources
2 retours d'expériences collectés lors d'entretiens (pisciculteurs)
Etat de l'art bibliographique de la phase 1 *https://www.akuoenergy.com/fr/les-cedres* *https://caviar-de-neuvic.com/parlons-caviar/caviar-de-neuvic-passe-a-lenergie-solaire-et-vous-propose-dinvestir/* *http://www.landes.gouv.fr/IMG/pdf/148_pdp_porter_connaissance_mezos.pdf* *http://www.landes.gouv.fr/IMG/pdf/rapportet_conclusions.pdf* *Graph'Agri 2019 – Agreste – enquête aquaculture 2016-2017* *Entretien REDEN Solar et Entretien Akuo* *http://www.crc-mediterranee.com/page/zones-de-production* *https://www.solarpowerworldonline.com/2019/07/will-floating-solar-arrays-float-or-sink/* *Graph'Agri 2019 – Agreste – enquête aquaculture 2016-2017* ***France :*** *https://www.francebleu.fr/infos/environnement/des-panneaux-photovoltaiques-pour-lutter-contre-la-malaigue-de-l-etang-de-thau-1575990596* *https://objectif-languedoc-roussillon.latribune.fr/economie/environnement/2019-12-06/bassin-de-thau-le-plus-grand-projet-mondial-d-ombrieres-flottantes-en-gestation-834821.html* *https://www.midilibre.fr/2019/03/27/conchyliculture-sur-le-bassin-de-thau-vers-le-modele-le-plus-vertueux-au-monde,8092652.php* ***Chine :*** *Ponyang Country, Jiangxi Province* *https://www.youtube.com/watch?v=Bw2j8aVexJY* *Hangzhou Fengling in Cixi, Zhejiang* *https://www.thecivilengineer.org/news-center/latest-news/item/1186-a-200mw-solar-park-floats-on-top-of-a-fish-farm-in-china* *https://inhabitat.com/immense-floating-solar-farm-at-chinese-fishery-replaces-7-4-tons-of-coal/* *Tianchang City* *https://www.kehua.com/uploadfile/downloads/Catalog%20-%20Solar%20Project%20(V20190302)R.pdf* *Shandong* *https://www.prnewswire.com/ru/press-releases/hengtong-optic-electric-pioneers-a-new-type-of-fishing-and-light-complementary-solar-power-plant-in-671726713.html* *Compté de Dangtu* *https://tecsol.blogs.com/mon_weblog/2020/04/centrale-pv-de-fishery-le-plus-grand-projet-photovolta%C3%AFque-%C3%A0-parit%C3%A9-r%C3%A9seau-de-chine-orientale-abrite.html* *Pierre-Alexandre Château, Rainer F. Wunderlich, Teng-Wei Wang, Hong-Thih Lai, Che-Chun Chen, Fi-John Chang, Mathematical modeling suggests high potential for the deployment of floating photovoltaic on fish ponds, Science of The Total Environment, Volume 687, 2019, Pages 654-666, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.420.* ***Taiwan:*** *https://www.cnbc.com/2019/02/15/google-is-building-a-solar-power-project-above-fishing-ponds-in-taiwan.html* ***Philippines:*** *https://www.goodnewspilipinas.com/state-of-the-art-floating-solar-farm-to-help-tawi-tawi-fishing-community/* ***Egypte:*** *Utilisation of solar photovoltaic pumping for aeration systems in aquaculture ponds: International Journal of Sustainable Energy: Vol 35, No 7 (tandfonline.com)* ***Etats-Unis:*** *Kurki A., Lynne V., 2014, Photovoltaic Applications in Aquaculture : A Primer, National Center for Appropriate Technology* ***Kenya:*** *Kidegho G., Kinyua R., Muriithi C., Njoka F., 2020, Innovative Solar Photovoltaic and Termoelectric Power Generator for a Recirculating Aquaculture Sytem*

FICHE 10 - PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES VERTICAUX BIFACIAUX

Description du couple « système photovoltaïque – production agricole » : modèle technico-économique

Le montage vertical de panneaux bifaces, orientés est-ouest et donc alignés sur un axe nord-sud, permet d'obtenir une production d'électricité maximale le matin et le soir : aux moments où les besoins sont élevés et donc, où le prix de l'électricité pourrait être le plus intéressant dans le cadre d'une vente sur les marchés de l'électricité. La courbe de production obtenue permet d'être complémentaire à celle des installations photovoltaïques standards, comme les centrales au sol (cf. schéma ci-dessous)[31]. De plus, le système de montage permet de minimiser l'emprise et le taux de couverture des sols, laissant un espace important entre les rangées pour l'agriculture (plus de 90% de la surface au sol reste exploitable).

