



HAL
open science

Pour combiner production électrique et alimentaire sur un terrain unique : l'agrivoltaïsme. Bilan des recherches internationales et examen des possibilités sur le territoire français

Marie-Bérénice Jeanneton

► **To cite this version:**

Marie-Bérénice Jeanneton. Pour combiner production électrique et alimentaire sur un terrain unique : l'agrivoltaïsme. Bilan des recherches internationales et examen des possibilités sur le territoire français. Sciences de l'Homme et Société. 2020. dumas-03330107

HAL Id: dumas-03330107

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03330107>

Submitted on 31 Aug 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Copyright

MÉMOIRE DE MASTER

UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR
Département de Géographie - Aménagement
Laboratoire PASSAGES -UMR 5319 – CNRS/UPPA

Marie-Bérénice JEANNETON

Sous la direction de Yves POINSOT

POUR COMBINER PRODUCTION ÉLECTRIQUE ET ALIMENTAIRE SUR
UN TERRAIN UNIQUE : L'AGRIVOLTAÏSME. BILAN DES RECHERCHES
INTERNATIONALES ET EXAMEN DES POSSIBILITÉS DE
DÉPLOIEMENT SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS



Année universitaire 2019 - 2020

Mémoire de master 1

Mention Géographie – Aménagement – Environnement – Développement (GAED)

Parcours « Développement durable, Aménagement, Société, Territoire » (DAST)

MÉMOIRE DE MASTER 1

UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR
Département de Géographie - Aménagement
Laboratoire Passages – UMR 5319 – CNRS/UPPA

Marie-Bérénice JEANNETON

Sous la direction de Yves POINSOT

POUR COMBINER PRODUCTION ÉLECTRIQUE ET
ALIMENTAIRE SUR UN TERRAIN UNIQUE :
L'AGRIVOLTAÏSME. BILAN DES RECHERCHES
INTERNATIONALES ET EXAMEN DES POSSIBILITÉS DE
DÉPLOIEMENT SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS

Année universitaire 2019-2020

Mémoire de master 1

Mention Géographie – Aménagement – Environnement – Développement (GAED)

Parcours « Développement durable, Aménagement, Société, Territoire » (DAST)

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

- ADEME : Agence de la transition écologique (anciennement Agence de L'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie)
- AIE : Agence Internationale de l'Énergie
- CE : Commission Européenne
- COP : Conférence des parties
- DNTE : Débat National sur la Transition Énergique
- DREAL : Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
- GES : Gaz à Effet de Serre
- GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
- INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement
- ISE : Solare Energiesysteme (institut du Fraunhofer-Gesellschaft)
- kWc : kilowatt-crête
- ONERC : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
- PLU : Plan Local d'Urbanisme
- RTE : Réseau de Transport d'Électricité
- UE : Union Européenne

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	5
REMERCIEMENTS.....	6
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	7
SOMMAIRE.....	8
INTRODUCTION :.....	9
PARTIE 1 : L'AGRIVOLTAÏSME DANS LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE.....	16
PARTIE 2 : LES POLITIQUES ET RÉGLEMENTATIONS EUROPÉENNES ET FRANÇAISES SUR L'AGRIVOLTAÏSME, FACE À UNE ACTIVITÉ QUI PEUT SOULEVER DES OPPOSITIONS DE TYPE NIMBY.....	43
PARTIE 3 : UNE CLASSIFICATIONS DES DIFFÉRENTES TYPES D'INSTALLATIONS D'AGRIVOLTAÏSME EN FRANCE ET LEURS MISE EN ŒUVRE PAR LES ÉNERGÉTICIENS ET LES COLLECTIVITÉS TERRITORIALES.....	79
CONCLUSION : QUEL AVENIR POUR L'AGRIVOLTAÏSME ?.....	102
BIBLIOGRAPHIE.....	105
SITOGRAPHIE.....	117
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	120
TABLE DES TABLEAUX :.....	123
TABLE DES ANNEXES.....	124
ANNEXES.....	125
TABLE DES MATIERES.....	135
DÉCLARATION ANTI-PLAGIAT.....	137
ABSTRACT	138
KEYWORDS	138
RÉSUMÉ.....	139
MOTS-CLÉS	139

INTRODUCTION :

Selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE), près de 80 % de la consommation d'énergie finale mondiale est fournie par les énergies fossiles (2012/DNTE)¹. Depuis les années 60, la demande énergétique ne fait qu'augmenter en raison de la croissance économique et de l'augmentation de la démographie. Avec l'arrivée de pays émergents comme la Chine, l'AIE s'attend à une croissance de 45 % de la consommation d'énergie pour la période 2009-2030¹. Or, les énergies fossiles sont aujourd'hui limitées : par exemple, alors que le secteur des transports dépend à près de 90 % des produits pétroliers¹, le pic de production du pétrole est attendu pour 2025². De même, un nombre important de pays est dépendant en énergie puisque plus de 60 % des réserves mondiales en énergie fossile se situent dans le golfe Arabo-Persique. L'accès à la ressource fossile est dépendant des relations internationales. Les chocs pétroliers des années 70, entraîné par la guerre du Kippour (1973) et la révolution iranienne (1979), ont mis en valeur les difficultés liées à la dépendance énergétique.

Concernant l'électricité, d'après le Réseau de Transport d'Électricité, en 2016, la production d'électricité en France était réalisée à plus de 72 % par l'énergie nucléaire et à 8,6 % par le thermique à combustible fossile³. L'énergie nucléaire n'est pas durable en raison de la limite des stocks d'uranium, du risque des centrales pour la sécurité humaine et du problème de stockage des déchets nucléaires.

Parallèlement à la crise énergétique, la planète connaît ses dernières années d'importants changements globaux du climat. Bien que la variabilité climatique tienne un rôle dans ce phénomène, en cette ère de l'anthropocène, c'est surtout les activités humaines émettrices de gaz à effet de serre qui ont accéléré la vitesse des changements globaux du climat. Le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat

1 PELLECUER Bernard, Énergies renouvelables et agriculture, Paris, Editions France agricole, 2015, 2ème édition, 260 pages

2 AUZANNEAU Mathieu, « Pic pétrolier probable d'ici 2025, selon l'Agence internationale de l'énergie », Le Monde.fr, 4 février 2019, <https://www.lemonde.fr/blog/petrole/2019/02/04/pic-petrolier-probable-dici-a-2025-selon-lagence-internationale-de-lenergie/>

3 <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/production-deelectricite>

estime qu'actuellement les émissions mondiales de CO₂ équivalent à 35 Gt par an⁴. Les conséquences du réchauffement climatique sont nombreuses avec l'élévation du niveau de la mer, la multiplication des périodes de canicules et de sécheresses, la multiplication des phénomènes naturels gravissime comme les ouragans, la dégradation des terres,

Aujourd'hui, l'agriculture subit déjà les conséquences du changement climatique : floraison précoce des arbres fruitiers, raccourcissement des cycles de cultures, arrivée de nouveaux ravageurs, multiplication des sécheresses, périodes de canicule entraînant des brûlures sur les plantes et une baisse de fertilité des animaux d'élevage,... En France, l'Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatiques (ONERC) est chargé de mesurer les impacts sur l'agriculture⁵. Il a ainsi pu constater que les vendanges ont lieu en moyenne 18 jours plus tôt qu'il y a 40 ans. Le secteur agricole doit aujourd'hui trouver des solutions pour s'adapter au réchauffement climatique afin d'alimenter une population mondiale croissante et de plus en plus urbaine.

Depuis les années 80, une prise de conscience est en cours face aux problèmes environnementaux et de nombreuses lois et politiques ambitieuses ont pu être élaborées, à la suite d'accords et de conventions internationaux. En 2014, le 5ème rapport du GIEC sur les changements climatique a recensé les secteurs économiques les plus émetteurs de gaz à effet de serre. À l'occasion de la 21ème Conférence des Parties de la Convention-cadre des Nations unies sur le Changement Climatique, 195 délégations se sont engagées dans l'accord de Paris du 12 décembre 2015 à contenir le réchauffement climatique d'ici 2050 en limitant l'élévation des températures à 2°C, voire à 1,5°C, par rapport à l'ère pré-industrielle⁶. Selon le rapport du GIEC de 2018, afin d'atteindre cet objectif ambitieux, il est nécessaire de ne pas dépasser le seuil de 3500-4500 gigatonnes d'émissions de gaz à effet de serre d'ici 2100, ce qui implique une réduction des émissions de CO₂ de 25 % à 45 % pour l'horizon 2030^{2,7}.

4 Ministère de la transition écologique et solidaire – Commissariat général au développement durable, « L'environnement en France : rapport de synthèse », Édition 2019, La documentation Française, 2019, 220 pages

5 <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/impacts-du-changement-climatique-agriculture-et-foret>

6 <https://www.apc-paris.com/cop-21>

Face à la raréfaction des énergies fossiles et à l'émission de gaz à effet de serre engendré par l'usage de ces dernières, il est devenu urgent de réfléchir à des politiques de sobriété énergétique et d'efficacité énergétique, à l'amélioration de l'efficacité énergétique (VOURDOUBAS J. et DUBOIS O., 2016), à la création de nouvelles technologies et au développement des énergies renouvelables dans le mix énergétique. **Une transition énergétique inscrite dans un contexte plus large de transition écologique doit pouvoir répondre aux enjeux climatiques du 21^{ème} siècle.**

La loi française relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 fournit des objectifs chiffrés et des moyens d'action pour mettre en application les accords de Paris. Le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (devenu en 2017 le ministère de la transition écologique et solidaire) définit ainsi la transition énergétique comme une solution qui « vise à préparer l'après-pétrole et à instaurer un nouveau modèle énergétique français, plus robuste et plus durable face aux enjeux d'approvisionnement en énergie, à l'évolution des prix, à l'épuisement des ressources et aux impératifs de la protection de l'environnement ».

La France, grande puissance agricole, mise notamment sur le développement des énergies renouvelables dans le secteur agricole au sein de son deuxième pilier de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte :

« Notre pays bénéficie, dans l'Hexagone et dans les outre-mer, d'atouts considérables pour devenir un grand producteur d'énergies propres, à l'échelle européenne et mondiale. La France dispose du premier potentiel agricole européen et du troisième potentiel forestier. [...] » *exposé des motifs de la LOI n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte.*

Face au besoin de produire une énergie renouvelable sans entrer en compétition avec un foncier agricole déjà menacé par l'urbanisation, un nouveau dispositif photovoltaïque est promis à un grand succès : l'agrivoltaïsme.

7 Le Monde, « Ce qui faut retenir du rapport du GIEC sur la hausse globale des températures », 8 octobre 2018, https://www.lemonde.fr/climat/article/2018/10/08/ce-qu-il-faut-retenir-du-rapport-du-giec-sur-la-hausse-globale-des-temperatures_5366333_1652612.html

- L'agrivoltaïsme, un dispositif permettant d'assurer une production d'énergie renouvelable conjointement à l'activité agricole :

En 1981, GOETZBERGER A. et ZASTROW A. sont les premiers à réfléchir à une configuration qui combine la production agricole et la production photovoltaïque. Ce système est conçu afin de réduire la compétition foncière entre la production d'électricité verte et la production agricole⁸. Il intègre une grande réflexion agronomique afin que l'installation photovoltaïque n'entraîne pas une diminution trop importante du rendement agricole. En 2011, après avoir poursuivi les travaux de recherches allemandes, DUPRAZ et al. ont choisi d'appeler ce système l'agrivoltaïsme⁹.

- Le développement de l'agrivoltaïsme peut-il réellement répondre à la problématique de concurrence foncière entre la production agricole et la production d'énergie renouvelable sous forme d'électricité verte ?

Selon la définition de l'ADEME, « On parle d'agrivoltaïsme lorsque le projet permet de coupler une production photovoltaïque secondaire à une production agricole principale en permettant une synergie de fonctionnement démontrable : les panneaux sur serre peuvent par exemple être munis d'un système de pilotage qui module la production photovoltaïque en fonction des besoins en ensoleillement des cultures ». **Dès l'instant que l'installation de panneaux solaires prend en compte les conditions agronomiques ou zootechniques afin de ne pas entraîner des conséquences sur l'activité agricole principale, parler d'agrivoltaïsme devient légitime.** Ce dispositif peut prendre différentes formes : ombrière photovoltaïque, serres photovoltaïques où les panneaux sont installés avec une réflexion avant tout agronomique, panneaux photovoltaïques sur pilotis,...

8 GOETZBERGER Adolf, ZASTROW Armin, « On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation », International Journal of Solar Energy, 1, 1982, pages 55-69

9 DUPRAZ Christian, MARROU Hélène, TALBOT Grégoire, DUFOUR Lydie, NOGIER Antoine, FERARD Yoann, « Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use : Towards new agrivoltaic schemes », Renewable Energy, 36, 2011, pages 2725-2732

Nous orientons ici notre travail de recherches en posant pour problématique :

En respect des politiques et réglementations européennes et françaises, quelles formes peut prendre l'agrivoltaïsme en France, afin d'assurer une symbiose entre la production d'électricité et la production agricole, tout en limitant les potentiels conflits liés à l'usage du sol ?

À première vue, combiner photovoltaïque et activité agricole sur une même parcelle entraîne une perte de rendement agricole en raison d'une concurrence pour la lumière. En effet, le rayonnement solaire est nécessaire à la réalisation de la photosynthèse pour les plantes. Si les panneaux photovoltaïques sont installés au-dessus des cultures alors les performances agronomiques en souffriront entraînant des conséquences économiques pour les agriculteurs. C'est à partir de ce constat que des critiques peuvent apparaître sur les projets d'agrivoltaïsme et sur les centrales au sol avec élevage. Ainsi, les projets d'agrivoltaïsme sont encore mal perçus par les agriculteurs et restent peu nombreux.

Cependant, les changements climatiques en cours entraînent une multiplication des problématiques agronomiques. L'excès d'ensoleillement et la multiplication des phénomènes de fortes chaleurs menacent les rendements de plusieurs types de production agricole, comme la vigne ou l'arboriculture. Face à cela, l'agrivoltaïsme propose une carte à jouer pour l'avenir. L'installation de panneaux photovoltaïque en hauteur permettrait d'offrir de l'ombre pour atténuer les conséquences d'un trop fort ensoleillement sans utiliser directement des terres agricoles. Pour avoir un intérêt agronomique majeur, les panneaux doivent pouvoir être incliné le plus verticalement que possible lors des phases végétatives qui réclament le plus de luminosité. Avec ce principe, les activités énergétiques et agricoles ne se pénalisent pas entre-elles et peuvent même favoriser les cultures. On retrouve des questions similaires dans le cas des serres méridionales. Ces dernières sont utilisées pour limiter l'impact du gel lors des saisons hivernales et printanières. Cependant, elles peuvent connaître des températures excédentaires en été, phénomène qui pourrait se multiplier à l'avenir en raison du réchauffement climatique. La pose de panneaux photovoltaïques sur les toitures des

serres peut permet de réduire l'insolation estivale sans compromettre la fonction thermique de protection des cultures lors des basses températures. La pertinence de l'agrivoltaïsme ne peut pas être évaluée d'une manière globale mais doit être discutée en fonction de la position des panneaux photovoltaïque, de la nature des productions agricoles, de la localisation géographique...

Au vu des possibilités existantes pour développer l'agrivoltaïsme, nous formulerons trois hypothèses :

- L'agrivoltaïsme, objet d'étude récent, peut s'avérer être une solution d'avenir afin de protéger les cultures les plus tolérantes à l'ombre, des changements globaux du climat.

- Conçu pour ne pas rendre concurrente l'activité photovoltaïque avec l'activité agricole, l'agrivoltaïsme constitue une voie pour réduire les conflits d'usages relatifs au foncier.

- De même, la façon dont se combinent les deux fonctions, agricole et énergétique, n'obéit pas à un modèle unique dominant, mais dépend de plusieurs facteurs interdépendants parmi lesquels le type de production agricole, la localisation du projet et le type/nombre d'acteurs jouent des rôles essentiels.

La méthodologie optée pour l'étude s'est divisée en plusieurs phases de recherche de données. Dans un premier temps, une veille d'actualité sur la presse agricole a permis d'accéder au point de vue des professionnels du monde agricole sur les questions de l'agrivoltaïsme et des centrales au sol tout en commençant à observer des exemples de dispositifs existants à l'échelle de la France. Pour cette phase, la revue France agricole a été principalement étudiée puisqu'il s'agit de la première revue agricole de France et qu'elle traite l'ensemble des questions agricole : élevages, grandes cultures, productions maraîchères, Cette revue permet donc d'étudier un plus large panorama des possibilités existant pour le développement de l'agrivoltaïsme. La revue de presse agricole a permis de faire des renvois vers des travaux scientifiques qui ont constitué ainsi la deuxième phase de l'étude, celle de la recherche bibliographique. Elle a consisté à la recherche d'articles et de travaux scientifiques internationaux réalisés sur les questions de l'agrivoltaïsme et d'une façon plus générale sur le photovoltaïsme dans le secteur agricole. En parallèle de la recherche de travaux et d'articles scientifiques, une

recherche de documents institutionnels à l'échelle de la France et de l'Union Européenne a été conduite afin de connaître les politiques et réglementations relatives à l'agrivoltaïsme mais aussi accéder à des données chiffrées sur la part déjà existante d'agrivoltaïsme. Pour terminer, et toujours en parallèle de la recherche bibliographique, un recensement non exhaustif des installations d'agrivoltaïsme en France a été réalisé à partir de la presse et des recensements qui ont déjà pu être faits précédemment. Ce travail permet de mesurer l'ampleur du phénomène et ses localisations préférentielles, ouvrant la voie à des études ultérieures plus approfondies sur sa diffusion spatiale.

Afin d'exposer les résultats, le mémoire ici présent, se divisera en trois parties. Dans un premier temps nous analyserons comment et par qui l'agrivoltaïsme est étudié dans la recherche scientifique internationale. Ensuite, nous nous intéresserons aux politiques et à la réglementation qui concerne directement ou indirectement la question de l'agrivoltaïsme à l'échelle européenne et française. Pour finir, nous observerons comment l'agrivoltaïsme peut se développer en France, que ce soit en matière de dispositifs et de logique des acteurs, énergéticiens et collectivités territoriales.