Pour l'instant, l'intégralité des structures verticales bifaciales installées ont été portées par un seul développeur (Next2Sun). Cependant, il semblerait que d'autres développeurs s'intéressent aujourd'hui à cette configuration verticale et certains projets de centrale verticale sont en projet en France. Sur les 6 installations existantes, 4 installations concernent la production de fourrages de graminées sur des prairies, une installation concerne les grandes cultures et la dernière concerne l'aviculture. Seules 2 installations, situées en Allemagne, ont une taille importante (2 et 4 MWc) tandis que les autres sites concernent des puissances installées de quelques dizaines de kWc. Parmi ces sites, 3 permettent en partie de l'autoconsommation : une installation en Autriche pour des volailles plein air (la rangée de panneaux sert aussi de clôture pour le parc à volailles) et 2 installations en Irlande sur des exploitations laitières. Des réflexions sont en cours pour un nouveau projet qui inclurait de la production de luzerne sur 3 ans dans des rotations fourragères voire céréalières.

Localisation	Année de mise en service	Capacité	Productible annuel	Usage agricole
Allemagne	2020	4,1 MWc	4 850 MWh/an	Prairie (foin et enrubanné)
Irlande	2019	0,052 MWc (0,025+0,027)	30 MWh/an	Pâturage bovin lait (et autoconsommation)
Autriche	2019	0,023 MWc	23 MWh/an	Grandes cultures (pommes de terre)
Autriche	2019	0,023 MWc	50 MWh/an	Enclos pour volailles
Allemagne	2018	2 MWc	2 150 MWh/an	Prairie (foin et enrubanné)
Allemagne	2015	0,028 MWc	31 MWh/an	Prairie (projet pilote initial)

Installations PV vertical sur terres agricoles identifiées en Europe

Il n'existe pas de parc en activité en France mais nous sommes parvenus à enquêter les 2 sites les plus conséquents en termes de capacité installée, qui se trouvent en Allemagne (cf. tableau) sur des systèmes de prairies. Nous avons choisi de nous concentrer dans cette fiche sur cette association de PV vertical avec la production de fourrages sur prairies. En effet, compte tenu du côté expérimental des autres installations et de leur petite taille, il n'est pas possible de dégager des éléments suffisamment robustes pour fournir des éléments sur les synergies recherchées, les modèles d'affaire, etc. Cependant, nous utilisons quelques retours d'expérience de ces projets pour évoquer de possibles opportunités de développement de ce système à l'avenir. La diversité des projets actuels est visible dans les photos ci-après.

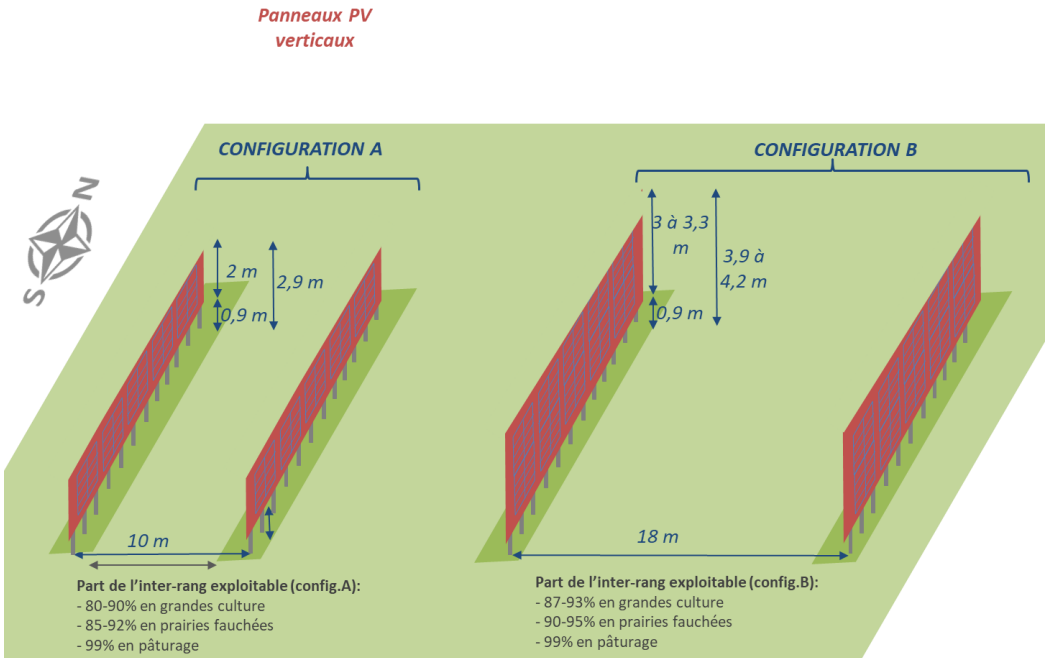
Vue aérienne et satellite du parc de Dirmingen en Allemagne (4kWc) - (crédits photographiques : Next2Sun, 2020 et Google Maps, 2020). NB : Les travaux du sol nécessaires pour l'enfouissement des câbles sont encore visibles sur la photo satellite de droite, prise peu de temps après la mise en service du site

[31] Selon les personnes interrogées, une orientation des panneaux entre nord et sud alignés selon un axe est ouest n'est pas à exclure du champ des possibles.

Haie PV en Irlande avec autoconsommation (crédits photographiques : Next2Sun, 2020)

Parc volaille de St. Martin, Autriche (crédits photographiques : Next2Sun, 2020).

Avec ce type de système dans le cadre de cultures mécanisés, les agriculteurs peuvent normalement continuer d'utiliser leurs engins agricoles. Cependant, l'écartement entre les rangées est déterminant, et peut augmenter le temps de travail si l'écartement n'est pas un multiple exact de la largeur des outils agricoles (faucheuse, andaineuse, semoir, etc.). Il faut laisser aussi une marge de sécurité pour garantir que les engins agricoles n'endommagent pas les structures photovoltaïques (cf. schéma ci-dessous). Cela peut aussi être un frein à l'utilisation d'outils plus larges et permettant de réduire la durée des travaux au champ. D'autre part, l'implantation nord-sud des rangées de panneaux implique d'adapter le sens de travail de la parcelle, pas toujours en adéquation avec la topographie. Cela peut, dans certains cas, diminuer confort et vitesse de travail. Les structures verticales ne permettent pas d'épandre des lisiers et fumiers avec des épandeurs par aspersion classiques, qui sont encore les plus utilisés en France. En revanche, l'utilisation d'un pendillard ou d'un enfouisseur permet un épandage des lisiers sans projection sur la structure PV, mais tous les agriculteurs ne sont pas équipés et cela ne règle pas le problème de l'épandage des fumiers dans le cas d'élevage sur litière paillée.