PARTIE 1 : L'AGRIVOLTAÏSME DANS LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE :

Bien que l'agrivoltaïsme fût inventé dans les années 80, ce système qui combine photovoltaïque et activité agricole a pris de l'ampleur depuis une dizaine d'années au sein de la recherche scientifique. Dans cette partie, nous allons analyser les travaux internationaux en cours portant sur les questions relatives à l'agrivoltaïsme. Une base bibliographique a été constituée en utilisant des mots-clés, français et anglais, sur les thématiques pouvant se trouver concernées par cette nouvelle catégorie d'énergie agricole : énergie renouvelable et agriculture / renewable energy and agriculture, agrivoltaïsme / agrivoltaic, photovoltaïque et agriculture / photovoltaic and agriculture, énergie solaire / solar energy,... Au total, 59 articles ont été recensés auxquelles on peut ajouter quatre thèses ainsi que trois conférences et congrès. À partir des résumés, dix articles ont été considérés comme généraux puisqu'ils n'étudient pas directement la question de l'agrivoltaïsme mais traitent des thématiques semblables à d'autres énergies renouvelables en milieu agricole. Pour compléter notre travail, il paraît intéressant de souligner qu'AROCA-DELGADO et al. ont réalisé une recherche bibliographique plus approfondie sur la thématique des systèmes d'ombrages relative à la compatibilité entre les cultures et les panneaux photovoltaïques (ARAUCA-DELGADO et al, 2018).

Dans cette première partie, nous étudierons la recherche scientifique internationale, en trois temps. Nous commencerons par étudier les travaux pionniers, hors serre photovoltaïque – objet de la recherche depuis le début des années 2000, ayant permis les premières réflexions sur l'agrivoltaïsme. Dans une seconde période, nous réaliserons une synthèse de la base bibliographique pour observer comment s'articule les travaux rédigés sur ce sujet d'étude. Nous terminerons cette analyse de la recherche scientifique par un zoom sur une question d'agrivoltaïsme étudié par les chercheurs internationaux : l'aquavoltaïsme.

1. À l'origine de la recherche scientifique sur l'agrivoltaïsme : étude des tout premiers travaux sur ce nouveau axe de recherche :

1.1. Du photovoltaïque à l'agrivoltaïsme, l'émergence d'une filière répondant aux critiques sur la concurrence foncière qu'exercent les énergies renouvelables sur la sphère agricole :

Le secteur agricole possède d'importantes capacités pour devenir un acteur principal dans la transition énergétique. Bien qu'elle soit une des principales activités consommatrices d'énergie fossile, l'agriculture admet un grand potentiel pour le développement des énergies renouvelables : production de biomasse utilisée pour le chauffage (bois-énergie, paille et grain énergie, ...) et les agrocarburants (agrocarburants de 1^{ère} génération : bioéthanol, biodiesel // agrocarburants de 2^{ème} génération : matières cellulosiques et déchets organiques, agrocarburants de 3^{ème} génération : micro-organismes du type micro-algues), grandes toitures sur les bâtiments d'élevage et de stockage permettant l'installation de panneaux photovoltaïque, présences de grandes surfaces foncières pour l'installation d'éoliennes et de centrales photovoltaïque au sol, production de matières organiques et de déchets organiques pour la méthanisation et le biogaz.... Le développement des énergies renouvelables peut s'avérer une chance pour l'activité agricole puisqu'il permet l'obtention d'un complément de revenu pour l'agriculteur lors de la vente au réseau ou de la location de toitures et de terrains, la réalisation d'économies dans le cas où l'énergie serait consommée sur l'exploitation, la création d'emplois direct et indirect, l'inscription dans une économie circulaire apportant des bénéfices pour le territoire ou encore l'amélioration de l'image de l'activité agricole grâce à la réduction de gaz à effet de serre. Le développement des énergies renouvelables s'inscrit dans une réflexion plus large sur l'agriculture durable, définie en 1999 par CORWIN et al.¹⁰ comme un équilibre entre la productivité agricole et le maintien d'une stabilité économique, tout en minimisant l'utilisation de ressources naturelles limitées et les impacts environnementaux néfastes (CHEL A., KAUSHIK G., 2011).

10 Corwin D.L., Loague K., Ellsworth T.R. (1999) Assessing non-point source pollution in the vadose zone with advanced information technologies, in: Corwin D.L., Loague K., Ellsworth T.R. (Eds.), Assessment of non-point source pollution in the vadose zone. Geophysical Monogr, 108, AGU, Washington, DC, USA, pp. 1-20.

L'énergie solaire est la plus disponible à l'échelle de la planète, même s'il existe des variations géographiques en matière d'ensoleillement. Le soleil permet de produire une électricité souvent moins chère que les autres énergies renouvelables comme l'éolien¹¹. En agriculture, l'énergie solaire est utilisée pour deux applications : le solaire thermique et le solaire photovoltaïque. Nous allons ici seulement nous intéresser au solaire photovoltaïque. L'effet photovoltaïque a été découvert par Antoine Becquerel en 1839. Le photovoltaïsme fonctionne grâce à des modules composés de cellules photovoltaïques, elles-mêmes constituées de matériaux semi-conducteurs comme le silicium. Les cellules vont transformer l'énergie solaire en électricité. Le courant continu est converti en courant alternatif grâce à des onduleurs. (NONHEBEL S., 2005)

Sur les exploitations agricoles, le solaire photovoltaïque peut prendre des formes diverses dont le plus connu est l'installation de panneaux photovoltaïques sur les toits des hangars et des bâtiments d'élevage. On retrouve aussi des systèmes photovoltaïques autonomes qui alimentent des rampes d'irrigation ou des clôtures dans des espaces écartés du réseau électrique (CHEL A., KAUSHIK G., 2011).

En France, l'énergie solaire connaît aujourd'hui une nouvelle phase de développement en milieu agricole. Entre le milieu des années 2000 et 2011/2012, le nombre d'installations au sein des exploitations agricoles françaises a connu un premier essor en raison de tarifs d'achats de l'électricité incitatifs¹². Mais, suite au moratoire de 2010¹³ et en raison d'un nombre important d'accidents intervenus par de mauvaises constructions, le photovoltaïque a connu de nombreuses difficultés et a souffert d'une mauvaise image auprès des agriculteurs. La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte du 17 août 2015 a permis de relancer le développement de ce type d'énergie au sein du secteur agricole.

11 PELLECUER Bernard, Énergies renouvelables et agriculture, Paris, Editions France agricole, 2015, 2ème édition, 260 pages

12 La France agricole, G. Baron, 2 janvier 2020, « Énergie photovoltaïque : Le retour des beaux jours », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/energie-photovoltaïque-le-retour-des-beaux-jours-1,11,1589401435.html>

13 <https://www.photovoltaïque.info/fr/tarifs-dachat-et-autoconsommation/tarifs-dachat/anciens-arretes-tarifaires/decret-du-9-decembre-2010/>

La production d'énergie renouvelable dans le secteur agricole doit être réfléchie afin d'éviter toute concurrence avec la production agricole. En effet, l'agriculture possède pour enjeu principal celui de nourrir la population mondiale croissante. Les énergies renouvelables ne doivent pas remplacer cette fonction alimentaire. Or, il existe deux points de concurrence possibles entre les énergies renouvelables et la fonction alimentaire : la concurrence pour la production de denrées alimentaires et la compétition pour le foncier. (NONHEBEL S., 2005)

La concurrence entre les énergies renouvelables et la production agricole fait souvent l'objet de débats et d'oppositions, notamment en Amérique du Sud et centrale. Il s'agit d'utiliser les superficies agricoles pour produire des ressources alimentaires destinées à la production de biomasse, notamment pour les agrocarburants de 1^{ère} génération. Les biocarburants nécessitent une grande part de la production alimentaire : pour faire rouler 40 millions de voitures, il faut utiliser près de 40 millions d'hectares de céréales (voie de l'éthanol) ou de cultures oléagineuses (voie de la transestérification) (DUPRAZ C. et al., 2011). Le marché des agrocarburants dans les pays développés peut entraîner des pénuries alimentaires pour les pays en développement comme se fut le cas en 2008 au Mexique avec des prix du maïs qui avaient fortement augmenté en raison de la demande américaine d'éthanol (DUPRAZ C. et al., 2011).

Aussi, la production agricole et la production d'énergie renouvelable peuvent entrer en concurrence pour le foncier. Les superficies agricoles disponibles sont en forte baisse en raison de l'urbanisation dans de nombreux pays pendant que sur d'autres territoires les terres sont gagnées au détriment des forêts. En France, entre 2006 et 2012, ce sont 97 483 ha de terres agricoles qui ont été affectées par un changement d'utilisation au profil de l'urbanisation¹⁴. Alors que l'agriculture doit assurer une production de plus en plus importante en raison de l'augmentation de la demande mondiale, elle doit faire face à un recul de ses surfaces disponibles.

Les centrales photovoltaïques au sol constituent un exemple en pleine expansion de concurrence foncière avec la fonction agricole. Pour les énergéticiens, l'installation de

14 Ministère de la transition écologique et solidaire – Commissariat général au développement durable, « Environnement et agriculture : Les chiffres clés – Édition 2018 », Service de la Donnée et des Études Statistiques, juin 2018, 124 pages

panneaux montés sur châssis fixe ou mobile admet de nombreux avantages par rapport au photovoltaïque sur toiture : maturité technologique atteinte, performance optimale grâce à une bonne ventilation et l'utilisation potentielle de trackers, accessibilité et maintenance plus facile, grande surface, plus de facilité pour le raccordement au réseau... Les centrales au sol sont principalement aménagées sur des terrains dégradés comme d'anciens sites miniers ou industriels. Dans ces cas-là, des contrats sont souvent passés avec des éleveurs pour entretenir l'herbe qui se développe entre les panneaux. Cependant, le nombre de terrains dégradés ou à faibles compétences agronomiques étant limité, de nombreux énergéticiens sont aujourd'hui attirés par les terrains agricoles de meilleure qualité. C'est face au risque de concurrence que sont apparus des projets cherchant à concilier les deux fonctions, rassemblés sous le nom générique d'agrivoltaïsme et réfléchis dès 1981 par deux chercheurs allemands visionnaires du Fraunhofer-Gesellschaft.

1.2. Les débuts de l'agrivoltaïsme : les travaux du Fraunhofer-Gesellschaft

Le Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., soit plus simplement « Fraunhofer-Gesellschaft » est un ensemble d'instituts allemand dont la spécialité est la recherche en sciences appliquées. Inventé en 1949 et portant le nom du physicien allemand Joseph VON FRAUNHOFER (1787-1826) connu pour être l'inventeur du spectroscope – appareil cherchant à étudier les spectres lumineux, le Fraunhofer-Gesellschaft se compose de 67 instituts et emploi entre 23 500 et 24 000 chercheurs. Bien que le siège soit situé à Munich, les instituts ayant chacun des spécialités différentes se répartissent dans près de quarante villes. Au vu de son importance à la fois en nombre de spécialités et en matière d'emploi, le Fraunhofer-Gesellschaft constitue un des plus grands et des plus réputés organismes de recherches à l'échelle internationale. Par rapport à la majorité des autres organismes de recherches, son financement est pour deux tiers dépendant des contrats de recherches passés auprès des industriels.

Parmi les nombreux instituts du Fraunhofer-Gesellschaft, le Solare Energiesysteme (ISE) est la plus grande structure européenne de recherches sur l'énergie solaire. Il emploie près de 12 000 personnes et travaille à une échelle internationale. L'ISE est implanté au sud-ouest de l'Allemagne, sur la commune de Fribourg-en-Brigau, à quelques kilomètres de la frontière française. Cette localisation

répond avant tout à une logique géographique car le Länder du Bade-Wurtemberg est le plus ensoleillé de tout le pays. Parallèlement, Fribourg-en-Brigau est réputée à l'échelle européenne pour ses engagements dans le développement durable. Cette ville entièrement détruite lors de la Seconde Guerre mondiale a su se reconstruire en y intégrant une prise en compte de l'environnement. Elle se présente comme une véritable capitale de l'écologie et est pionnière dans les questions d'architecture économe en énergie¹⁵. Doué d'atouts météorologiques et politiques, Fribourg-en-Brigau s'impose comme la ville principale d'Allemagne pour le développement de l'énergie solaire. Elle possède sur son territoire une des plus grandes usines mondiales de production de panneaux solaires.

C'est à l'ISE que sont apparus les premiers travaux sur ce qui deviendra ensuite l'agrivoltaïsme. En 1981, A.GOETZBERGER et A. ZASTROW proposent une configuration sur une même parcelle où l'on retrouve à la fois une centrale solaire sur pilotis située à 2 mètres de haut et une production agricole au niveau du sol (Illustration 1). Leurs travaux seront publiés en 1982, au sein de la revue *International Journal of Solar Energy*, dans l'article « On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation ». Afin d'éviter un ombrage excessif pour les plantes, dans leurs expérience, les

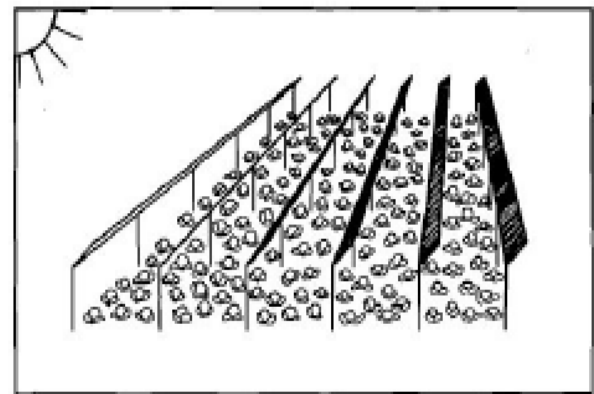


Illustration 1: Configuration proposée par GOETZBERGER et ZASTROW dans leurs travaux de 1981 (Source : A.GOETZBERGER, A.ZASTROW, 1982)

deux scientifiques ont espacé les rangées de panneaux d'environ trois fois la hauteur de l'installation photovoltaïque. Ils émettent alors comme postulat que lorsque les panneaux sont implantés directement au niveau du sol, la densité de rayonnement au sol reste très hétérogène et l'ombre s'avère être maximale alors qu'en les élevant, la distribution de rayonnement devient plus homogène et l'ombre se retrouve réduite. Aussi, ils indiquent qu'étant donné que la demande en énergie est plus importante entre novembre et mars, si les panneaux photovoltaïques sont optimisés en hiver et orientés plus verticalement au

15 Le Monde, « Fribourg, capitale allemande de l'environnement », 25 mai 2005, https://www.lemonde.fr/import/article/2005/05/25/fribourg-capitale-allemande-de-l-environnement_653609_3544.html

printemps, alors l'installation photovoltaïque est compatible avec les phases végétatives d'un grand nombre de cultures dans les zones tempérées. Avec leur expérience basée sur de nombreuses relations mathématiques, les deux chercheurs ont démontré que si les panneaux photovoltaïques sont installés à une hauteur suffisante qui diffère selon les caractéristiques de la culture, près des deux tiers du rayonnement solaire atteint le sol et sera ainsi disponibles pour les plantes. De même, ils indiquent que le rayonnement va se répartir d'une façon quasi-uniforme tout au long de la journée ce qui permet une croissance homogène de la culture. L'ombre des panneaux photovoltaïque serait donc peu négative pour l'activité agricole et les deux productions peuvent s'avérer compatibles. Dans leurs conclusions, A.GOETZBERGER et A. ZASTROW précisent que ce type de configuration peut permettre la circulation de matériel agricole. Malgré le manque de connaissances en agronomie et le besoin de continuer les études, les chercheurs précisent que la configuration pourrait correspondre aux cultures de seigle, d'orge, d'avoine, de betteraves sucrières ou encore de pâturage pour les animaux.

À la suite de ce premier travail, les chercheurs de l'ISE vont poursuivre leurs recherches. On peut notamment citer les travaux de TROMMSDORFF M. qui a réalisé en 2016 une analyse économique sur ce type de dispositif. L'ISE est engagé sur le projet de recherche APV-Resola dans l'objectif est de constituer des installations agrivoltaïques optimales qui combinent une excellence productivité agricole et énergétique sans compromettre la circulation d'engins agricoles^{16,17}. L'institut de recherche allemand participe à des projets de développement de l'agrivoltaïsme à l'échelle internationale comme c'est actuellement le cas au Viêtnam dans le delta du Mékong avec le projet d'aquavoltaïsme Solar-Aquaculture Habitats as Resource-Efficient and Integrated Multilayer Production Systems ¹⁸.

16 <https://www.renouvelle.be/fr/technologies/agriculture-et-photovoltaique-peuvent-utiliser-une-meme-surface>

17 <https://www.agrophotovoltaik.de/english/research-project-apv-resola/>

18 <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/news/2019/aqua-pv-project-shrimps-combines-aquaculture-and-photovoltaics.html>

Alors que la combinaison photovoltaïque/production agricole se développe massivement au Japon et que les serres photovoltaïques commencent à voir le jour en Europe suite au développement de la recherche sur ces dernières, une équipe d'agronomes de l'INRAE de Montpellier, en partenariat avec la société Sun'R s'est imposée depuis 2009 dans la recherche scientifique sur ce qu'elle va nommer l'agrivoltaïsme.

1.3. L'INRAE de Montpellier et le programme de recherche Sun'agri : le principal acteur actuel de la recherche sur l'agrivoltaïsme en France

Les premiers travaux ont permis de démontrer l'intérêt potentiel des configurations mélangeant centrales photovoltaïques en hauteur et production agricole au sol. Face à cette recherche menée à l'origine par des spécialistes en énergies, le regard des agronomes s'avère essentiel afin de mesurer les possibilités existantes pour l'activité agricole. Dans l'optique de poursuivre les recherches de l'ISE et de pouvoir proposer à l'avenir un développement commercial, si des résultats favorables pour l'agriculture sont démontrés, la société française spécialisée dans l'énergie solaire SUN'R (fondée en 2007) a choisi de s'associer en 2008 dans un programme Recherche & Développement avec l'INRAE¹⁹ de Montpellier : ce programme de recherche fut nommé Sun'agri et constitue une nouvelle branche d'activité à la société SUN'R.

1.3.1. L'organisation de l'INRAE de Montpellier chargé du programme Sun'agri :

Au sein de l'INRAE de Montpellier, le partenariat avec Sun'R a été délégué à l'Unité Mixte de Recherches SYSTEM « Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens ». Dans cette UMR en charge « d'évaluer et de concevoir des systèmes de culture alliant performances économiques et production de

19 L'INRAE - Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'alimentation et l'Environnement - a vu le jour le 1^{er} janvier 2020 suite à la fusion de l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) et de l'Institut National de la Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (IRSTEA). Bien que le programme de recherche a été lancé par l'INRA, nous faisant le choix ici de prendre la nouvelle appellation.

services environnementaux »²⁰, trois autres organismes de recherches travaillent en commun avec l'INRAE : le département Performances des systèmes de production du centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad), le département « Milieux, Productions, Ressources et Système » de Montpellier Sup Agro et le Centre International de Hautes Études Agronomiques Méditerranéennes - Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier (CIHEAM-IAMM). Le programme Sun'agri est principalement étudié par l'équipe scientifique Ressources. Cette dernière est spécialisée sur les questions de disponibilité, de partage et d'utilisation des ressources (lumière, eau, azote) dans les systèmes agronomiques plurispécifiques²¹. À l'origine, le principal axe de recherche de l'équipe Ressources porte sur l'agroforesterie. Christian DUPRAZ (ingénieur de recherches de l'INRAE), un des principaux chercheurs en charge du programme Sun'agri a notamment été président de l'association française d'agroforesterie entre 2007 et 2009. Le programme Sun'R est une suite logique à la spécialité de l'équipe, puisqu'on retrouve entre les deux systèmes la question commune de compétition pour la luminosité²². Les résultats des recherches sur l'agroforesterie, notamment sur la tolérance à l'ombre des différentes cultures ont été utilisés en référence pour le programme Sun'agri.

1.3.2. Le déroulé du programme Sun'agri :

Le programme de recherche Sun'agri a été divisé en trois étapes sur la période 2009-2022 (Illustration 2).

L'étape 1 s'est déroulée entre 2009 et 2012 et a consisté à des recherches fondamentales sur la combinaison de panneaux photovoltaïques fixes en hauteur et de production agricole sur une même parcelle. Dans le cadre de cette première phase, DUPRAZ et al. ont proposé en 2011 dans l'article « Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use : Towards new agrivoltaic schemes » d'appeler ce dispositif l'agrivoltaïsme. MARROU H. a réalisé une première thèse afin de mesurer

20 <https://umr-system.cirad.fr/>

21 <https://umr-system.cirad.fr/themes-scientifiques/ressources>

22 Pour plus d'information sur l'agroforesterie, voir : DUPRAZ Christian, LIAGRE Fabien, Agroforesterie, des arbres et des cultures, Paris, Editions France Agricole, 2011, 2ème édition, 432 pages

l'utilité de l'agrivoltaïsme fixe, notamment pour la culture en plein champs de laitues, de concombres, de haricots et de blé dur (MARROU H., 2012). Pour cette première phase, les études ont été réalisées sur une parcelle de 820 m² avec un dispositif photovoltaïque situé à une hauteur de 4 mètres et avec une inclinaison des panneaux à 25°. Deux densités différentes ont été mises en place : la pleine densité (Full Density : FD) optimisée pour la production d'électricité avec une distance de 1,6 mètres entre les rangées soit une ombre égale à 70 % du rayonnement entrant et la demi-densité (Half Density : HD) et avec un écart de 3,2 mètres soit une ombre de 50 % par rapport au rayonnement entrant. (DUPRAZ et al., 2011).

La deuxième étape a eu lieu entre 2013 et 2017. Elle s'est concentrée sur l'agrivoltaïsme dynamique, un dispositif où les panneaux photovoltaïques sont mobiles, dirigés à distance par un logiciel, afin de suivre la course du soleil à la manière de l'héliotropisme. Ce système a pour objective d'assurer une meilleure efficacité pour la production d'énergie sans compromettre les rendements de la production agricole. En reprenant les conditions expérimentales de la première étape (hauteur de 4/5 mètres, deux densités de panneaux), deux thèses ont été soutenues en 2017. Pour la première, orienté sur l'Ecophysiologie et l'adaptation des plantes, VALLE B. a étudié le développement et la croissance des laitues sous les panneaux photovoltaïques : « Modélisation et optimisation de la croissance de la laitue dans un système agrivoltaïque dynamique » (VALLE B., 2017). Pour la deuxième thèse spécialisée en Science de l'Eau, ELAMRI Y. a réalisé un bilan hydrique pour connaître l'impact du dispositif d'agrivoltaïsme sur la répartition des précipitations au sol : « Bilan hydrique et développement de culture sous panneaux photovoltaïques dynamiques : de la modélisation à l'évaluation de solutions agrivoltaïques » (ELAMRI Y., 2017).

La dernière phase du programme de recherche a débuté en 2017 et doit se terminer pour 2022. Il s'agit d'une phase de démonstration où le dispositif d'agrivoltaïsme est déployé en condition réelle. En effet, lors des deux premières étapes, les expériences se sont déroulées sur un seul site : l'exploitation expérimentale de l'INRAE de Montpellier, au domaine de La Valette. Des cultures diverses (blé, maïs, salade, pommes de terre,...) ont été étudiées mais elles ne couvraient que de petites surfaces. L'étape 3 du programme a pour objectif de vérifier les résultats des premières études en plein champ. Trois exploitations partenaires ont installé des ombrières photovoltaïques

dynamiques sur des parcelles expérimentales. La première exploitation est un domaine viticole familial situé à Tresserre dans les Pyrénées-Orientales. La deuxième est là aussi un domaine viticole situé sur des parcelles expérimentales de la chambre d'agriculture du Vaucluse dans la commune de Piolenc. La dernière exploitation est un verger sur la commune de Mallemort dans les Bouches-du-Rhône. Aussi, afin de compléter les données expérimentales, 10 à 15 démonstrateurs vont être installés dans des exploitations agricoles du bassin méditerranéen.

À la suite du programme de recherche et en fonction des résultats, Sun'R espère lancer le développement commercial de l'agrivoltaïsme pour 2022.

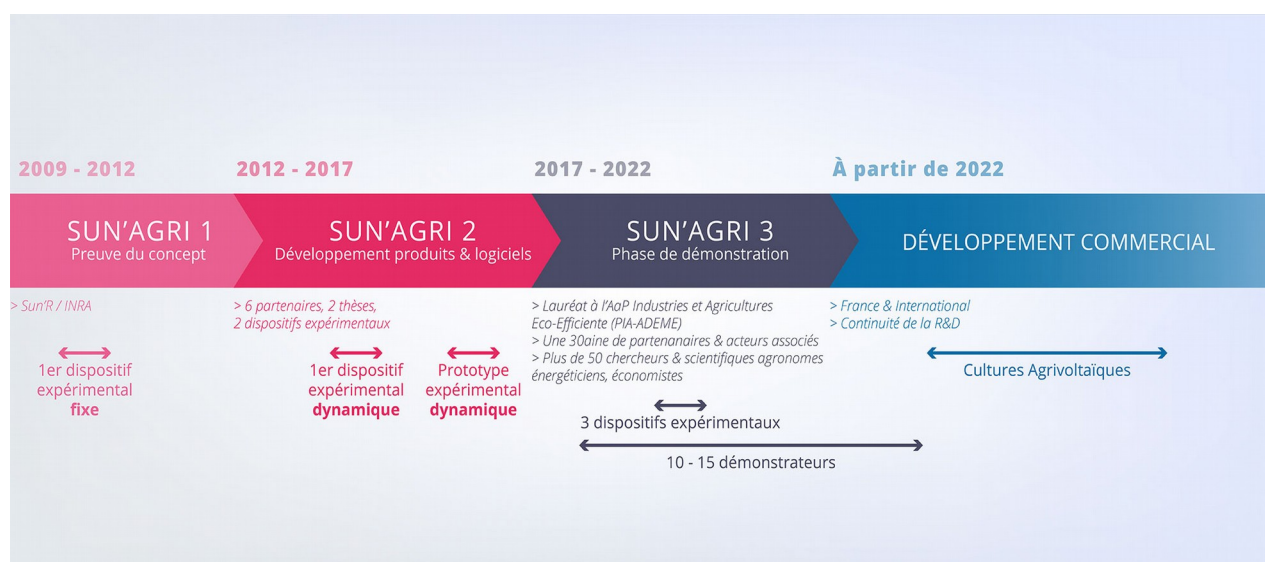


Illustration 2: Déroulé du programme de recherches Sun'agri réalisé en coopération entre l'INRAE de Montpellier et la société Sun'R (Source : Sun'R, <https://sunagri.fr/le-programme-sunagri/>)

1.3.3. Les premiers résultats du programme de recherche Sun'agri :

Le programme de recherche Sun'agri a permis de fournir des résultats très divers sur l'agrivoltaïsme : cultures adaptées, analyse du microclimat, répartition au sol du rayonnement,... Les études montrent que l'installation de panneaux photovoltaïques en pleine densité s'avère pénalisante pour les plantes en raison d'une trop grande hétérogénéité du rayonnement au niveau du sol contrairement aux expériences en demi-densité où il y a une meilleure efficacité d'intersection des rayonnements. (DUPRAZ et al., 2011) (Marrou et al., 2013)

Aussi, en utilisant l'indice Land Equivalent Ratio - ou en français la Surface Équivalente Assolée - qui permet de mesurer l'efficacité d'une terre en comparant les

systèmes en monoculture et en production d'électricité séparée avec des systèmes qui combinent les deux sur une même parcelle (voir la formule en illustration 3), l'agrivoltaïsme peut s'avérer efficace pour assurer des rendements corrects aux deux activités. Pour cela, un équilibre doit être trouvé entre une couverture partielle mais avec une densité optimale pour assurer la production d'électricité, une bonne élévation et une inclinaison optimum dépendante à la fois de la région et de la culture. La combinaison entre panneaux solaires et culture permet d'augmenter la productivité totale des terres. (DUPRAZ et al., 2011) (MARROU et al., 2013).

L'utilisation de trackers solaires dans le cas d'agrivoltaïsme dynamique permet d'augmenter la production d'électricité et le rayonnement solaire disponible pour les plantes. Avec des trackers, il est possible de favoriser au maximum la luminosité pour les plantes, notamment au tout début de la croissance, en choisissant un angle d'inclinaison spécifique qui contraint cependant la production d'électricité. (Valle et al., 2017)

Avec les systèmes d'agrivoltaïsme, on peut observer une hétérogénéité en eau dans le sol avec un manque d'humidité sous les panneaux alors qu'il existe des surplus dans les secteurs non couverts en raison du ruissellement des précipitations sur les panneaux photovoltaïques. Ce surplus peut entraîner une érosion ou un tassement des sols nus. L'agrivoltaïsme dynamique permet une meilleure distribution des précipitations et est donc plus favorable aux cultures. Malgré ces observations sur le bilan hydrique, par rapport à une culture traditionnelle, les plantes cultivées sous panneaux possèdent une meilleure efficacité pour l'utilisation en eau en raison d'une diminution de l'évapotranspiration. (ELAMRI et al, 2018).

$$\text{LER} = (\text{Rdt}_{\text{culture en AV}} / \text{Rdt}_{\text{culture en MC}}) + (\text{Rdt}_{\text{électricité en AV}} / \text{Rdt}_{\text{électricité en PV}})$$

AV : système agrivoltaïque

PV : système photovoltaïque (sans culture)

MC : monoculture (sans photovoltaïque)

Si le LER >1, le système agrivoltaïque est plus efficace avec un rendement supérieur à celui qui serait obtenu avec des productions séparées.

Illustration 3: Formule de l'indice LER (Source : Acthuel, Artifex, 2020)

Avec le programme Sun'agri, l'équipe d'agronomes de Montpellier est reconnue à l'échelle internationale sur le sujet de l'agrivoltaïsme. Nous allons maintenant observer

les autres travaux qui ont pu être publiés sur l'agrivoltaïsme au niveau de la recherche scientifique internationale.

2. Synthèse de l'ensemble des articles scientifiques sur l'agrivoltaïsme rédigés depuis 1981

Bien que les premiers travaux remontent aux années 80, l'agrivoltaïsme est un axe de recherche relativement récent. Au total, dans la base bibliographique, nous avons recensé 49 articles scientifiques internationaux s'intéressant directement ou indirectement à l'agrivoltaïsme. Même s'il est fort possible que nous soyons passés à côté d'autres travaux, notamment en raison de la barrière de la langue et d'un temps relativement réduit pour réaliser une recherche approfondie, nous avons considérés que ces articles sont assez représentatifs pour faire une analyse globale de la recherche scientifique internationale en cours sur l'agrivoltaïsme.

2.1. La recherche sur l'agrivoltaïsme au fil des années :

Les articles étudiés au sein de notre corpus bibliographie ont été publiés entre 1982 et 2020. L'article le plus ancien correspond au premier travail de l'ISE, comme décrit précédemment. Bien que l'équipe allemande a poursuivi sa recherche sur l'agrivoltaïsme, très peu d'articles ont été publiés dans une revue scientifique pendant les années 80 et les années 90.

Dans les années 2000, la recherche scientifique relative aux serres photovoltaïques a pris de l'ampleur avec un total de cinq articles rédigés par des équipes japonaise, chinoise, italienne et marocaine. Ce sujet n'était pas étudié dans une optique d'agrivoltaïsme mais s'intéressait aux capacités que représentaient les serres pour installer des panneaux photovoltaïques en parallèle des toitures.

À partir de 2011, on observe une première phase de publication sur la thématique agrivoltaïque, en plus des publications sur les serres photovoltaïques. Elle correspond à la première étape du projet de recherche Sun'agri.

En 2016, l'agrivoltaïsme commence à arriver dans la recherche scientifique internationale. Une équipe de chercheurs américains du Michigan et une équipe de chercheurs italiens se sont appropriés les premiers travaux allemands et français pour

poursuivre les recherches scientifiques sur les dispositifs combinant photovoltaïques et agriculture. En Espagne, Suisse et Inde, l'agrivoltaïsme a commencé à être étudié à partir de 2017. À cette même période, l'INRAE de Montpellier a publié ces premiers résultats sur l'agrivoltaïsme dynamique, issue de l'étape 2 du programme Sun'agri. À la vue des publications, on constate que la recherche scientifique sur les dispositifs d'agrivoltaïsme fixe et dynamique a pris de l'ampleur à partir de l'année 2016.

Année de publication des articles étudiés :

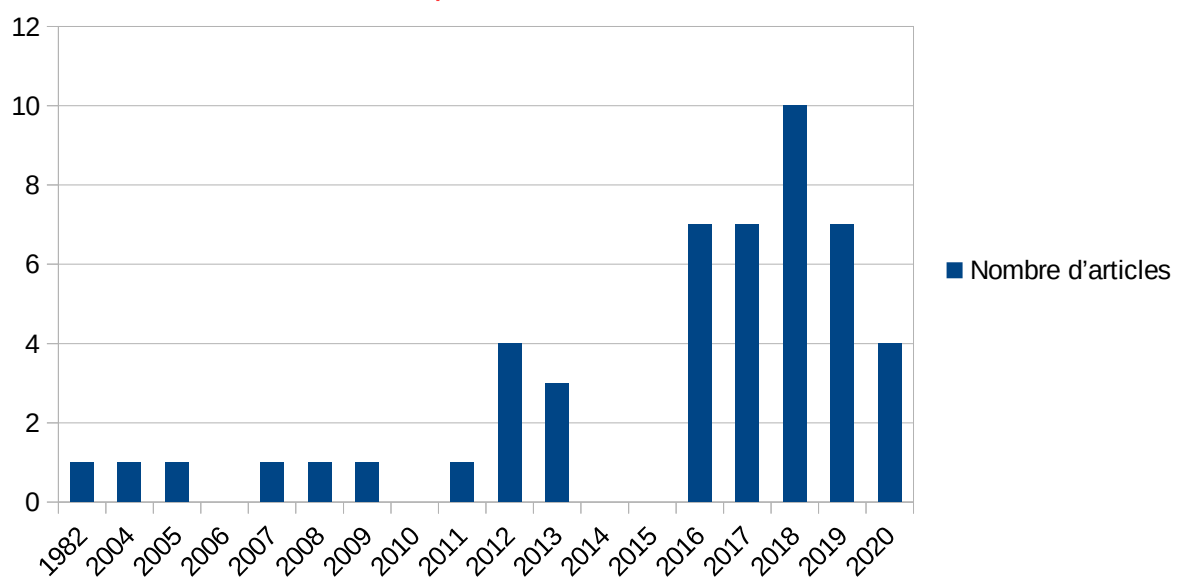


Illustration 4: Graphique des années de publication des articles étudiés (Source : MB.JEANNETON, 2020)

2.2. Quelles sont les revues scientifiques ouvertes à la recherche sur l'agrivoltaïsme :

Il n'existe aucune revue scientifique dédiée à l'agrivoltaïsme puisque ce dispositif est relativement récent dans la recherche internationale. Les articles étudiés ici proviennent de différentes revues dédiées en particulier à l'énergie ou à l'agronomie. L'article le plus ancien a été publié dans la revue International Journal of Solar Energy. Les deux principales revues sont Renewable and Sustainable Energy Reviews (9 publications) et Renewable Energy (4 publications). On remarque aussi que les différentes équipes de chercheurs travaillant sur d'agrivoltaïsme ne publient pas spécifiquement dans une revue de préférence.

NOM DE LA REVUE SCIENTIFIQUE	NOMBRE D'ARTICLE
Renewable and Sustainable Energy Reviews	9
Renewable Energy	4
Solar Energy	3
Applied Energy	2
Acta Hortic	2
Energies	2
European Journal of Agronomy	2
Biosystems Engineering	2
Environment Management	1
Resources, Conservation & Recycling	1
Solar Energy Materials and Solar Cells	1
Australian Journal of Grape and Wine Reseach	1
anthos	1
Agricultural Water Management	1
Hydrology and Earth System Sciences	1
Chinese Journal of Applied Ecology	1
International Journal of Solar Energy	1
PLoS ONE	1
Landscape and Urban Planning	1
Sustainable Energy Technologies and Assessments	1
Agricultural and Forest Meteorology	1
Energy	1
Land Use Policy	1
Journal of Cleaner Production	1
Environments	1
Constitutional Economics Network	1
Environmental Quality Mangement	1
Scientia Agricola	1
Agronomy for Sustainable Development	1
Journal of the Japanese society of agricultural machinery	1
Article non publié dans une revue	1
Nombre total d'articles	49

Tableau 1: Nom des revues scientifiques dans lequel les articles étudiés ont été publiés (Source : MB.JEANNETON, 2020)

2.3. Les thématiques d'études sur l'agrivoltaïsme :

Les thématiques des articles scientifiques sur l'agrivoltaïsme relèvent de plusieurs cas spécifiques. Un certain nombre d'articles étudient les systèmes d'agrivoltaïsme dans leur généralité avec notamment une approche très technique basée sur des relations mathématiques. Une catégorie d'articles aborde l'agrivoltaïsme par l'expérimentation avec un certain type de plante ou d'élevage. Par exemple, l'INRAE de Montpellier a mené ces expérimentations d'agrivoltaïsme fixe et dynamique avec des cultures maraîchères et notamment des laitues. Ailleurs dans le monde d'autres expériences ont été menées sur des vignobles, dans des exploitations d'aquacultures ou encore avec des

cultures de maïs. On observe aussi un article de 2020 qui s'intéresse à la question zootechnique avec l'étude du potentiel des centrales photovoltaïque pour protéger le bétail. Pour un autre groupe de publications et notamment pour celle de l'étape 2 du programme Sun'agri, L'agrivoltaïsme est étudié par la notion de micro-climat. Ces articles abordent notamment la répartition de l'eau et du rayonnement sous les panneaux photovoltaïques pour mesurer les capacités de partage des ressources.