Configurations possibles du système

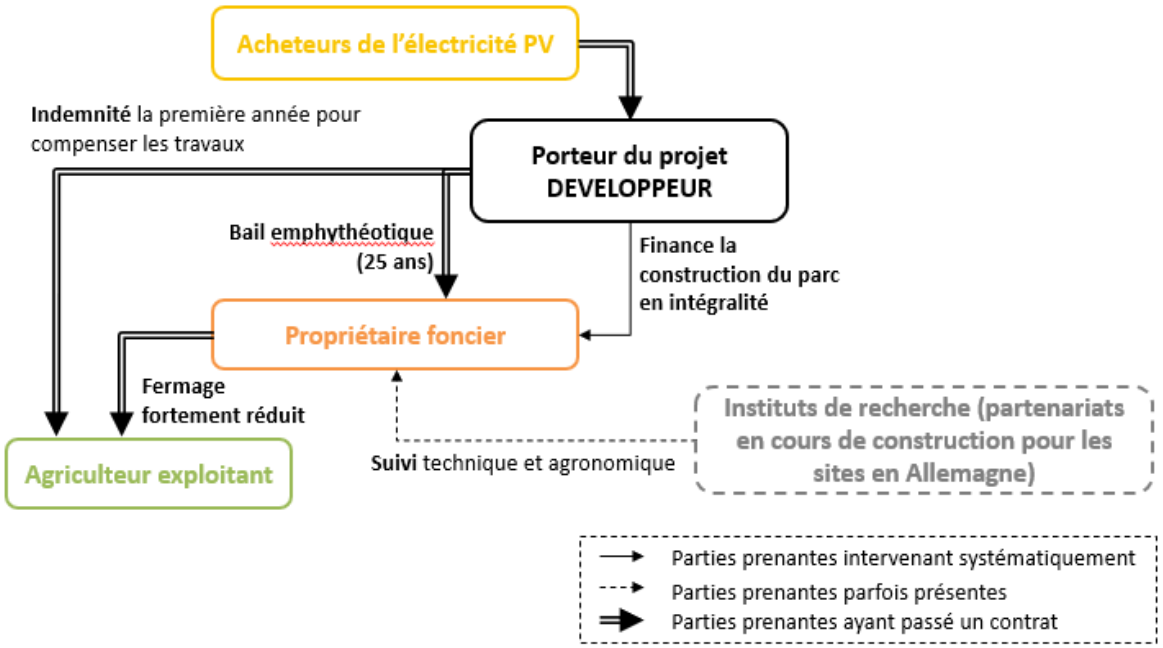
Caractéristiques techniques et impacts sur le foncier agricole	
Type d'installation PV	Panneaux bifaciaux orientés est-ouest, alignés verticalement sur des rangées alignées sur un axe nord-sud.
Densité de puissance installée en MWc/ha	Entre 0,28 et 0,4 MWc/ha sur les installations enquêtées.
Puissance moyenne des installations	
Surface moyenne des installations	
Taux de couverture (surface de la parcelle couverte par les panneaux PV)	Faible (~1%), en raison de la verticalité des panneaux
Hauteur des panneaux	Projets enquêtés (configuration A sur le schéma) : 2,9 m de hauteur, avec un espacement de 0,9 m entre le sol et l'arête inférieure du panneau (2 modules empilés sur la hauteur). Autre possibilité technique (configuration B) : 3,9-4,2 m de hauteur, avec un espacement de 0,9 m entre le sol et l'arête inférieure du panneau (3 modules empilés sur la hauteur)
Ecartement entre les lignes de panneaux	10 m si 2.9 m de hauteur (configuration A) 18m si 3,9-4,2 m de hauteur (Configuration B) ➔ L'écartement augmente avec la hauteur en raison de la gestion des ombres portées d'une rangée de panneau sur l'autre. La topographie peut aussi induire des contraintes supplémentaires d'ombres portées.

Acteurs impliqués et nature des implications

Dans les retours d'expérience recensés (Allemagne), le développeur investit dans la structure PV sans participation capitalistique du propriétaire ou de l'exploitant. Un bail emphytéotique de 25 ans est conclu entre le développeur et le propriétaire du terrain, avec un versement annuel de 1200 €/ha, soit plus de 3 fois le montant d'un fermage dans les zones considérées. En contrepartie, l'exploitant agricole bénéficie d'une suppression du montant de son fermage (montant réduit à un niveau allant de 0 à 50€/ha/an). De plus, une indemnité variant de 200 à 1000€/ha selon les sites (pas de règle encore établie) est versée la première année en contrepartie de l'occupation de la parcelle et des potentiels dommages (tassement par les engins, déchets éventuels, etc.).

Concernant le suivi des performances agronomiques, un partenariat est en cours avec des instituts techniques ou de recherche pour le suivi des performances agronomiques, mais il n'y a pas encore de résultats communicables.

La figure ci-dessous résume cette situation, qui concerne seulement les 2 parcs d'envergure commerciale situés en Allemagne :