Sur la question des serres photovoltaïques, on comptabilise en tout 17 articles de la base bibliographique. L'étude de ces derniers a commencé au cours des années 2000, avant même que l'INRAE de Montpellier invente le terme d'agrivoltaïsme. Il est relativement difficile de différencier les articles où l'étude scientifique porte sur la relation entre la production agricole et l'activité photovoltaïque étant donné que certains articles s'intéressent surtout aux possibilités d'utiliser les surfaces de serres pour installer des centrales photovoltaïques comme on peut le retrouver sur des toitures de bâtiments. Cependant, les articles sur les serres photovoltaïques sélectionnés ici s'intéressent pour partie sur la problématique de l'ombre et du microclimat sous panneaux, un des axes de recherches de l'agrivoltaïsme.

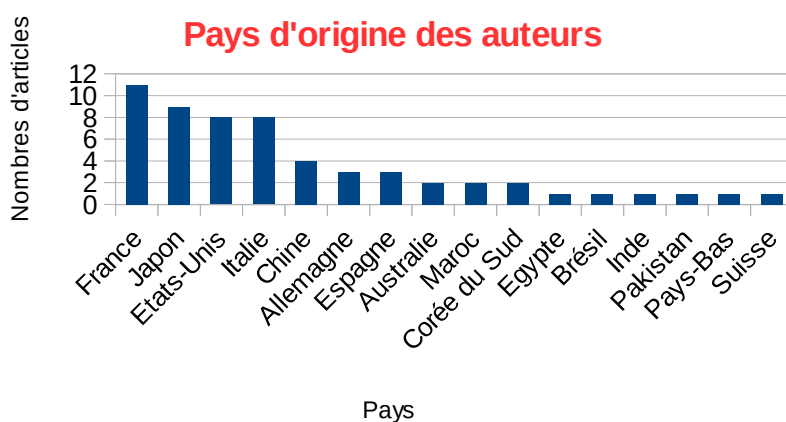
Pour terminer, un petit nombre d'articles s'intéresse à la question paysagère des systèmes d'agrivoltaïsme pendant qu'un travail allemand de l'ISE s'intéresse à la question économique.

2.4. L'origine des équipes de chercheurs travaillant sur l'agrivoltaïsme :

Lorsque l'on compare l'origine des auteurs de la base bibliographique, on peut observer que l'agrivoltaïsme est étudié dans quasi tous les continents, excepté l'Antarctique (et l'Amérique du sud). Ces dernières années quatre pays ont dominé la recherche scientifique : la France notamment grâce au programme Sun'agri, le Japon, les États-Unis et l'Italie. Dans le cas des États-Unis, deux principales équipes de chercheurs travaillent sur les questions relatives à l'agrivoltaïsme : la première se situe dans l'état du Michigan et a pour discipline le génie électrique et l'informatique ainsi que l'ingénierie des matériaux pendant que l'autre équipe est localisée en Oregon et s'intéresse plus à l'agronomie et à la biologie. La chine, cinquième pays en matière de publication par rapport à notre base bibliographique, s'intéresse elle plus particulièrement aux serres photovoltaïques. En Allemagne, l'ISE bien que précurseur de l'agrivoltaïsme

publie très peu ces résultats dans des revues scientifiques, sûrement en raison des logiques de recherches plus tournées sur les entreprises privées – principaux financeurs du Fraunhofer-Gesellschaft.

L'analyse des articles montre que dans la majorité des cas, les chercheurs se connaissent et que les travaux de recherche se font par une analyse des résultats menés par les autres équipes dans le monde. Au total, sept articles ont été écrits en mélangeant des chercheurs européens avec des chercheurs d'autres continents.



Etats d'origine des chercheurs américain	Nombre d'articles
Michigan	3
Oregon	2
New-York	1
Arizona	1
Californie	1

Tableau 2: Etat d'origine des chercheurs américain ayant rédigé des articles étudiés (Source : MB.JEANNETON, 2020)

Illustration 5: Pays d'origine des auteurs ayant rédigé les articles étudiés (Source : MB.JEANNETON, 2020)

L'étude de l'agrivoltaïsme est avant tout l'affaire de spécialistes en agriculture (agronomie et zootechnique) puisqu'au total, 20 articles ont été rédigés que par des agronomes et 12 articles ont mêlé l'agriculture avec d'autres disciplines.

Alors que l'agrivoltaïsme a d'abord été étudié par des spécialistes en sciences de l'énergie, les auteurs issus de cette discipline sont relativement peu nombreux (quatre publications).

Ces dernières années, l'agrivoltaïsme est devenue une notion qui intéresse de plus en plus les paysagistes. En

Disciplines principales des chercheurs	Nombre d'articles
Agronomie	20
Agronomie – science de l'énergie	6
sciences de l'énergie	4
Agronomie – environnement	2
Agronomie et génie mécanique	1
Economie	2
Ingénierie	2
Agronomie – Technologie	1
Chimie – Biologie	1
Environnement – agronomie – ingénierie	1
Biologie	1
génie électrique et informatique - ingénierie des matériaux	1
Ingénierie – environnement	1
Géographie – sciences de l'énergie	1
ingénierie de l'électricité et de l'informatique - ingénierie des matériaux	1
Paysagiste	1
Zootechnique – biologie	1
Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development	1
Ingénierie de l'électricité	1

Tableau 3: Disciplines principales des auteurs ayant rédigé les articles étudiés (Source : MB.JEANNETON, 2020)

2015, en partenariat avec le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, l'École Nationale Supérieure du Paysage Versailles-Marseille a mis en place la chaire d'entreprise Paysage et Énergie²³ qui possède quatre missions : la formation avec le post-master « paysage et transition(s) », la recherche, la création et la diffusion de connaissances. Cette chaire a pour objectif d'étudier les nouveaux paysages de l'énergie dans le cadre de la transition énergétique. Parmi les travaux de recherche, on retrouve des sujets portant spécifiquement au développement de l'agrivoltaïsme avec notamment l'exemple du Parc Naturel Régional des Préalpes d'Azur, collectivité partenaire pour le déroulé de la chaire. DE CARNÉ CARNAVALET C. et al. se sont par exemple intéressés en 2018 à la possibilité d'utiliser l'agrivoltaïsme comme une solution d'urbanisme pour reconquérir les paysages de l'agriculture (DE CARNÉ CARNAVALET C. et al., 2018). Aussi, on peut citer les travaux de MASAFONT J. qui après avoir réalisé une plaquette pour le PNR des Préalpes du Sud sur les paysages en transition incluant l'agrivoltaïsme dans le cadre de son master d'urbanisme²⁴, a poursuivi en 2018 sur une thèse ayant pour titre « Développement du projet de paysage énergétique durable pour une prise en compte des ressources territoriales et leurs utilisations multifonctionnelles ». Même si l'agrivoltaïsme n'est pas étudié spécifiquement, il fait partir des axes de recherche des chercheurs paysagistes.

Après avoir réalisé cette analyse globale de la recherche scientifique internationale, nous allons maintenant regarder plus précisément comment les travaux scientifiques s'articulent autour d'un axe de recherche spécifique à l'agrivoltaïsme. Pour cela, nous allons nous intéresser à l'aquavoltaïsme, axe encore non étudié par les chercheurs français.

23 Plaquette de présentation de la Chaire d'entreprise Paysage et Énergie : http://www.ecole-paysage.fr/media/chaire-entreprises-paysage-energie_fr/UPL715732872105676533_plaquette_chaire_paysage_energie_septembre2016_v2.pdf

24 Voir la plaquette sur ce lien: <https://fr.calameo.com/read/004230968d1efb9d765ba>

3. Zoom sur un axe de la recherche en agrivoltaïsme : l'aquavoltaïsme :

S'inspirant de l'agrivoltaïsme, l'aquavoltaïsme est un dispositif qui combine la production photovoltaïque avec une production aquacole (aquaculture et saliculture). Pour rappel, l'aquaculture correspond à l'ensemble des activités ayant pour objectif la production d'animaux ou de plantes aquatiques dans des eaux douces, saumâtres ou marines, avec des conditions de cultures contrôlées en grande partie par l'Homme. L'aquaculture peut prendre diverses formes : les systèmes à eau directe, les bassins terrestres, les systèmes d'élevages intégrés sous la forme d'aquaponie,... (PRINGLE A. et al, 2017) La saliculture est une activité aquacole qui consiste à l'exploitation de marais salants pour la production de sel mais qui ne s'inscrit pas dans l'aquaculture puisqu'elle n'exploite pas des organismes vivants. L'étude scientifique sur l'aquavoltaïsme a commencé plus tard que pour l'agrivoltaïsme puisqu'il faut attendre 2017 pour que la première publication soit publiée dans la revue *Renewable and Sustainable Energy Reviews* par une équipe de chercheurs américains du Michigan²⁵. D'autres publications ont été réalisées ensuite et s'intéressent à des cas spécifiques d'activité aquacole.

1.1. Les premiers travaux de recherche sur l'aquavoltaïsme réalisés par une équipe de chercheurs américains du Michigan :

L'aquaculture est en pleine expansion dans le monde en raison de la population croissante, d'une demande en pleine explosion liée à l'amélioration de la qualité de vie et à la diminution progressive des captures, liée en partie à la surpêche. L'aquaculture peut s'exercer en mer sous forme de cages ou d'enclos mais se développe de plus en plus sous forme de bassins terrestres pour des raisons techniques, sanitaires et financières. La multiplication de ces derniers entraîne une concurrence avec l'agriculture mais aussi avec le développement des énergies. Ainsi, comme l'agrivoltaïsme, l'aquavoltaïsme cherche à limiter les conflits fonciers en permettant une synergie entre la production aquacole et le photovoltaïque, source d'énergie durable la plus disponible à l'échelle de la planète et la plus facile d'accès. L'aquavoltaïsme s'inscrit ainsi dans le besoin de

25 PRINGLE Adam, HANDLER Robert, PEARCE Joshua, « Aquavoltaics : Synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 2017, pages 572-584

développer les énergies renouvelables pour lutter contre les défauts des énergies fossiles face aux changements climatiques et à la disparition des ressources, sans entraîner une perte d'espace pour répondre à la demande mondiale en matière de produits piscicole. Dans les structures d'aquavoltaïsme, les panneaux solaires sont posés au-dessus des bassins de production. Ils peuvent être installés directement à la surface, être submergés, ou être installés en surface avec un angle d'inclinaison voire sur un axe permettant aux panneaux de suivre le rayonnement solaire.

L'association de l'énergie photovoltaïque avec l'aquaculture admet des bénéfices réciproques. La proximité avec l'eau assure une plus grande facilité technique et financière pour le refroidissement des panneaux et le nettoyage. En couvrant les surfaces en eau, les panneaux solaires récupèrent une part du rayonnement solaire permettant ainsi de diminuer la perte en eau due à l'évaporation. D'après les résultats de l'étude américaine, l'installation de panneaux solaires au-dessus de réservoirs aquacoles permet de réduire de 70 à 85 % les pertes d'eau. Avec une évaporation diminuée, le taux d'oxygène est lui aussi conservé et permet ainsi une réduction directe des pertes de rendements par rapport à des bassins ordinaires. Les installations d'aquavoltaïsme permettent d'assurer un meilleur contrôle des facteurs de croissance selon les espèces : température de l'eau, pH, salinité (une plus grande évaporation fait élever le taux de salinité dans l'eau entraînant des impacts sur certaines espèces), turbidité, photopériode (optimisation de la lumière en fonction de l'espèce élevée/cultivée : plus l'espèce a besoin d'eau sombre et profonde et plus de panneaux solaires peuvent être installés au-dessus du bassin de production),... L'installation aquavoltaïsme peut aussi répondre à des problématiques biologiques en assurant une protection face à la prédation ou en permettant de créer un support pour construire des récifs aquatiques. L'installation de panneaux solaires permet de réduire les coûts énergétiques grâce à une autoconsommation et peut ainsi assurer la survie des plus petites exploitations.

Les ingénieurs américains ont cependant mis en valeur quelques limites à l'aquavoltaïsme, méritant de nouveaux travaux de recherche afin de développer un système plus durable et plus respectueux de l'environnement et de l'activité aquacole. En effet, il existe une grande multitude d'espèces élevées/cultivées dans des bassins aquacoles et chacune a des caractéristiques biologiques différentes. Étudier les

systèmes aquavoltaïsme ne peut pas se faire que d'un point vue généraliste, comme ce fut le cas ici. Des études biologiques doivent pouvoir compléter la recherche en indiquant au cas par cas les capacités des espèces à pouvoir s'adapter à l'ombre et admettre des bénéfices avec l'installation. Le manque de luminosité ne doit pas impacter l'écosystème aquatique composé entre autres par les zooplanctons et phytoplanctons qui sont nécessaires à l'alimentation des espèces animales élevées. Sur le même principe, il existe un manque de recherche sur le bien-être des poissons lorsqu'on installe au-dessus de l'eau un ensemble de panneaux solaire. Pour finir, une question technique se pose face à l'entretien de l'installation en raison des salissures biologique. Bien que les panneaux d'aquavoltaïsme aient moins de risque de se couvrir de poussière que dans le cas des installations terrestres, les algues pouvant vivre à l'air libre peuvent venir recouvrir la surface et diminuer l'efficacité. Or, il est nécessaire de trouver une solution pour le traitement facile à utiliser et qui n'entraînera pas une pollution de l'eau.

Les chercheurs proposent que l'aquavoltaïsme soient complétés par l'installation de LED qui permettrait, grâce à des longueurs d'onde spécifiques, d'augmenter la croissance des espèces élevées/cultivées. Les LED seraient installées sous les panneaux et les couleurs sont choisies en fonction des caractéristiques biologiques. Par exemple, la lumière jaune (570-590 nm) et verte (495-570 nm) permettent de développer la croissance végétale pendant que la lumière bleue (450-495 nm) peut aussi de favoriser le développement des larves de poissons. Les diodes électroluminescentes peuvent représenter une solution facile à installer et à entretenir pour permettre le développement de l'activité aquacole en complément de la production photovoltaïque.

Si les éléments négatifs sur l'aquavoltaïsme soulevé par les chercheurs sont résolus, l'aquavoltaïsme pourrait représenter une solution d'avenir pour le développement des énergies renouvelables notamment dans les pays où l'activité aquacole est très présente. Ainsi, d'après les calculs de PRINGLE A. et al, si l'ensemble de la superficie actuellement utilisée par l'aquaculture aux États-Unis était recouvert par

des structures d'aquavoltaïsme²⁶, ces dernières pourraient représenter 10,3 % de la consommation totale d'énergies américaines de 2016.

1.2. En Corée du Sud, la recherche sur la combinaison entre panneaux solaires et saliculture :

Alors qu'en Corée du Sud, l'activité salicole est frappée par d'importantes difficultés économiques et que de nombreux marais salants non-rentables sont abandonnés (le prix de vente du sel est devenu inférieur à son coût de production), une équipe de chercheurs s'est intéressée en 2019/2020 à la possibilité de développer panneaux solaires et saliculture²⁷. La Corée du Sud admet une forte dépendance à l'importation d'énergie : elle s'élevait à 94,7 % en 2016, soit une valeur économique de 809,4 milliards de dollars. Il n'existe pas pour l'instant de consensus national sur la transition énergétique malgré une croissance continue de la demande. Au vu de l'augmentation de la population et de la surface terrestre très limitée du pays avec une forte densité (516,42 hab/km² en 2019 d'après population data.net), le développement d'énergie photovoltaïque doit pouvoir se faire conjointement avec l'agriculture ou en valorisant les façades maritimes du pays.

En raison du contexte territorial, les chercheurs spécialisés en sciences de l'énergie ont réfléchi à un dispositif photovoltaïque parallèle au sol et résistant au sel pouvant être installé dans des bassins d'évaporation de marais salants. Ces derniers constituent l'étape intermédiaire entre le réservoir et les bassins de cristallisation, appelé en France les œillets, où le sel est alors récolté. Les panneaux solaires sont submergés à l'horizontale d'une couche d'eau d'environ 20 cm et chacun est relié au autres grâce à un caoutchouc imperméable.

26 Pour l'étude, la ferme aquavoltaïsme prise pour exemple se situe à Godley au Royaume-Uni où on comptabilise une irradiance solaire de 875 kWh/m² soit une production de 59,3 kWh/m². En prenant l'irradiance solaire de la côte américaine le long du Golf du Mexique (soit 1860 kWh/m²), principale zone de production aquacole, la production d'une ferme en aquavoltaïsme de la même taille que celle de Godley peut produire près de 126kWh/m² - chiffre utilisé pour l'étude

27 BONGSUCK Kim, SEUG-MIN Lee, SEONG-HYUN Kang, MOON-SUN Jeong, GEUN Ho Gim, JONGSUNG Park, CHEOLHYUN Lim, "Aquavoltaic system for harvesting salt and electricity at the salt farm floor: Concept and field test", Solar Energy Materials and Solar Cells, 204, 2020, 8 pages

Les panneaux solaires vont permettre l'obtention d'une énergie renouvelable tout en accélérant l'évaporation de l'eau située au-dessus. Les panneaux solaires peuvent bénéficier d'un refroidissement par l'eau permettant ainsi un meilleur rendement de la production électrique et éviter la surchauffe des panneaux solaires. La combinaison est conçue pour relancer l'activité économique liée à la production de sel en proposant au saliculteur un complément de revenu grâce à la location des bassins d'évaporation pour l'installation de panneaux solaires.

Les scientifiques ont réalisé des études pour sélectionner le dispositif photovoltaïque permettant d'assurer un équilibre avec l'activité salicole. L'installation a ensuite été testée sur le terrain et les résultats de production d'électricité ont été comparés avec des panneaux solaires terrestres situés à l'horizontale et avec un angle de 30° (Illustration 6). L'étude a mis en valeur que les panneaux solaires submergés admettent un meilleur refroidissement, ce qui permet pendant une grande partie de l'année de bénéficier d'une plus grande efficacité que les panneaux terrestres. La salinité n'admet pas d'influence sur le fonctionnement de l'effet photovoltaïque et la perte d'irradiation solaire reste faible quand l'eau de mer conservée au dessus du panneau est inférieure à 20 cm. Le fonctionnement continu nécessite un entretien régulier afin d'éviter la prolifération d'algues au dessus de la surface.



Illustration 6: Le dispositif expérimental permettant de comparer les panneaux solaires submergés dans les bassins salicoles avec des installations photovoltaïque au sol. (Source : BONGSUCK K. et al, 2020)

La recherche sur ce type d'installation doit se poursuivre afin de répondre au risque de dégradation liée à la diffusion d'ions Na et étudier l'impact potentiel de l'induction électrostatique sur la cristallisation. La qualité du sel obtenue doit pouvoir être assurée pour la consommation humaine. De même, une réflexion technique doit aboutir pour que les installations soient les plus résistantes que possible au sel puisqu'elles devront rester un maximum dans l'eau.