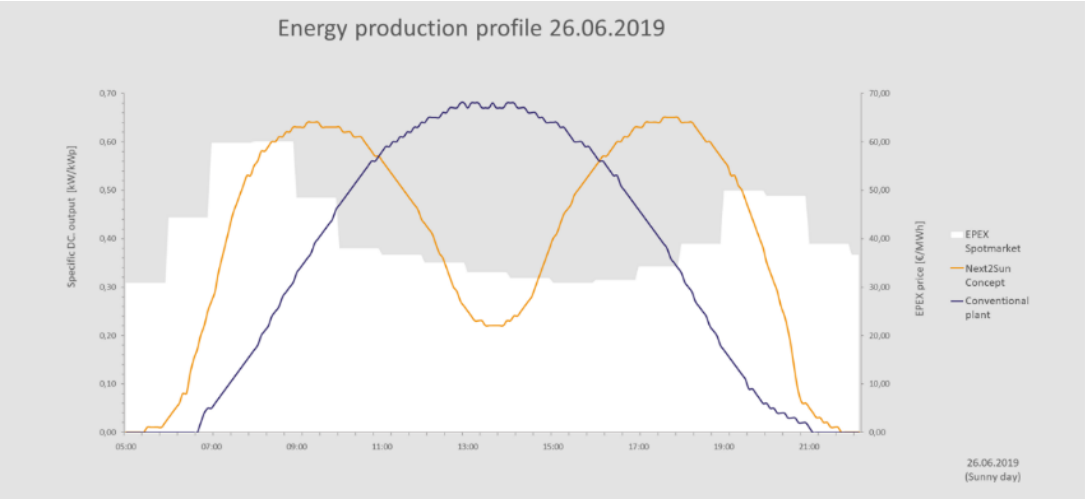
Les premiers éléments dont nous disposons pour les projets en cours d'étude pour la France montrent un montage assez similaire. Le développeur investirait dans le projet agrivoltaïque (part photovoltaïque entièrement et potentiellement en partie pour la part agricole). Selon la taille du projet et les capacités financières des investisseurs potentiels, il serait envisageable de faire participer à l'investissement le propriétaire, l'exploitant et où les citoyens.
Le schéma contractuel proposé consisterait : d'une part en un bail emphytéotique de 30 ans conclu entre le développeur et le propriétaire du terrain, avec un versement annuel entre 500 et 2000 €/ha/an (trois fois le montant du bail agricole dans les cas rencontrés) ; et d'autre part en un prêt à usage conclu entre le développeur et l'exploitant agricole, cadrant une compensation en cas de perte de subvention PAC ainsi que les modalités opératoires : accès, co-exploitation, assurances, transmission de l'exploitation, garantie du maintien de l'activité agricole ... En contrepartie l'exploitant agricole ne serait plus soumis au versement du fermage (0 à 50€ maximum). Les premiers parcs mis en service feraient l'objet d'un suivi systématique pour une durée minimum de 3 ans, en partenariat avec des instituts techniques.

Bien sûr, ces éléments prospectifs restent à confirmer quand ces projets émergeront. A noter aussi qu'il semblerait que certains projets où les agriculteurs porteraient à 100% l'investissement PV seraient à l'étude.

Impact du système agricole sur la production photovoltaïque

Il ne semble pas qu'il y ait un effet significatif de l'activité agricole sur le rendement des modules dans le cas des panneaux verticaux bifaciaux.

Concernant la **production électrique,** le montage vertical de panneaux bifaces, orientés est-ouest et donc alignés sur un axe nord-sud, permet d'obtenir une production d'électricité maximale le matin et le soir : aux moments où les besoins sont élevés et donc, où le prix de l'électricité sur le marché est le plus intéressant. Dans le cas d'une vente de l'électricité directement sur le marché (prix infra-journaliers fluctuants), cette courbe de production peut ainsi entraîner une hausse de 20 à 25 % du revenu par KWc installé (cf. figure ci-dessous) et permet d'être complémentaire à celle des installations photovoltaïques standards, comme les centrales au sol fixes orientés au sud (cf. schéma ci-dessous).



Profil de production pour un 26 juin, et comparaison avec une centrale au sol orientée sud (crédits image : Next2Sun, 2020).

Ce profil de production semble assez complémentaire avec de potentiels besoins en autoconsommation dans les élevages ayant des pics de consommtion d'énergie le matin et le soir, pour la distribution de l'aliment ou encore la traite en élevage laitier. 2 sites irlandais sont ainsi équipés pour de l'autoconsommation en élevage laitier et un site autrichien pour de l'élevage de volailles plein air (autoconsommation et cloture du parcours). Nous n'avons que très peu d'éléments à ce sujet mais c'est une potentielle synergie à explorer entre PV vertical et autoconsommationen élevage.

En revanche, l'investissement initial semble encore important car trois aspects techniques viennent renchérir le CAPEX:

1. Utilisation d'une infrastructure nouvelle pour le support des panneaux : pas d'économies d'échelle à ce stade de développement commercial et désagréments inhérents à une structure verticale. En effet, il est nécessaire d'utiliser 30% d'acier en plus par rapport à une centrale au sol classique → ~+ 20% d'investissement supplémentaire/kWc.
2. Utilisation de panneaux bifaciaux de très haute qualité (la verticalité impose d'avoir un fort rendement combiné sur les 2 faces). → ~+ 50% d'investissement supplémentaire/kWc : 90€/kWc vs 60€/ kWc pour une centrale classique.
3. Puissance installée à l'ha plus faible, de l'ordre de 350 kWc en moyenne.

Ces éléments mis bout à bout aboutissent à un CAPEX 20-30 % supérieur à une centrale au sol classique. Concernant le coût opérationnel (OPEX), il semble être, ramené au kWc, assez proche de celui d'une centrale classique.

Impacts du PV sur le système agricole et bonnes pratique identifiées

Etats initiaux et parcours de production

Sur les 6 installations existantes, 4 installations concernent la production de fourrages de graminées sur des prairies, une installation concerne les grandes cultures et la dernière concerne l'aviculture.

Etats initiaux de l'échantillon enquêté	• Prairie (sans ou avec pâturage) • Grandes cultures • Parcours volailles

Etat de référence possible	• Prairie, grandes cultures ou parcours de volailles sans modules photovoltaïques

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de la parcelle

Les entretiens ont permis de mettre en évidence différentes incidences du photovoltaïque vertical sur prairies fourragères, qui sont résumés dans le tableau suivant. Il doit être souligné que les incidences fournies par le tableau sont issues de la perception des agriculteurs interrogée, et ne s'appuient pas sur des données expérimentales solides, mais c'est le niveau de détail le plus fin que nous pouvons fournir compte tenu du manque de retours expérimentaux à ce stade. Il convient ainsi de noter que les projets ont moins de 2 ans et que les 2 dernières années ont été plus sèches que la moyenne, ce qui pourrait amener les répondants à surestimer l'impact positif des panneaux sur la croissance des prairies. Ces ressentis restent à confirmer sur une plus grande diversité d'années climatiques. D'autre part, les projets actuels n'incluent pas de parcelles témoins, d'un point de vue rigoureusement scientifique, bien qu'il existe parfois des zones non équipées de photovoltaïque au sein de la prairie (cf. figure 1 : 1,8 ha non couverts sur parcelle de 7ha). Notons que ces zones sont souvent surélevées, ce qui impliquerait, si elles étaient équipées, des contraintes d'ombrage porté sur les rangées de modules situées plus bas. Ainsi, il n'y a pas encore de retour scientifiquement robuste pour caractériser l'impact sur la production. Les éléments fournis ci-dessous correspondent plus aux ressentis évoqués par les agriculteurs interrogés.

De manière générale, les agriculteurs interrogés n'ont pas constaté d'impact sur les rendements des prairies à ce stade. Les principaux ressentis sont les suivants :

- Meilleure résistance de la prairie pendant les périodes chaudes et sèches
- Plus grande inertie thermique au printemps avec un décalage de quelques jours du démarrage de la végétation.
- Un effet brise vent qui semble intéressant (cas de régions avec des vents dominants océaniques de type ouest-est).

Concernant la lumière, il semblerait que l'orientation est-ouest des panneaux permette une assez bonne homogénéité de l'ensoleillement. Selon des simulations réalisées pour les 2 principaux sites en Allemagne, la réduction maximale de l'ensoleillement sur la parcelle est de 30% sur la zone de la parcelle la plus sujette à l'ombrage des panneaux.

Les agriculteurs rapportent aussi une nécessaire adaptation des conditions de travail, avec un besoin de ralentir les débits de chantier pour ne pas endommager les panneaux, et d'orienter les chantiers parallèlement aux rangées de panneaux indépendamment des contraintes topographiques. De même, une attention importante doit être apportés lors de la fabrication de balles de fourrages pour éviter qu'elles ne roulent vers les structures PV. Ensuite, même si la structure n'occupe que 1% de la surface de la prairie, un espace de 20cm de part et d'autre des rangées doit être laissé libre lors des chantiers agricoles, ce qui implique de passer la débrousailleuse manuellement une fois par an au bord et sous les panneaux.
La compatibilité de la structure avec de l'élevage bovin doit encore être confirmée compte tenu du risque important de dégradation ou de salissures. Il serait a priori possible d'équiper les panneaux avec un système d'électrification pour maintenir les animaux à distance.

Le risque de casse des panneaux pendant les opérations de travail du sols et culturales a aussi été évoqué mais non constaté pour l'instant (pierres projetées par les outils agricoles ou erreur de manœuvre du tracteur). Une définition claire du partage des responsabilités dans le contrat initial est primordiale. Dans les 2 projets enquêtés, le développeur couvre le remplacement des panneaux en cas de dommage, à partir du moment où le dommage est involontaire. Il doit être souligné que, compte tenu du manque de recul, le développeur doit faire preuve d'une flexibilité

importante sur les dommages pouvant être causés. En cas de développement commercial important de cette technologie, il est probable que le partage des responsabilités devra être beaucoup plus cadré d'un point de vue juridique, avec une baisse du seuil de tolérance par les développeurs.