1.3. Le projet SHRIMPS, une recherche de l'ISE en coopération avec le Vietnam :

Le Vietnam connaît actuellement une forte croissance démographique et économique. Avec une population supérieure à 97 millions d'habitants en 2019 pour une densité d'environ 294 hab/km², le Vietnam est le 15^{ème} pays le plus peuplé au monde²⁸. L'aquaculture tient une place essentielle dans l'économie du pays. Il est actuellement le 3^{ème} producteur mondial de crevettes. Cette production se déroule majoritairement le long du delta du Mékong. En 2017, le Premier ministre a fixé pour objectif de développer la production de crevettes afin qu'en 2025 cette activité représente 10 % du PIB national²⁹. Deux espèces sont principalement élevées : la crevette géante tigrée et la crevette à patte blanche. Le Vietnam est le principal producteur de pangasius, poisson dans la consommation est en hausse à l'échelle mondiale³⁰. L'aquaculture vietnamienne utilise majoritairement des bassins terrestres couverts de serres fermées afin d'éviter l'arrivée de maladie par les oiseaux et les autres espèces aquatiques.

Avec une population croissante, une explosion de son économie et une augmentation de la demande en énergie et en produits agricoles et aquacoles, de nombreux conflits fonciers apparaissent sur le territoire vietnamien. L'agrivoltaïsme et l'aquavoltaïsme ont un rôle à jouer face à ces nouvelles problématiques foncières. Dans le cadre de la coopération bilatérale entre l'Allemagne et le Vietnam, le Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) - agence de coopération

28 <https://www.populationdata.net/pays/viet-nam/>

29 <https://vietnam.vnanet.vn/french/le-vietnam-confirme-son-statut-de-pole-mondial-de-la-production-de-crevettes/274670.html>

30 <http://www.guidedesespeces.org/fr/pangasius-panga>

internationale de l'Allemagne – a fait appel au Fraunhofer-Gesellschaft ISE pour faire une étude sur les possibilités du photovoltaïque au-dessus des bassins d'élevages de la crevette et du pangasius. Le projet est fait en partenariat avec le Viet Uc Seafood, l'université Nong Lam et l'institut vietnamien de l'énergie. Le projet de recherche SHRIMPS (Solar-Aquaculture Habitats as Resource-Efficient and Integrated Multilayer Production Systems) fait suite à une première étude de pré-faisabilité sur la combinaison entre photovoltaïque et élevage de crevette.

Le projet SHRIMPS se divise en trois étapes sur la période 2019-2022. Dans un premier temps des simulations de petits systèmes photovoltaïques combinés avec l'aquaculture ont été réalisées afin d'estimer les interactions entre l'activité énergétique et l'activité piscicole. La deuxième étape consiste en la construction de deux sites expérimentaux le long du bassin supérieur du Mékong et de son delta :

- La première installation photovoltaïque d'un MégaWatt est située à Bac Liêu et est installée sur une serre au-dessus d'un bassin d'élevage de crevettes. Elle doit réduire les émissions de CO₂ de près 15 000 tonnes par an et diminuer de 75 % la consommation en eau par rapport à un élevage classique. Le dispositif permettra d'améliorer les conditions de travail des employés (production d'ombre et d'abri face aux précipitations), de protéger les crevettes des prédatons extérieures, d'assurer une température de l'eau stable évitant ainsi la surchauffe tout en produisant une énergie durable pour l'espace rural.
- La deuxième installation d'une capacité de 400 kW recouvre en hauteur un bassin d'eau douce où sont élevés des pangasius. L'installation photovoltaïque doit pouvoir réduire l'évaporation et protéger les poissons des oiseaux prédateurs.

Après analyse des résultats et vérification de la faisabilité technique et économique, la troisième étape du programme consiste en la recherche du dispositif le plus adapté aux petites et moyennes exploitations aquacoles afin de pouvoir lancer la commercialisation à l'échelle mondiale.

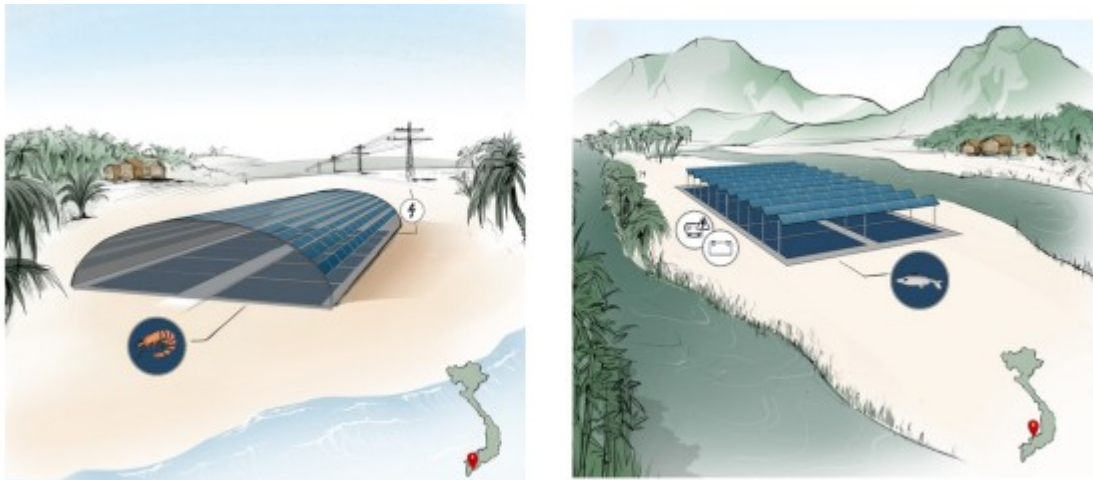


Illustration 7 : Schéma des deux sites expérimentaux du projet SHRIMPS (Source : Fraunhofer-Gesellschaft ISE, <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/news/2019/aqua-pv-project-shrimps-combines-aquaculture-and-photovoltaics.html>)

Plusieurs bénéfices des systèmes aquavoltaïsme ont déjà pu être relevés par les chercheurs. Les installations permettent une augmentation de la productivité globale grâce à la double utilisation des surfaces. Elles permettent de réduire la consommation en eau grâce à une protection contre l'évaporation. Le photovoltaïque permet de réduire les émissions totales de carbone des exploitations tout en promouvant le développement économique des zones rurales situées près du delta du Mékong. Les installations d'aquavoltaïsme tiennent un rôle dans la résilience aux changements climatiques des plantes et animaux cultivés. Aussi, en assurant un développement économique de l'élevage de crevettes sous serres, l'aquavoltaïsme permet de réduire l'impact de la pêche traditionnelle sur les mangroves.

Pour l'instant, seuls des descriptifs des différentes étapes de la recherche ont été publiés par l'ISE³¹. Les résultats du projet SHRIMPS n'ont pas encore été fournis dans un article scientifique relatif aux questions énergétiques ou aquacoles, ce qui explique actuellement un manque de données sur les premiers résultats d'études.

31 <https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/news/2019/aqua-pv-project-shrimps-combines-aquaculture-and-photovoltaics.html> <https://www.rural21.com/francais/resultat-de-recherche/detail/article/giz-starts-solar-aquaculture-project-in-the-mekong-delta.html> // <https://www.ise.fraunhofer.de/en/business-areas/photovoltaics/photovoltaic-modules-and-power-plants/integrated-photovoltaics/agrophotovoltaics/aqua-pv.html> // <https://www.bmbf-client.de/en/projects/shrimps>

1.4. Le développement de l'aquavoltaïsme en France

En France aucune équipe de chercheurs n'est spécialisée dans les questions de l'aquavoltaïsme. Bien que l'INRAE de Montpellier tienne une place principale dans la recherche internationale sur l'agrivoltaïsme, les spécialités sont avant tout les cultures terrestres comme les vignes et les cultures maraîchères.

Malgré l'absence d'un axe de recherche sur l'aquavoltaïsme, plusieurs projets ont pu avoir vu le jour notamment en Dordogne conjointement avec une production d'esturgeons pour le caviar ou encore sur l'Île de la Réunion. Plusieurs énergéticiens comme REDEN Solar se sont lancés en interne sur la recherche des potentiels de l'aquavoltaïsme. La société Akuo Energy va même encore plus loin en ayant créé le concept de l'aquanergie®. Nous reviendrons sur ces projets d'aquavoltaïsme en troisième partie du mémoire.

Alors que la recherche scientifique internationale sur l'agrivoltaïsme se multiplie ces dernières années montrant des résultats majoritairement favorables pour l'activité agricole, de plus en plus d'installations se créent dans le monde. Ainsi, nous allons maintenant nous intéresser aux politiques européennes sur le développement des énergies renouvelables et à la réglementation française relative au développement de l'agrivoltaïsme.

PARTIE 2 : LES POLITIQUES ET RÉGLEMENTATIONS EUROPÉENNES ET FRANÇAISES SUR L'AGRIVOLTAÏSME, FACE À UNE ACTIVITÉ QUI PEUT SOULEVER DES OPPOSITIONS DE TYPE NIMBY :

1. Les politiques européennes et françaises sur le développement des énergies renouvelables et notamment sur le photovoltaïsme et l'agrivoltaïsme

L'agrivoltaïsme ne fait pas encore l'objet d'une loi spécifique à l'échelle européenne et française. Les mesures politiques concernant ce type de dispositif s'intègrent dans le domaine plus large du développement des énergies renouvelables. Les directives européennes et les lois françaises sur les énergies renouvelables répondent aux accords et conventions internationales sur la lutte contre les changements climatiques et le développement durable.

1.1. Rappel du contexte politique international :

En 1972, le Club de Rome – groupe de réflexion international fondé en 1968 et composé de scientifiques, d'économistes, de hauts fonctionnaires et d'industriels – publiait le rapport Meadows dans lequel est dénoncé la croissance économique et la démographique exponentielle. Alors que l'utilisation de l'énergie fossile explose, le Club de Rome met en garde sur l'épuisement des ressources disponibles à la surface de la Terre. Les chocs pétroliers des années 70 ont mis en valeur la dépendance énergétique de nombreux pays et le besoin de réfléchir à de nouvelles sources d'énergie plus respectueuses de l'environnement et des ressources naturelles.

À l'occasion du Programme des Nations Unies pour l'Environnement, créé en 1972 lors de la conférence des Nations unies sur l'environnement de Stockholm, la commission Brundtland a publié en 1987 le rapport « Notre avenir à tous » qui fournit la notion du développement durable. Celle-ci se définit comme un développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Le rapport Brundtland fut le support de la conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement, appelé plus couramment le sommet de la terre de Rio.

Ce sommet s'est déroulé en juin 1992 à Rio de Janeiro et a réuni 189 pays et 120 chefs d'états autour des questions liées à l'environnement et au développement durable. Il a abouti sur trois grandes conventions : la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), la convention sur la diversité biologique et la Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification.

La CCNUCC se donne pour objectif celui de prévoir ou d'atténuer les causes du changement climatique tout en limitant les effets néfastes (PELLECUER B., 2015). 154 États et la Commission européenne se sont engagés à stabiliser voire à limiter les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cette convention est entrée en vigueur en 1994 et les différents états signataires se réunissent chaque année au sein des Conférences des Parties (COP).

La CCNUCC a aboutit en 1997 à la signature du protocole de Kyoto, traité international sur la réduction des émissions de six gaz à effet de serre (le dioxyde de carbone, le méthane, deux halocarbures (HFC et PFC), l'oxyde nitreux, l'hexafluorure de soufre). Ce traité a pour objectif de diminuer d'au moins 5 % les GES émis par les pays industrialisés pour la période 2008-2012, par rapport aux niveaux de 1990. Le protocole est entré en vigueur en février 2005 suite à la ratification de la Russie, puisqu'il fallait que 55 pays développés et émettant au total plus de 55 % des émissions de GES en 1990 le signe. Alors que le protocole engageait 37 pays industrialisés en 1997, il est aujourd'hui ratifié par 196 parties (195 pays et la Commission européenne). Les États-Unis, premier émetteur de GES en 1990, ont signé le protocole mais ne l'ont pas ratifié. Le Canada s'est retiré du protocole en 2010 par peur des sanctions financières si l'objectif de réduction n'est pas tenu. L'objectif du protocole n'a pas été atteint à l'échelle mondiale puisque les principaux émetteurs de GES ne se sont pas engagés dans le protocole de Kyoto et les pays en développement, comme la Chine, n'étaient pas concernés. Une deuxième phase d'engagement a été élaborée en décembre 2012 à l'occasion du sommet de Doha pour la période de 2013-2020.³²

Le protocole de Kyoto a reconnu l'importance de l'agriculture pour le stockage de carbone grâce à la biomasse et à la séquestration du carbone dans le sol (PELLECUER

32 <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/protocole-de-kyoto#notes> ; <https://www.geo.fr/environnement/protocole-de-kyoto-enjeux-et-bilan-193595>

B., 2015). L'Union Européenne a pris pour engagement de réduire de 8 % les émissions de gaz à effet de serre. La France a elle indiqué vouloir stabiliser ses émissions, déjà peu élevées par rapport aux autres pays en raison de l'importance du parc nucléaire, au niveau du seuil de l'année 90. ²⁴

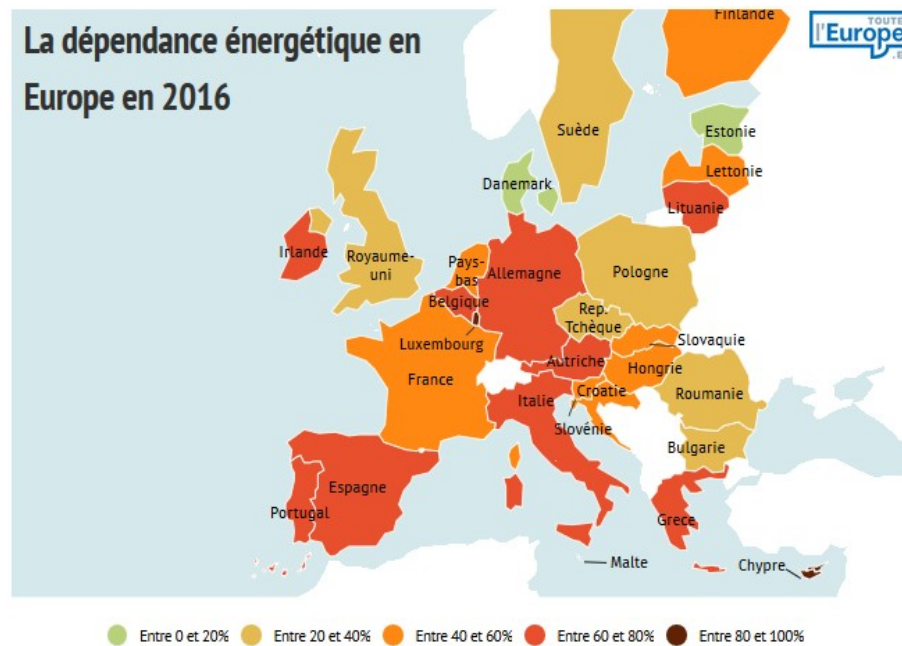
À l'occasion de la 21^{ème} Conférence des parties, qui s'est tenue en 2015 en France, 195 États et la Commission européenne se sont engagés dans le cadre de l'accord de Paris à contenir d'ici 2100 le réchauffement global du climat sous la barre de 2°C, voire de 1,5°C, par rapport aux niveaux préindustriels. Cet accord fait suite aux engagements pris en 2009 lors de la conférence de Copenhague. Il est entré en vigueur en novembre 2016.

Limiter les émissions de GES et le changement climatique passe notamment par une réflexion sur les énergies renouvelables. Afin d'atteindre les objectifs des accords internationaux, l'Union Européenne met en place un ensemble de programmes et directives auquel les pays membres sont chargés de faire appliquer sur leur territoire.

1.2. Les objectifs généraux pour le développement des énergies renouvelables dans les politiques européennes :

L'Europe est un continent majoritairement dépendant aux énergies fossiles en raison des faibles réserves d'hydrocarbures dans son sol. Tout type d'énergies comprises, l'UE dépend des importations pour un peu plus de la moitié de sa consommation d'énergie, avec une dépendance qui a augmenté de près 10 % entre les années 90 et 2016 (Illustration 8).³³ Pour cette raison, la question du développement des énergies renouvelables est présente depuis sa création. Entré en application en 1958 à la suite du Traité de Rome, le traité sur le fonctionnement de l'UE précise dans sa troisième partie sur les politiques et actions internes de l'Union que la politique relative à l'énergie a pour vocation de promouvoir le développement des énergies nouvelles et renouvelables afin de les intégrer dans la nouvelle organisation du marché (Article 194 : Illustration 9).

33 <https://www.touteurope.eu/actualite/la-dependance-energetique-europeenne.html>



Données : Eurostat, 2018

Illustration 8: De nombreux pays de l'Union européenne sont dépendants en matière d'énergie (Source : Toute l'Europe.EU, « La dépendance énergétique européenne », <https://www.touteurope.eu/actualite/la-dependance-energetique-europeenne.html>)

1. Dans le cadre de l'établissement ou du fonctionnement du marché intérieur et en tenant compte de l'exigence de préserver et d'améliorer l'environnement, la politique de l'Union dans le domaine de l'énergie vise, dans un esprit de solidarité entre les États membres:
 - a) à assurer le fonctionnement du marché de l'énergie;
 - b) à assurer la sécurité de l'approvisionnement énergétique dans l'Union;
 - c) à promouvoir l'efficacité énergétique et les économies d'énergie ainsi que le développement des énergies nouvelles et renouvelables; et
 - d) à promouvoir l'interconnexion des réseaux énergétiques.
2. Sans préjudice de l'application d'autres dispositions des traités, le Parlement européen et le Conseil, statuant conformément à la procédure législative ordinaire, établissent les mesures nécessaires pour atteindre les objectifs visés au paragraphe 1. Ces mesures sont adoptées après consultation du Comité économique et social et du Comité des régions. Elles n'affectent pas le droit d'un État membre de déterminer les conditions d'exploitation de ses ressources énergétiques, son choix entre différentes sources d'énergie et la structure générale de son approvisionnement énergétique, sans préjudice de l'article 192, paragraphe 2, point c).
3. Par dérogation au paragraphe 2, le Conseil, statuant conformément à une procédure législative spéciale, à l'unanimité et après consultation du Parlement européen, établit les mesures qui y sont visées lorsqu'elles sont essentiellement de nature fiscale.

Illustration 9 : Article 194 du Traité sur le fonctionnement de l'Union Européenne entrée en vigueur le 1^{er} janvier 1958 (Source : https://www.doctrine.fr/l/traité-fonctionnement-union-europeenne/article-194/UE_TFUE_194)

En 1997, la Commission européenne publie le livre blanc « Énergie pour l'avenir : les sources d'énergie renouvelable »³⁴. L'Union européenne prend alors l'objectif de développer les énergies renouvelables afin de satisfaire au moins 12 % des besoins de consommation d'énergie et 22,1 % des besoins de consommations d'électricité pour l'année 2010. Ce livre blanc aboutit en 2001 à la directive 2001/77/CE relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelable sur le marché intérieur de l'électricité. Elle sera modifiée le 23 avril 2009 par la directive 2009/28/CE qui fixera l'objectif d'obtenir 20 % d'énergie renouvelable dans la consommation énergétique européenne d'ici à 2020.³⁵ En 2001, la CE a constitué le programme européen sur le changement climatique qui permet de présenter la stratégie pour atteindre les engagements du protocole de Kyoto. Le livre vert « une stratégie européenne pour une énergie sûre, compétitive et durable » traitant de la politique européenne de l'énergie fut rédigé en 2006 et propose en premier rang le développement des énergies renouvelables.

En 2008, afin d'atteindre les engagements relatifs à la lutte contre les changements climatiques, l'UE a élaboré un plan d'action appelé paquet Énergie-Climat constitué des objectifs 3 fois 20 pour l'horizon 2020 : faire passer à 20 % la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique, réduire de 20 % les émissions de gaz à effets de serre dans les pays de l'UE par rapport aux niveaux de 1990 et augmenter de 20 % l'efficacité énergétique. En 2014, le paquet Énergie-Climat fut révisé par le CE afin d'étendre les objectifs pour 2030 : réduire de 40 % les émissions de GES par rapport au niveau de 1990, développer pour 27 % la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique finale, améliorer l'efficacité énergétique de 30 %.³⁶ (PELLECUER B., 2015)

En 2016, la CE a présenté une nouvelle politique : le paquet «Une énergie propre pour tous les Européens». Ce paquet a abouti en 2018 à la refonte de la directive sur les énergies renouvelables de 2009 afin d'atteindre l'objectif de l'accord de Paris sur les émissions de GES. Les objectifs du paquet Énergie-Climat ont été augmentés avec une

34 <http://www.cnrs.fr/ComiHistoCNRS/IMG/pdf/livreblanc.pdf>

35 <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fr/sheet/70/energies-renouvelables>

36 <https://www.touteleurope.eu/actualite/emissions-de-co2-marche-carbone-comment-l-union-europeenne-tente-de-lutter-contre-le-changement-cl.html>

part de 32 % d'énergie renouvelable et une amélioration de l'efficacité énergétique d'au minimum 32,5 %. La directive fixe des objectifs différents pour chaque pays en fonction des possibilités existant pour produire des énergies renouvelables sur le territoire. Les États membres sont chargés de rédiger tous les deux ans un rapport pour montrer les progrès réalisés.³⁷ Ils avaient obligation de transmettre un « plan national intégré en matière d'énergie et de climat » pour le 31 décembre 2019 afin de présenter les stratégies nationales pour atteindre les objectifs européens. De nouveaux rapports devront être rédigés tous les 10 ans afin de définir la politique pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050, comme voulu par la commission Von der Leyen dans son pacte vert de décembre 2019³⁸. Le 15 janvier 2020, le parlement européen a voté la réduction de 55 % des émissions de GES pour 2030 afin d'atteindre zéro émission en 2050.

Pour les secteurs économiques non couverts par le marché du carbone européen, comme l'agriculture, la CE a fixé en 2008 un objectif de réduire de 10 % des émissions de GES d'ici 2020 par rapport à l'année 2005. L'objectif a été revu à la hausse en 2014 passant à une réduction de 30 % pour la période 2021-2030. En 2018, le Parlement européen a élaboré un règlement sur l'utilisation des terres et le changement d'affectation des terres et de la foresterie. Il réclame aux États membres de compenser les émissions provenant de l'utilisation des sols par une réduction équivalents des émissions de GES dans l'atmosphère.^{39,40}

En 2017, la part des énergies renouvelables dans la consommation totale d'énergie de l'UE représentait près de 17,5 %, montrant ainsi que l'UE était en bonne voie pour atteindre l'objectif de 20 % pour 2020 issue de la politique du paquet Énergie-climat de 2008. Cependant, il existe de fortes inégalités entre les différents pays. Certains ont réussi à dépasser leurs objectifs comme la Croatie ou la Suède pendant que

37 <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/fr/sheet/70/energies-renouvelables>

38 <https://www.france24.com/fr/20191211-avec-son-pacte-vert-europ%C3%A9en-ursula-von-der-leyen-verse-la-neutralit%C3%A9-carbone-en-2050>

39 <https://www.touteleurope.eu/actualite/emissions-de-co2-marche-carbone-comment-l-union-europeenne-tente-de-lutter-contre-le-changement-cl.html>

40 Règlement n°2018/841 du 30 mai 2018: https://aida.ineris.fr/consultation_document/40820

d'autres sont encore très loin comme la France ou l'Angleterre (voir le schéma interactif sur le site toute l'Europe.EU, « Les énergies renouvelables dans l'UE », <https://www.touteurope.eu/actualite/les-energies-renouvelables-dans-l-ue.html>).

Comme nous avons ainsi pu le voir, l'UE est chargée de fixer des objectifs généraux permettant le développement des énergies renouvelables. Bien que l'agriculture soit une compétence européenne, l'agrivoltaïsme n'est pour l'instant pas au cœur des politiques de l'UE. Nous allons maintenant s'intéresser au cas français pour étudier comment les objectifs européens sont intégrés dans les politiques nationales sur les énergies renouvelables et observer comment est interprété l'agrivoltaïsme au sein du mix énergétique.

1.3. Vers une transition énergétique à l'échelle des politiques françaises, dans laquelle intervient l'agrivoltaïsme :

La loi n°2001-153 du 19 février 2001 a considéré comme priorité nationale la lutte contre l'effet de serre et la prévention des risques liés au réchauffement climatique. Cette loi a permis la création de l'observatoire national sur les effets du réchauffement climatique. En 2004, la France a établi son premier plan climat, pour la période 2004-2012, afin de fixer les actions permettant d'atteindre l'objectif national issu du protocole de Kyoto : stabiliser les émissions de GES d'ici 2012 par rapport au niveau de 1990. Le plan climat a remplacé le programme national de lutte contre le changement climatique engagé depuis 2000.

Dans la loi du 13 juillet 2005 de Programmation fixant les Orientations de la Politique Énergétique, dit loi POPE, la France s'est engagée « à diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 » (PELLECUER B., 2015). La loi fixe quatre axes de développement disposant des objectifs chiffrés pour améliorer l'efficacité énergétique : la maîtrise de l'énergie avec une diminution de la consommation de 2 % par an d'ici 2015 puis de 2,5 % par an d'ici 2030, la diversification du mix énergétique en proposant au moins 10 % d'énergies renouvelables pour 2010 avec une part de 21 % pour le secteur de l'électricité, le développement de la recherche et de l'innovation dans le secteur énergétique et la maîtrise des moyens de transport et de

stockage adaptés aux besoins (loi n°2005-781, Journal Officiel, paru le 14 juillet 2005). La loi POPE instaure plusieurs dispositifs nouveaux dont les certificats d'économies d'énergie qui permettent de financer les travaux d'économie d'énergie, les zones pour le développement de l'éolien, le plan « face sud » ayant pour objectif l'installation dans le secteur du bâtiment de 200 000 chauffe-eaux solaires et 50 000 toits photovoltaïques avant l'année 2010, ainsi que le plan « Terre énergie » avec pour objectif d'augmenter de 50 % l'énergie par biomasse d'ici 2010.

En 2008 puis 2011, deux plans nationaux d'actions divisés en secteurs économiques sont lancés sur la problématique de l'efficacité énergétique. Mais c'est surtout le Grenelle de l'environnement qui s'est déroulé en 2007 et a abouti aux lois Grenelles qui va marquer une grande avancée sur le développement des énergies renouvelables en France. La Loi Grenelle 1 « loi de programmation de la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement », approuvée en 2009, a décrit les objectifs sectoriels pour lutter contre le réchauffement climatique. Elle propose de développer les énergies renouvelables afin qu'elle représente 29 % de la consommation d'énergie d'ici 2020. La loi Grenelle 2, dite « loi portant engagement national pour l'environnement », promulguée le 12 juillet 2010, a permis de décliner et d'harmoniser les outils de planification aux différentes échelles territoriales. Entre autres, cette loi permet l'élaboration des Schémas Régionaux du climat, de l'air et de l'énergie (SRCAE), ou encore les Plans Climat Énergie Territorial (PCET).

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, l'objectif facteur 4 a été voté après avoir été exprimé par le Président et le Premier ministre en 2003 devant la communauté internationale. Présenté dans la loi Grenelle 1, le facteur 4 constitue un engagement national visant à diviser par quatre les émissions de GES pour l'horizon 2050 par rapport aux niveaux de 1990. Atteindre le facteur 4, nécessite un important développement des énergies renouvelables même si l'engagement ne possède pas d'objectif précis. La loi Grenelle 2 a aussi autorisé l'aménagement et l'exploitation des installations de production d'électricité pour les collectivités locales.

La loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, proposée en 2014 par le gouvernement français, est approuvée le 17 août 2015 et publiée dans le

journal officiel le 18 août 2015, soit quelques mois seulement avant l'accueil à Paris de la 21^{ème} Conférence des Parties sur le changement climatique. Cette loi ambitieuse définit le modèle de transition énergétique qui consiste « à préparer l'après-pétrole tout en instaurant un nouveau modèle énergétique français plus robuste et plus durable face aux enjeux d'approvisionnement en énergie, à l'évolution des prix, à l'épuisement des ressources et aux impératifs de la protection de l'environnement ». Cette loi fixe des objectifs significatifs pour réduire les consommations énergétiques et développer les énergies renouvelables grâce notamment à une simplification des procédures. Le principal objectif sur les énergies renouvelables est d'atteindre un taux de couverture de 32 % de la consommation énergie finale brute pour l'horizon 2030 tout en réduisant la consommation en énergie fossile de 30 %. En ce qui concerne les énergies éoliennes, solaires et hydrauliques, l'objectif est de fournir 27 % d'électricité d'ici 2023 et 40 % pour l'horizon 2030 dans la consommation total d'électricité.⁴¹(ADEME, 2018)

L'article 176 de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a instauré la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), document stratégique permettant de fixer les priorités d'actions. La PPE contient sept volets dont celui sur « le développement de l'exploitation des énergies renouvelables et de récupération ». Elle détaille les possibilités pour développer chaque type d'énergie sur le territoire métropolitain et dans les zones non-interconnectés afin d'atteindre l'objectif national d'avoir une part de 23 % d'énergie renouvelables dans la consommation finale brute d'énergie d'ici 2023. ⁴² La PPE vise une capacité d'énergie solaire compris entre 18,2 GW et 20,2 GW pour 2023. (ADEME, 2018)

Afin d'atteindre les différents objectifs des politiques nationales sur les énergies renouvelables, plusieurs groupes de travail ministériel ont été lancés entre 2017 et 2019. Sébastien Lecornu, secrétaire d'État à la transition écologique, a ainsi mis en route en mars 2018 un groupe de travail spécialisé sur l'énergie solaire réunissant des élus locaux, des professionnels de la filière (EDF, ENGIE et Total) et des services de l'État. Ce

41 <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/loi-transition-energetique-croissance-verte>

42 <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/programmations-pluriannuelles-lenergie-ppe>

groupe de travail a abouti en juin 2018 à la rédaction du rapport « Place au Soleil »⁴³, plan de libération des énergies renouvelables et de l'accélération au déploiement de l'énergie solaire (photovoltaïque et solaire thermique). Il a pour vocation de mobiliser l'ensemble des acteurs pouvant participer au développement de l'énergie solaire propose un ensemble de mesures et d'engagements divisés en trois catégories : le secteur du bâtiment, le déploiement dans les territoires (avec la mobilisation du ministère des armées qui s'engagent à fournir plus de 2000 hectares de terrains pour des projets de centrales photovoltaïque avant 2025, la mobilisation de la grande distribution proposant de développer les ombrières photovoltaïques pour parking et le photovoltaïque sur toiture, la mobilisation de la SNCF pour valoriser en énergie solaire les friches/toitures/parking, la mobilisation des collectivités territoriales avec la création des labels villages/villes solaires et départements solaires) et le secteur agricole.

S'appuyant du rapport de l'ADEME de 2018, « Agriculture et énergies renouvelables : contributions et opportunités pour les exploitations agricoles. » qui fournit une définition de l'agrivoltaïsme, le plan « Place au Soleil » est le premier document national à intégrer ce dispositif et à fixer des engagements pour son développement sur le territoire français. La mesure 15 de la partie territoire prévoit une simplification des études d'impacts et des règles d'urbanisme pour accélérer les constructions de serres photovoltaïques. Dans la partie traitant les engagements pour le secteur agricole, la première mesure propose « l'augmentation de 30 % des volumes d'appels d'offres pour l'agrivoltaïsme qui permet une synergie entre production solaire et production agricole, grâce à un pilotage dynamique des panneaux solaires sur des serres solaires et pour les autres projets innovants » (voir l'encadré dans la partie réglementation).

Sur la question du développement des énergies renouvelables, la dernière loi entrée en application est celle du 8 novembre 2019 : la loi n°2019-1147 relative à l'énergie et au climat. Cette dernière a permis de fixer un nouvel objectif, celui d'obtenir une part de 33 % d'énergie renouvelable dans le mix énergétique et une part de 40 % d'énergie renouvelable pour l'électricité pour 2030.

43 https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2018.06.28_DP_Mobilisation_PlaceAuSoleil.pdf

Alors que les politiques françaises sur le développement des énergies renouvelables commencent juste à intégrer l'agrivoltaïsme, il paraît intéressant de se pencher sur la réglementation existant sur la création d'installations où le photovoltaïque est conjoint à la production agricole.

2. Une réglementation encore floue sur l'agrivoltaïsme :

Bien qu'à l'échelle de l'UE, l'agriculture constitue un axe majeur avec la Politique Agricole Commune mise en place depuis 1962 suite au Traité de Rome de 1957, l'agrivoltaïsme ne fait pas l'objet d'une politique et d'une réglementation européenne. Chaque pays membre est chargé, à partir des décisions européennes, de développer les énergies renouvelables en cohérence avec les caractéristiques de leur territoire. Nous allons ainsi ici nous intéresser à la réglementation de l'agrivoltaïsme à l'échelle française. Dans un premier temps, nous analyserons les généralités concernant tout type de projet puis nous réaliserons deux catégories pour voir les cas particuliers : d'un côté les centrales au sol et installations en hauteur, de l'autre les serres photovoltaïques.

2.1. Cadre réglementaire général sur les installations photovoltaïque dans le secteur agricole :

L'installation de panneaux solaires, directement au sol ou sur une toiture de serre ou d'un hangar, fait l'objet d'un dispositif de soutien de l'État pour l'achat de l'électricité. Deux formes existent :

- les tarifs d'achats en guichet ouvert pour les installations sur bâtiment d'une puissance installée inférieure à 100 kWc (seuil qui pourrait passer à 300 kWc en 2021 suite aux annonces d'Élisabeth BORNE pendant le salon international de l'agriculture 2020) avec une obligation d'achat au-delà de 3 kWc.

- les procédures de mise en concurrence sous forme d'appels d'offres pour les installations avec une puissance installée supérieure à 100 kWc.

Depuis 2018, il existe un appel d'offre spécifique pour soutenir les projets photovoltaïques innovants dans lesquels s'inscrivent l'agrivoltaïsme et l'aquavoltaïsme ainsi que les routes solaires et les centrales flottantes. (Voir l'encadré en dessous)

Depuis le Décret n°2016-687 du 27 mai 2016⁴⁴, les installations photovoltaïques ayant une puissance supérieure à 50 MWc sont soumises à autorisation d'exploiter. Elle est obtenue auprès du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire. En dessous de 50 MWc, les installations n'ont pas besoin d'autorisation selon le code de l'énergie. En cas de non-autoconsommation, pour le raccordement au réseau, la demande se fait auprès du Réseau de Transport d'Électricité (RTE) si la puissance est supérieure ou égale à 12 MWc. Pour les autres cas, la demande est gérée par Enedis. Le producteur d'électricité doit ensuite indiquer son choix : injection de l'ensemble de la production au réseau ou injection de surplus après autoconsommation. Selon les régions, les installations de plus de 100 kW sont soumises à un quote-part comme définie au sein du Schéma Régional de Raccordement au Réseau Électrique des Énergies Renouvelables (S3REnR). (DREAL Grand Est, octobre 2018)

En respect de l'article D342-19 du Code de l'énergie, les installations photovoltaïques de puissance inférieure à 250 kWc doivent réaliser une attestation de conformité électrique avant d'être mise en service auprès du Comité National pour la Sécurité des Usagers de l'Électricité (CONSUEL). Pour celle de plus de 250 kWc, elles doivent obtenir un certificat auprès d'un organisme agréé chargé du contrôle de conformité avant le commencement d'activité pour s'assurer qu'aucun risque électrique ne peut survenir.⁴⁵

- Le fonctionnement des appels d'offres pour l'installation de centrales photovoltaïques au sol et pour les dispositifs d'agrivoltaïsme : (Source : Ministère de la transition écologique et solidaire, <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/solaire#e0>)

Les projets de centrales photovoltaïques d'une puissance supérieure à 100 kWc doivent passer par le dispositif d'appel d'offres lancé par la Commission de Régulation de l'Énergie. Auparavant, il existait deux catégories d'appel d'offres concernant à la fois les centrales au sol et les toitures : la première était un appel d'offre simplifié pour les installations avec une puissance comprise entre 100 et 250 kWc pendant que la

⁴⁴<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?categorieLien=id&cidTexte=JORFTEXT000032592512>

⁴⁵ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/solaire#e2>

deuxième traitait des installations disposant d'une puissance supérieure à 250 kWc. Depuis la réforme de 2016, il existe maintenant deux types d'appel d'offres tri-annuels pour la période 2017-2020 qui concernent tous projet d'une puissance installée supérieur à 100 kWc :

- appel d'offres pour les grandes centrales au sol pour un volume total de 3000 MW divisé en deux tranches par année.

- appel d'offres pour les installations photovoltaïques sur toiture (hangar et serre) avec une capacité totale de 1450 MW divisé en trois tranches par an.

En plus de ces nouveaux appels d'offres, l'État a mis en place des dispositifs de soutien dont le complément de rémunération pour les producteurs sous forme d'une prime annuelle complémentaire à la vente électricité.