Incidences sur le système	Incidence positive	Effet neutre	Incidence négative	Bonnes pratiques permettant de limiter l'incidence négative
Conditions micro-climatiques	Limitation de l'évapotranspiration en été (ombre et brise-vent).		Réchauffement plus lent de la parcelle en sortie d'hiver et après des nuits fraiches en automne, pouvant ralentir la reprise ou la durée de végétation. Séchage potentiellement plus lent des fourrages à proximité des panneaux.	
Résultats agronomiques (*issus des remarques qualitatives des exploitants*)	Meilleure croissance estivale, avec un arrêt de la croissance végétative (fermeture des stomates) retardé. Diminution de la verse et de l'échaudage de printemps (moins de vent)		Décalage de la première coupe, et impact potentiel sur la dernière coupe d'automne Séchage plus lent des fourrages Impossibilité d'épandre des effluents organiques par aspersion. L'analyse bibliographique mené en état de l'art a montré que l'ombre peut diminuer la diversité des espèces fourragères des prairies, et favoriser les graminées au détriment des légumineuses fourragères (à confirmer/infirmer).	
Itinéraires techniques	Délimitation physique des parcours plein air pour les animaux.		Ralentissement des chantiers agricoles. Morcellement extrême des zones de parcours pour les ruminants. Difficulté de déplacement des animaux, engins agricoles et hommes perpendiculairement aux lignes PV. Disposition nord-sud des rangées de panneaux pas forcément adaptée au sens de travail naturel de la parcelle. Temps de débrousailleuse additionnel pour entretenir la parcelle à l'aplomb du panneau Incompatibilité avec le pâturage si les câbles sont trop visibles (ruminants se font les dents sur les câbles) : retour d'expérience sur un projet.	Utilisation d'un pendillard ou d'un enfouisseur de lisier. Développement d'une faucheuse adaptée (cf. techniques utilisées en agroforesterie). Enfouissement des câbles à profondeur suffisante : structure a priori adaptable pour le pâturage tout en maintenant les câbles à l'abri.

Incidences du PV sur la production agricole : à l'échelle de l'exploitation agricole

Les impacts économiques à l'échelle des exploitations agricoles demeurent à priori très limités, et il n'y a pas, à ce stade, assez de retours d'expérience pour en tirer des conclusions. Le schéma ci-dessous résume néanmoins les impacts qui ont pu être identifiés :

Production initiale	Fourrages (récoltés ou pâturés)
Production finale	Fourrages (récoltés ou pâturés)
Adaptations agronomiques	Changement de direction de travail en raison de l'orientation des lignes de panneaux Arrêt de l'épandage d'effluents organique (risque agronomique), pouvant être partiellement compensé par du pâturage
Effet sur les débouchés agricoles	Production d'été potentiellement supérieure (en raison de l'ombrage et de l'effet brise-vent) Production de fourrage potentiellement plus tardive (réchauffement de la parcelle plus lent, notamment au printemps) Ralentissement du séchage (à confirmer/infirmer en année humide)
Aides PAC	Perte des aides PAC pour la partie ne pouvant pas être exploitée le long des panneaux: entre 1 et 20% de la surface à priori, avec un incertitude juridique pour les années à venir.
Emplois agricoles	Diminution de la vitesse de travail (par 3 la première année puis par 1,5-2 avec l'habitude) pour les opérations de fauche et de récolte des fourrages. Hausse potentielle du temps de travail pour pouvoir travailler parallèlement aux rangées. Opération de débrousailleuse supplémentaire pour nettoyer l'espace sous et à proximité des rangées de panneaux (+1h/ha/an) Attention particulière pour les zones en pente avec le round-baller, avec besoin d'une autre personne en tracteur pour éviter qu'une balle de fourrage de roule vers une rangée de panneaux.

Surfaces agricoles potentiellement concernées par ce système	
Les informations fournies dans ce tableau ne sont qu'indicatives. Ces données ne fournissent pas une vision prospective, ni ne désignent le vrai gisement de surface disponible pour l'implantation de systèmes photovoltaïques. Pour cela, d'autres informations devraient être croisées, et notamment la compatibilité des installations PV avec les productions concernées.	
Gisement de surface adressable en France	Potentiellement toutes les terres arables (18 millions d'ha de terres arables en France dont 5 millions ha de prairies temporaires/artificielles) et prairies permanentes (7,7 millions d'ha) ayant une topographie acceptant ce type de projet vertical (gestion des ombres portées liées à la pente et à l'orientation des parcelles). A noter l'impossibilité d'implanter des cultures à fort développement vertical (maïs, chanvre, miscanthus, etc.) et donc une incompatibilité de fait avec certaines rotations.
Bilan sur le potentiel de développement	Potentiel de développement dans toutes les régions.
Occupation du système déjà installé	0 ha installés en France (mais environ 20 ha dans d'autres Etats Membres).
Nombre de projets correspondant au système	0 en France. 6 dans d'autres Etats Membres Des projets à l'étude en France par plusieurs développeurs mais pas de retours chiffrés à ce stade.
Surfaces concernées (régions)	Aucune en France pour l'instant. Autres pays : Allemagne, Autriche, Irlande.