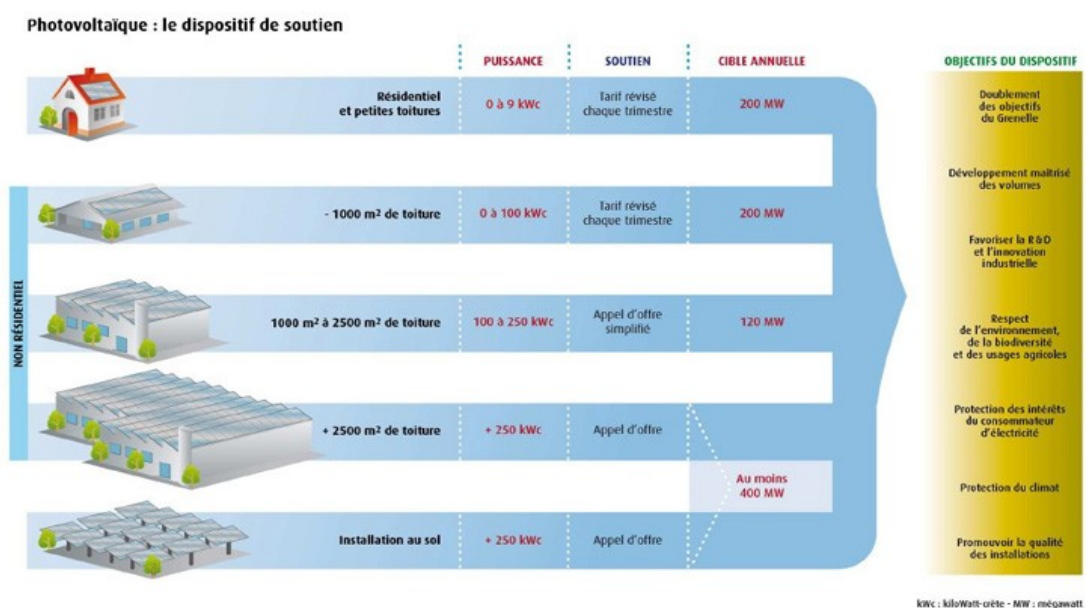


Illustration 10: Le dispositif de soutien mis en place par l'Etat (avant la réforme de 2016). (Source de l'image: chambre d'agriculture de l'Ile de France, <http://www.ile-de-france.chambagri.fr/pro77/innovation-energie-photovoltaïque>)

En 2018, pour mieux prendre en compte les projets d'agrivoltaïsme et tout autre projet innovant sur le solaire, la Commission de Régulation de l'Énergie a mis en place un nouvel appel d'offres pluriannuelles spécifique. La première période a permis de sélectionner 50 projets divisés en quatre familles : innovation de composants et d'intégration ; innovation de système ; innovation liée à l'optimisation et à l'exploitation électrique de la centrale ; agrivoltaïsme. La deuxième période de l'appel d'offre en 2019 a été simplifiés avec plus que deux familles : les installations innovantes au sol avec

une puissance installée entre 500 kWc et 5 MWc ; les installations innovantes sur bâtiment avec une puissance installée entre 100 kWc et 3 MWc. Pour cette seconde période, 39 projets ont été lauréats pour un volume total de 104 MWc, avec plus de 40 MWc pour les projets d'agrivoltaïsme.

Considéré comme des projets solaires innovants au sein de l'appel d'offre de la CRE, on observe qu'aujourd'hui, il n'existe pas de réglementation française spécifique aux installations agrivoltaïques. Pour étudier l'aspect foncier, nous sommes obligés de réaliser deux catégories en raison d'une réglementation différente. La première concerne les centrales au sol. Nous ajoutons les installations en hauteur, en prenant comme hypothèse que les piliers des structures sont considérés de la même manière qu'une centrale au sol. La deuxième catégorie concerne les serres photovoltaïques dont l'aspect juridique se rapproche des installations sur toiture.

2.2. Les centrales photovoltaïques au sol conçues avec objectif agricole et les installations agrivoltaïque en hauteur :

2.2.1. Réglementations relatives aux questions d'urbanisme :

2.2.1.1. Une réglementation prévue pour préserver les terrains agricoles face aux projets de centrales photovoltaïques au sol :

Les projets d'implantation d'une centrale photovoltaïque au sol doivent être compatible avec les documents d'urbanisme en vigueur sur la commune. Si le projet se situe dans une zone N n'ayant pas de protection spécifique pour la qualité des sites, des milieux naturels et des paysages ou ne disposant pas d'intérêt écologique particulier/d'intérêt pour l'exploitation forestière et si l'installation admet une puissance inférieure ou égale à 12 MW, les élus peuvent lancer une procédure de la modification simplifiée du PLU (Art R. 123-20-1 du Code de l'urbanisme).

La réglementation française réduit les possibilités de construction de centrales photovoltaïques au sol sur des zones agricoles. Le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer a précisé les consignes dans la Circulaire du 18 décembre 2009 sur le développement et le contrôle des centrales photovoltaïques au sol

(Illustration 11)⁴⁶. Il fut adressé aux préfets de régions et de départements suite à la mise en application du décret n°2009-1414 du 19 novembre 2009 relatif « aux procédures administratives applicables à certains ouvrages de production d'électricité ». Dans cette circulaire, le gouvernement affirme l'importance de développer l'énergie photovoltaïque. Ceci doit se faire en priorité sur les toitures de bâtiment afin de « favoriser des solutions esthétiques respectueuses des paysages et de l'architecture, évitant l'immobilisation de surfaces supplémentaires et, partant, les conflits d'usage ». L'État ne néglige pas les centrales photovoltaïques au sol puisqu'elles permettent d'assurer un développement rapide et significatif de la production d'électricité permettant ainsi une plus grande émergence de la filière industrielle sur l'énergie solaire en France (argument qui sera aussi décrit dans la programmation pluriannuelle de l'énergie). Cependant, la construction d'une centrale au sol doit se faire d'une façon organisée. Il est demandé aux préfets de veiller à ce qu'elles ne soient pas installées sur des zones agricoles, cultivés ou utilisés pour l'élevage. Cependant, l'état autorise les centrales solaires au sol sur des zones classés agricoles dans le cas où le terrain n'a « pas fait l'objet d'un usage agricole dans une période récente ». Le projet photovoltaïque nécessite alors une modification de la destination des zones concernées dans le document d'urbanisme.

Tout en favorisant le développement de ce type d'installation, vous porterez une attention particulière à la protection des espaces agricoles et forestiers existants ainsi qu'à la préservation des milieux naturels et des paysages. Les projets de centrales solaires au sol n'ont pas vocation à être installés en zones agricoles, notamment cultivées ou utilisées pour des troupeaux d'élevage.

Dès lors, l'installation d'une centrale solaire sur un terrain situé dans une zone agricole, dite zone NC des plans d'occupation des sols ou zone A des plans locaux d'urbanisme, ou sur un terrain à usage agricole dans une commune couverte par une carte communale, est généralement inadaptée, compte tenu de la nécessité de conserver la vocation agricole des terrains concernés. Toutefois, l'accueil d'installations solaires au sol peut être envisagé sur des terrains qui, bien que situés en zone classée agricole, n'ont pas fait l'objet d'un usage agricole dans une période récente. Une modification de la destination du terrain est alors nécessaire.

Illustration 11 : Extrait du Circulaire du 18 décembre 2009 relative au développement et au contrôle des centrales photovoltaïques au sol

46 https://www.bulletin-officiel.developpement-durable.gouv.fr/documents/Bulletinofficiel-0024005/met_20100002_0100_0024.pdf

✓ **Remarque N°1 sur les approximations réglementaires relatives aux centrales d'agrivoltaïsme au sol :**

Le Circulaire du 18 décembre 2009 a fixé une consigne essentielle sur le développement du photovoltaïque en France. La priorité doit se faire sur les toitures de bâtiments ou au sol au niveau des terres déjà artificialisées ou sur les friches indiquées comme à urbaniser dans les documents d'urbanisme. Cependant, le gouvernement autorise la construction de centrale au sol sur des terres agricoles dans le cas où les terrains n'ont pas fait l'objet d'un usage agricole depuis une période récente. Or, le circulaire qui en l'occurrence ne possède pas de valeur réglementaire, ne fixe pas de précision sur le nombre d'années. De même, une parcelle sans usage agricole depuis un certain temps n'indique pas automatiquement que la parcelle ne possède pas d'excellentes compétences agronomiques.

2.2.1.2. Les recommandations de l'ADEME en réponse au Circulaire du 18 décembre 2009 relative au développement et au contrôle des centrales photovoltaïques au sol :

En février 2010, l'ADEME a confirmé le circulaire de 2009 en soulignant la priorité de développer le photovoltaïque sur les toitures des bâtiments afin d'éviter toute concurrence pour l'usage du sol. Pour les centrales solaires au sol, l'ADEME recommande une réflexion globale menée à l'échelle du territoire et qui n'utilise pas des terres à usage agricole ou forestière. Si des centrales au sol doivent être construites, la priorité concerne les « zones déjà artificialisées ne présentant pas de conflit d'usage des sols : friches industrielles, anciennes carrières, sites présentant une pollution antérieure, zones industrielles ou artisanales... » (ADEME, 2010).

2.2.1.3. Des centrales photovoltaïque au sol autorisées quand l'activité agricole n'est pas incompatible : un notion juridique floue faisant objet d'incompréhension

Le 27 juillet 2010, la loi n°2010-874 de modernisation de l'agriculture et de la pêche fixe l'objectif de réduction de la consommation des espaces agricole et implique indirectement que les centrales au sol doivent être principalement construites sur des

secteurs artificialisés ou en friche, soit les zones U ou AU des PLU(i). Cependant, l'article L123-1 du Code de l'urbanisme, modifié par l'Ordonnance n°2012-11 du 5 janvier 2012, précise que « les constructions et installations nécessaires à des équipements collectifs peuvent être autorisées dans les zones naturelles, agricoles ou forestières dès lors qu'elles ne sont pas incompatibles avec l'exercice d'une activité agricole, pastorale ou forestière du terrain sur lequel elles sont implantées et qu'elles ne portent pas atteintes à la sauvegarde des espaces naturels et des paysages ».

Un arrêt du 23 octobre 2015 de la Cour administrative d'appel de Nantes déclare que les centrales solaires au sol admettent pour fonction la production d'électricité permettant ainsi d'assurer la satisfaction d'un intérêt public. Les centrales au sol peuvent donc être considérées comme des installations nécessaires à des équipements collectifs au titre de l'article L123-1 du Code de l'urbanisme.⁴⁷

La décision du Conseil d'État du 8 février 2017, indique cependant que la construction d'une centrale au sol sur zone agricole doit se faire par appréciation des activités effectivement exercées, ou qui auraient vocation à s'y développer⁴⁸. Le Conseil d'État a annulé la décision du tribunal de Nantes en expliquant qu'une centrale au sol ne doit pas se faire sur une parcelle à fortes compétences agronomiques au profit d'une activité apicole qui n'a pas besoin des qualités du sol.

La loi n°2018-1021 du 23 novembre 2018 a modifié l'article L151-11 du Code de l'urbanisme (article créé par l'Ordonnance n°2015-1174 du 23 septembre 2015) afin de permettre au règlement du document d'urbanisme d'autoriser sur les zones agricoles, naturelles ou forestières, les constructions et installations concernées par l'ancien article L123-1 du même Code (article supprimé par l'Ordonnance n°2015-1174 du 23 septembre 2015). Ainsi, une centrale au sol non incompatible avec la production agricole actuelle ou avec un développement de l'activité agricole peut être autorisée ce qui permet ainsi la légalisation des projets d'agrivoltaïsme. Si nécessaire et selon l'étendue, une révision, modification ou modification simplifiée du document d'urbanisme en vigueur peut être mise en œuvre pour autoriser un projet de centrale photovoltaïque au sol dans une zone

47 <http://www.arnaudgossement.com/archive/2015/11/02/solaire-une-centrale-au-sol-n-est-pas-necessairement-incompa-5710206.html>

48 <http://www.arnaudgossement.com/archive/2017/03/22/centrale-solaire-au-sol-et-zone-agricole-les-precisions-appo-5924409.html>

A si la compatibilité avec l'activité agricole a été démontrée dans un "mémoire technique sur la synergie avec l'usage agricole" pour l'appel d'offres sur les installations solaires innovantes. (Ministère de la Transition écologique et solidaire, Ministère de la cohérence des territoires et des relations avec les collectivités territoriales, « Guide : L'instruction des demandes d'autorisations d'urbanisme pour les centrales solaires au sol », 2020)

✓ **Remarque n°2 sur les sur les approximations réglementaires relatives aux centrales d'agrivoltaïsme au sol :**

La modification de l'article L123-1 du Code de l'urbanisme, par l'Ordonnance n°2012-11 du 5 janvier 2012, a permis de fixer une réglementation plus précise pour la construction de centrale au sol dans les zones agricoles en obligeant la compatibilité avec l'activité agricole. Cependant, l'article ne donne pas de précision sur comment l'activité agricole doit être prise en compte. Aucune réglementation dans le code de l'urbanisme interdit le changement de la production agricole sur une parcelle. Ainsi, une terre reconnue pour ses résultats agronomiques peut être transformée en une centrale au sol avec simplement de l'élevage sans ainsi compromettre l'activité agricole. Malgré la réponse du Conseil d'État au tribunal de Nantes, la compatibilité entre l'activité agricole et la centrale au sol n'assure pas la préservation du type de culture dépendant des caractéristiques du sol. Ainsi, il existe un risque d'observer un changement d'activité pour s'orienter vers une activité agricole plus minime et moins rentable.

2.2.1.4. Le régime d'autorisation d'urbanisme pour les centrales au sol :

En respect de l'article R 421-9 du Code de l'Urbanisme qui fut modifié par le Décret n° 2009-1414 du 19 novembre 2009 relatif « aux procédures administratives applicables à certains ouvrages de production d'électricité », les installations photovoltaïques possédant une puissance installée supérieure à 250 kWc doivent faire l'objet d'un permis de construire. Les centrales avec une puissance inférieure à 250 kWc ou celles avec une puissance inférieure à 3 kWc mais avec une hauteur au-dessus du sol supérieur à 1,80 mètre ainsi que les centrales inférieures à 3 kWc mais localisé dans un endroit protégé pour son patrimoine (article R. 421-11 du code de l'urbanisme : secteurs sauvegardés, site classé, réserves naturelles, territoire qui pourrait être classé

dans la zone cœur d'un futur parc national, cœur des parcs nationaux) peuvent être installées après déclaration préalable. Pour finir, il n'existe pas de formalités urbanistiques pour les installations au sol avec puissance inférieure à 3 kWc et avec une hauteur inférieure ou égale à 1m80 (Art R 421-2 du Code de l'Urbanisme, modifié suite au Décret n° 2009-1414 du 19 novembre 2009 relatif « aux procédures administratives applicables à certains ouvrages de production d'électricité »). (DREAL Grand Est, octobre 2018) (Illustration 12)

Puissance crête	P ≤ 3 kWc	3 kWc ≤ P ≤ 250 kWc	P > 250 kWc
Hors secteur protégé	Sans formalité si la hauteur de l'installation est inférieure à 180cm de hauteur (R. 421-2 CU)	Déclaration préalable (R. 421-9 CU)	Permis de construire (R. 421-1 CU) +Evaluation environnementale avec : 1. Une étude d'impact 2. L'avis de l'autorité environnementale 3. Une enquête publique (rubrique 30 de l'annexe à l'article R. 122-2 CEnv)
	Déclaration préalable au-delà de 180 cm de hauteur (R. 421-9 CU)		
En secteur protégé	Déclaration préalable (R. 421-11 CU)	Permis de construire (R. 421-1 CU)	

Illustration 12 : Le régime d'autorisation d'urbanisme en fonction de la puissance crête de la centrale photovoltaïque au sol. (Source : Ministère de la Transition écologique et solidaire, Ministère de la cohérence des territoires et des relations avec les collectivités territoriales, « Guide : L'instruction des demandes d'autorisations d'urbanisme pour les centrales solaires au sol », 2020)

Une autorisation d'urbanisme peut être nécessaire pour la construction des lignes électriques, des postes de raccordement ou des clôtures autour de la centrale. Si la centrale photovoltaïque au sol est envisagée au sein d'un secteur protégé (périmètre monument historique, site inscrit et classé, ZPPAUP) alors les Architectes des Bâtiments de France doivent émettre un avis sur le projet d'implantation.

2.2.1.5. Cas particulier des communes soumises à la loi littorale ou à la loi Montagne :

Dans les communes soumises à la loi Littoral, d'après l'article L 121-8 du code de l'urbanisme, la construction de centrales photovoltaïques au sol doit se faire en continuité avec les agglomérations et villages existants. Les installations photovoltaïques ne sont pas considérées comme des aménagements légers selon l'article R. 121-5 du Code de l'urbanisme. Les centrales au sol ne peuvent donc pas être installés dans les espaces remarquables du littoral mais les câbles nécessaires à l'installation peuvent être enterrés sous ces espaces s'il a démontré leur faible impact environnemental (Art L 121-25 du Code de l'urbanisme).

Pour le cas des communes soumises à la loi Montagne, les centrales photovoltaïques doivent être construites en continuité avec les bourgs, villages, hameaux, groupes de constructions traditionnelles ou d'habitations existantes (article L. 122-5 du Code de l'Urbanisme). L'article 122-7 autorise dans certains cas l'installation de centrales photovoltaïques en extérieur des zones urbanisées après la réalisation d'une étude de discontinuité circonstanciée qui doit être soumise à l'avis de la commission départementale de la nature, des paysages et des sites. Ce cas peut seulement se faire dans les communes couvertes par un PLU ou/et un SCoT. (Ministère de la Transition écologique et solidaire, Ministère de la cohérence des territoires et des relations avec les collectivités territoriales, « Guide : L'instruction des demandes d'autorisations d'urbanisme pour les centrales solaires au sol », 2020)



Illustration 13: Centrale au sol de Calmont, en Haute-Garonne, entretenu par un troupeau de moutons (Source: La Dépêche, 350 brebis remplacent les tondeuses sur l'immense parc de panneaux photovoltaïques de Calmont, 27 janvier 2020, <https://www.ladepeche.fr/2020/01/27/350-brebis-remplacent-les-tondeuses-sur-limmense-parc-de-panneaux-photovoltaïques-de-calmont.8690897.php>)

✓ **Remarque n°3 sur les sur les approximations réglementaires relatives aux centrales d'agrivoltaïsme au sol :**

Il n'existe aucune réglementation précise pour les installations en hauteur du type ombrières photovoltaïque. Ces installations sont promises à un fort développement à l'avenir site aux résultats de la recherche scientifique et notamment du programme Sun'agri. Cependant, d'après les articles en vigueur, on ne peut pas savoir si les installations en hauteur sont considérés comme une centrale au sol vue qu'en retrouve les piliers des ombrières ou si au contraire elles sont prises en compte comme une serre photovoltaïque. Peut-être aussi, les centrales en hauteur sont considérés à part des centrales au sol et des serres photovoltaïque, mais la réglementation n'existe pas encore aujourd'hui.