Bilan du couplage - PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES VERTICAUX BIFACIAUX

Les éléments dégagés précédemment permettent de tirer ce bilan du couple installation photovoltaïque – production agricole :

ATOUTS

- Faible emprise (<1% en projection verticale) avec plus de 90% de la surface au sol restant.
- Peu de câbles interférant avec les activités agricoles (machines et/ou pâturage).
- Effet brise vent (très dépendant l'orientation des vents dominants)
- Potentiel d'acceptabilité pouvant être supérieur compte tenu de la faible emprise au sol, et de la limitation de la limitation de la réverbération du fait de la verticalité des modules.
- Relative homogénéité de la répartition de la lumière sur la parcelle, sans alternance.
- Profil de production électrique journalier en adéquation avec les besoins en consommation (pics matin et soir), notamment pour de l'autoconsommation en élevage laitier.

OPPORTUNITES ET PRATIQUES

- Possible amélioration des rendements prairiaux
- Utilisation possible comme clôture, tant pour les ruminants que pour les volailles, avec ajout de grillage en partie basse.

FAIBLESSES

- Manque de retours agronomiques
- Orientation Nord-Sud des rangées pas forcément adaptée au sens de travail le plus optimal d'un point de vue temps de travail et gestion agronomique (gestion de l'érosion, etc.).
- Difficultés pour épandre des effluents organiques.
- Impossibilité de cultiver des cultures de hauteur supérieure à 90cm, comme le maïs.
- CAPEX 20-30% supérieur à une centrale classique, par MWc installé.

MENACES ET PRATIQUES A LIMITER

- Calibration indispensable des espaces nécessaires pour les travaux agricoles (espacements adaptés, présence d'une zone suffisante pour faire demi-tour avec des engins agricoles en bout de champ …).
- Dégradation des panneaux et des câbles par les animaux, notamment les bovins.
- Risque de remplacement de la fumure organique par de la fumure minérale sur les élevages.
- Impact paysager spécifique du fait de la longueur des rangées de panneaux et risque de mitage du territoire si de nombreux agriculteurs installent ce système.

Sources
Entretien avec les services techniques de Next2Sun
2 retours d'expériences collectés lors d'entretiens avec des agriculteurs allemands
Etat de l'art bibliographique de la phase 1
https://www.next2sun.de/en/homepage/

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.
Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.
Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols… - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.
À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE
L'**ADEME**

FAITS ET CHIFFRES
L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.

CLÉS POUR AGIR
L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.

ILS L'ONT FAIT
L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.

EXPERTISES
L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard

HORIZONS
L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

EXPERTISES

CARACTERISER LES PROJETS PHOTOVOLTAÏQUES SUR TERRAINS AGRICOLES ET L'AGRIVOLTAÏSME

Cette étude vise à caractériser les projets photovoltaïques sur terrain agricole et à définir précisément la notion d'agrivoltaïsme.

Elle s'est basée sur un état de l'art bibliographique, des entretiens avec des agriculteurs et développeurs et l'expertise d'un comité d'experts, constitué spécifiquement pour suivre ces travaux.

Ce rapport est l'un des quatre documents produits dans le cadre de l'étude, avec un état de l'art bibliographique, un guide de caractérisation des projets photovoltaïques sur terrains agricoles et un résumé exécutif. Il constitue la seconde étape de ces travaux.

Recueil de retours d'expériences et fiches détaillées

Ce document présente les grands enseignements de l'enquête, menée auprès d'exploitants agricoles disposant d'installations photovoltaïques sur leurs parcelles.

Il regroupe également en annexe dix fiches techniques récapitulatives par typologie de système photovoltaïque sur terrains agricoles.

Ces fiches compilent l'exhaustivité des informations collectées pendant l'enquête mais également pendant l'état de l'art bibliographique (qui fait l'objet de la 1ère étape de l'étude).