2.2.2. Réglementation en respect du Code de l'environnement et du Code rural et de la pêche maritime :

Le Décret n° 2009-1414 du 19 novembre 2009 relatif « aux procédures administratives applicables à certains ouvrages de production d'électricité » a entraîné l'ajout d'un ensemble de réglementations sur les centrales au sol en ce qui concerne les études d'impact et les enquêtes publique.

2.2.2.1. L'enquête publique, une obligation pour les projets de centrales au sol avec une puissance égale ou supérieure à 250 kWc :

Lorsque le projet de centrale photovoltaïque au sol admet une puissance installée égale ou supérieure à 250 kWc, une étude d'impact environnemental doit systématiquement être réalisée, sous la responsabilité du maître d'ouvrage (Art R 122-1 et Art R 122-2 du Code de l'environnement). Le contenu de l'étude est indiqué dans l'article R122-5. Dans le cas où l'implantation de la centrale avec puissance supérieure à 250 kWc se situe dans un site Natura 2000, au titre de la directive Oiseaux de 1979 ou de la directive Habitats-Faune-Flore de 1992, l'étude d'impact doit contenir une étude d'évaluation des incidences (Art R414-19). En respect de la directive cadre sur l'eau, elle doit s'intéresser aux risques érosifs et aux risques de ruissellement. Une fois la centrale au sol construite, l'entretien, la maintenance et la réparation ne sont plus soumis à étude

d'impact (Art R 122-2 du code de l'environnement). L'étude d'impact doit être soumise à l'autorité environnementale avant de pouvoir obtenir le permis de construire. (DREAL Grand Est, octobre 2018) (Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, Ministère de l'Économie, des finances et de l'industrie, « Installations photovoltaïques au sol : guide de l'étude d'impact », 2011)

2.2.2.2. Procédure pour les mesures compensatoires :

La réalisation d'une enquête publique est obligatoire pour tout projet de centrale au sol disposant d'une puissance égale ou supérieure à 250 kWc lors de la procédure de demande de permis de construire (Art L123-2 du Code de l'environnement). En plus de l'étude d'impact et de l'avis de l'autorité environnementale, les pièces et avis nécessaires pour l'enquête publique sont décrits au sein de l'article R 123-8 du code de l'environnement. Le déroulement de l'enquête publique doit durer entre 30 jours et deux mois, mais le commissaire enquêteur ou le président de la commission d'enquête peut faire prolonger l'enquête (Art R123-6). (DREAL Grand Est, octobre 2018)

2.2.2.3. Procédure pour les mesures compensatoires :

Comme indiqué dans l'article 28 de la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt du 23 octobre 2014, le Code rural et de la pêche maritime instaure l'obligation de réaliser une étude préalable pour l'ensemble des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements publics et privés susceptibles d'avoir des conséquences négatives importantes sur l'économie agricole (Art L112-1-3). Dans le cadre de cette étude, le maître d'ouvrage est en charge d'annoncer des mesures pour éviter et réduire les impacts des projets. Si ces derniers ne peuvent être évités ou réduits, des « mesures de compensation collective visant à consolider l'économie agricole du territoire » doivent être élaborées. Le décret n° 2016-1190 du 31 août 2016 relatif à « l'étude préalable et aux mesures de compensation prévues à l'article L. 112-1-3 du Code rural et de la pêche maritime » complète ce même Code aux articles de D112-1-18 à D112-1-22 en indiquant la nature des projets nécessitant une étude préalable et susceptibles de mettre en place des mesures de compensation.

D'après l'article D112-1-18, si l'installation concerne une zone agricole du document d'urbanisme en vigueur, que le terrain est ou a été affecté par une activité

agricole dans les cinq années précédant la date de dépôt du dossier d'autorisation de construire et que la surface prélevée par l'installation est supérieure ou égal au seuil fixé par défaut à 5 hectares alors le projet est concerné par l'étude préalable avec mise en place de mesures éviter, réduire, compenser.

2.3. Les serres photovoltaïques :

Bien que la réglementation pour les installations photovoltaïques sur une serre soit identique à celle relative aux installations sur toiture des bâtiments, les serres photovoltaïques peuvent entrer dans une démarche d'agrivoltaïsme lorsque l'installation des panneaux, mobiles ou dynamiques, est réfléchiée en fonction des besoins en lumière des plantes cultivées.

La construction d'une serre photovoltaïque doit être compatible avec le document d'urbanisme en vigueur sur la commune d'implantation. Elle nécessite un permis de construire lorsque la surface de plancher est supérieure à 2000 m². Pour les serres de superficie inférieure, une déclaration préalable de travaux doit être obtenue par le maître d'ouvrage. Pour la construction d'un tunnel agricole avec panneaux photovoltaïques, un permis de construire doit être élaboré lorsque la surface de plancher est supérieure à 20 m² et la hauteur dépasse 4 m. La construction de tunnel agricole plus petit avec une hauteur comprise entre 1m80 et 4 m, nécessite une déclaration préalable. Pour l'installation de panneaux solaires sur une serre déjà existante, une autorisation d'urbanisme est nécessaire sous la forme d'une déclaration préalable.

L'article L 311-1 du Code rural et de la pêche maritime considère la production et la commercialisation de la production d'électricité comme une activité agricole dès lorsqu'elle est issue de l'exploitation agricole. D'après l'arrêt n°422542 du 12 juillet 2019 du Conseil d'État, l'utilisation de constructions/installations agricoles, comme une serre, pour servir de support à une production d'énergie renouvelable complémentaire à l'activité agricole ne retire pas le caractère de constructions/ installations nécessaire à l'exploitation agricole⁴⁹. L'installation de panneaux solaire sur une serre est donc autorisé dès lorsqu'ils ne modifient pas la destination agricole.

49 <https://consultation.avocat.fr/blog/pierre-alain-mogenier/article-28863-installation-de-serres-photovoltaïques-en-zone-agricole.html>

✓ **Remarque n°1 sur les approximations réglementaires relatives aux serres photovoltaïques, dans le cadre d'une activité d'agrivoltaïsme :**

La réglementation sur les serres photovoltaïques n'intègre pas la notion d'agrivoltaïsme mais est orientée sur l'autorisation d'utiliser les toitures pour produire de l'électricité. Il n'existe pas de règles sur le nombre de panneaux autorisés sur la structure : ainsi si un projet est réfléchi qu'avec la seule intention de produire de l'énergie, le côté agronomique peut être sacrifié et les serres photovoltaïques peuvent se détourner des principes de l'agrivoltaïsme. Sur la même idée, l'installation photovoltaïque est autorisée seulement si la serre possède une fonction primaire pour la production agricole. Cependant, cette réglementation n'est pas prononcée sur du long terme. Ainsi, une serre utilisée en agriculture peut être convertie en serre solaire puis abandonnée en raison de mauvais rendement agricole, sans supprimer la fonction d'origine de la serre. Aussi, en raison des critères d'évaluations économiques intéressant pour l'agriculteur, des énergéticiens peuvent proposer des projets de serres photovoltaïques sans réaliser une étude précise sur les avantages et inconvénients des panneaux solaires pour les cultures sous serres. De nombreuses fraudes ont déjà pu être comptabilisées, montrant ainsi les limites d'une réglementation éloignée de la notion d'agrivoltaïsme.⁵⁰

En respect de l'article R122-2 du code de l'environnement, les installations photovoltaïques sur serres et ombrières disposant d'une puissance égale ou supérieure à 250 kWc sont soumises à un examen au cas par cas pour mesurer la présence d'effets négatifs sur l'environnement ou sur la santé humaine (évaluation environnementale). L'examen au cas par cas est défini dans l'article R122-3 du même code. Lorsqu'une évaluation environnementale après un examen au cas par cas est effectuée par l'autorité environnementale, le permis de construire est soumis à enquête publique avec procédure de participation du public par voie électronique en respect de l'article L123-2 du code de l'environnement.

50 <https://www.pleinchamp.com/fruits-legumes/actualites/serres-photovoltaïques-entre-l-ombre-et-la-lumiere>

Pour conclure sur la réglementation, on peut s'apercevoir que pour les centrales au sol ou les serres photovoltaïques de nombreux flous juridiques subsistent en France. Les ombrières photovoltaïques de plein champs ne possèdent pas encore une réglementation spécifique. En 2020, la notion d'agrivoltaïsme n'est pas intégrée dans la réglementation française. Ainsi, au vu du développement futur de ce type de dispositif, il paraît essentiel qu'une nouvelle réglementation voit le jour afin d'assurer le développement de l'agrivoltaïsme. Aujourd'hui, les flous juridiques peuvent constituer un argument parmi d'autres pour les opposants aux projets menant conjointement production photovoltaïque et production agricole.

3. L'agrivoltaïsme, une activité pouvant soulever des conflits de type Nimby malgré sa présentation par ses acteurs comme une réponse aux conflits déjà existants sur les questions foncières

Dans le contexte de la transition énergétique, le photovoltaïsme tient une place essentielle puisqu'il permet de valoriser une source d'énergie durable. L'agrivoltaïsme est présenté comme une solution permettant de répondre à la concurrence pour le foncier entraîné par la construction de centrale au sol, souvent considérées comme un nouveau type d'urbanisation. Les deux activités peuvent en tirer chacune des bénéfices puisque le dispositif peut répondre à une adaptation de l'agriculture face aux changements climatiques et aux enjeux de demain pendant que les terres agricoles deviennent de nouveaux espaces fonciers pour le développement du photovoltaïque sans entraîner la disparition des terres agricoles. L'agrivoltaïsme permet ainsi d'améliorer les compétences agronomiques et le microclimat présent sur la parcelle. Ce système assure une production d'ombre réduisant le risque de brûlures sur les plantes lors des périodes de fortes chaleurs, qui d'après les scientifiques risquent de se multiplier en raison des changements climatiques. L'ombre diminue l'évapotranspiration, préservant l'humidité et réduisant les conséquences de la sécheresse. Sur le même principe, les partisans déclarent que la production d'ombre peut protéger les animaux d'élevage tout en conservant de l'humidité pour assurer la pousse d'herbe verte.

L'agrivoltaïsme favorise l'assurance d'un revenu fixe pour l'agriculteur grâce à la location de la parcelle ou/et à la vente de l'électricité. Cette activité énergétique peut devenir un soutien économique face à la déprise agricole et aux difficultés économiques de certaines filières. Elle permet aussi de valoriser économiquement les toitures de serres. Par rapport aux toitures, il existe une plus grande facilité pour enlever les ombrières photovoltaïque et revenir à une production agricole classique, dès que les panneaux atteignent la fin de vie ou si les pertes de rendements paraissent trop importantes en raison d'une mauvaise étude agricole.

Cependant, l'agrivoltaïsme n'est pas perçu d'un bon œil par tout le monde. De nombreux arguments s'opposant à l'agrivoltaïsme apparaissent aujourd'hui entraînant parfois de nouveau type de conflits d'acteurs.

3.1. L'agrivoltaïsme, une nouvelle forme d'énergie pouvant soulever de nombreuses critiques :

Dans la majorité des cas, tous les opposants à l'agrivoltaïsme s'accordent à confirmer l'argument sur la réduction de la concurrence foncière entre l'agriculture et le développement du photovoltaïsme. Cependant, de nombreux autres types d'arguments sont présentés par les opposants.

En premier argument, il existe de trop nombreux flous juridiques (voir la sous-partie précédente) notamment en cas de transmission d'exploitation et d'installation de nouveaux agriculteurs. La réglementation ne permet pas d'assurer un droit légal pour la construction d'une structure agrivoltaïque.

Ce dispositif est présenté comme une protection pour les animaux d'élevage grâce à la production d'ombre et à la création d'abris face aux mauvaises conditions météorologiques. Cependant, les opposants doutent sur les bénéfices pour le bien-être animal. En effet, les panneaux solaires de couleur noire attirent la lumière. Ils n'offrent donc pas véritablement une protection aux animaux puisque la chaleur sur la prairie peut être plus élevée que sur une parcelle ordinaire. Il n'existe pas d'étude complète permettant de mesurer les qualités nutritives de l'herbe poussant sous les panneaux solaires : l'ombre peut faciliter le développement d'adventices n'ayant pas besoin de

luminosité au profit des graminées consommées d'ordinaire par les moutons. Pour finir sur le bien-être animal, il existe un manque de connaissances sur les risques des ondes électromagnétiques potentiellement produites par les panneaux photovoltaïques.

Les expérimentations sur terrain sont encore trop récentes pour fournir des résultats corrects et assurer la présence d'avantages pour l'agriculture. Les bénéfices sur les rendements sont potentiellement dépendants des phénomènes climatiques et des différentes cultures. Au niveau agricole, les opposants soupçonnent les installations d'agrivoltaïsme de modifier, dans certains cas, les cultures dominantes pour des raisons techniques qui peuvent aller contre l'intérêt de l'agriculteur. Parallèlement, la circulation d'engins sous les ombrières photovoltaïques ou au niveau des centrales au sol peut être réduite, voire dans certains cas non-compatibles. Le développement de l'agrivoltaïsme doit être accompagné de la construction de matériel agricole adapté.

Sur les questions environnementales, l'agrivoltaïsme entraîne une dégradation des paysages et peut avoir des impacts sur le fonctionnement des écosystèmes ainsi que pour la faune. Par exemple, les reflets sur les panneaux peuvent être confondus à un point d'eau par les oiseaux.

Les opposants sont méfiants face aux projets d'agrivoltaïsme car ils sont présentés avant tout par les énergéticiens en recherche de terrains, sans véritablement mettre en œuvre un projet agricole derrière. Ce cas s'est produit dans les Pyrénées-Orientales où de nombreuses serres photovoltaïques ont été construites sans prendre en compte les caractéristiques agricoles⁵¹. Ces serres alibis sont aujourd'hui abandonnées. D'après les opposants, les projets d'agrivoltaïsme ne sont pas obligatoirement menés en partenariat avec les agriculteurs. De plus, en général, l'installation photovoltaïque fait augmenter le coût du foncier et donc peut empêcher l'installation de jeunes agriculteurs.

Lorsque le terrain a été acheté par l'énergéticien voulant créer un dispositif d'agrivoltaïsme, le prix du fermage proposé à l'agriculteur peut atteindre des sommes élevées rendant impossible le développement agricole. Dans les cas où l'agriculteur met en location un terrain pour créer une centrale photovoltaïque, lorsque le loyer rapporte plus que l'activité agricole alors cette dernière peut paraître non rentable et disparaître des terrains pourtant préservés pour l'agriculture.

51 <https://www.francebleu.fr/infos/agriculture-peche/deux-tiers-des-serres-photovoltaïques-dans-les-pyrenees-orientales-sont-vides-1572798904>

- **Des syndicats agricoles qui restent méfiants sur le développement de l'agrivoltaïsme :**

En mai 2020, la revue professionnelle La France agricole a publié un dossier sur le développement de l'agrivoltaïsme. En plus d'une présentation des possibilités pour développer ce nouveau dispositif, d'un article sur le travail de l'INRAE Montpellier et de la description d'une centrale au sol où est associé un élevage ovin, des représentants des principaux syndicats agricoles français (FNSEA, Coordination rurale, Confédération paysanne) ont été interrogés sur le développement des centrales photovoltaïques au sol et sur l'agrivoltaïsme.

Les syndicats posent leurs jalons

Olivier Dauger, de la FNSEA, porte un jugement sévère sur le photovoltaïque au sol. Il estime que la programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE) encourage trop fortement son déploiement. « Moins coûteux, il contribuera inévitablement à une explosion de l'artificialisation des terres agricoles, explique-t-il. Il apparaît clairement que cette trajectoire fixée par la PPE va à l'encontre de l'objectif de neutralité carbone proposé dans la loi énergie-climat promulguée en novembre 2019. » Il précise que la FNSEA a demandé une réorientation du solaire photovoltaïque vers le bâti (individuel comme collectif). Le syndicat réclame aussi la mise en place d'une autorisation systématique de la profession lors de la mise en place de projets photovoltaïques impliquant des terres agricoles. « La production photovoltaïque ne doit pas remettre en cause la production agricole, estime Olivier Dauger. Les deux sont possibles sur une même surface à travers

l'agrivoltaïsme, à condition que l'activité agricole reste prioritaire, c'est-à-dire au travers de projets où les panneaux cohabitent avec des parcours avicoles, du pâturage ovin, de la vigne, du maraîchage ou de l'arboriculture. Les projets sont à étudier au cas par cas. Le critère de faible potentiel agronomique est dangereux s'il est ciblé par des développeurs sur de grandes surfaces. Le principe reste d'éviter l'artificialisation des terres, que ce soit par les panneaux, les zones industrielles ou l'urbanisation... Si chacun dit, "Je n'utilise que quelques hectares", au final, cela représente beaucoup. » **Bernard Lannes, de la Coordination rurale,** est partagé. Il s'agit de ne pas empiéter sur le rôle de terre nourricière que revêtent les surfaces agricoles. « On perd des milliers d'hectares chaque année, signale-t-il. Pour les friches ou les surfaces caillouteuses des Causses ou des Pyrénées occidentales par exemple, la question est à

étudier. » Le responsable estime en tout cas que les panneaux doivent être démontables. « L'exploitant doit être dégagé du coût du recyclage. Il est impératif de considérer les contrats avec la plus grande attention et de s'entourer d'un fiscaliste et d'un comptable pour évaluer précisément la rentabilité du projet. » Frank Olivier, président de la Coordination rurale en Charente, ajoute qu'il y a une carte à jouer avec le photovoltaïque au sol. « Le démantèlement du site est beaucoup moins lourd que dans le cas d'une éolienne, par exemple », souligne-t-il. Il estime que l'on est moins critique à l'égard des surfaces implantées en colza, destinées à la production de carburant. Idem pour le maïs qui « finit dans le méthaniseur et non dans l'auge des vaches laitières ». **Damien Houdebine, de la Confédération paysanne,** alerte sur le fait que les développeurs du photovoltaïque font pression sur les terres agricoles car les

surfaces dégradées (zones polluées, décharges) se raréfient. Il estime qu'il faut rester vigilant sur l'impact de l'artificialisation des sols. « Cela peut aussi localement faire monter le prix du foncier. Tant mieux si des éleveurs et des producteurs d'énergie parviennent à monter des projets intéressants pour les deux parties. » Pour le responsable, il convient toutefois de s'interroger sur les raisons de la politique territoriale qui a conduit au « déclin » de certaines surfaces qui partent en friche et intéressent aujourd'hui les développeurs. « Je trouve étrange de voir que l'équipement solutionne les problèmes, déclare-t-il. Les développeurs font miroiter aux exploitants un revenu complémentaire à leur production. Mais c'est un argument qui n'est pas recevable. Il est essentiel que la production soit rentable. Enfin, la présence des panneaux complexifie la transmission de l'exploitation. » M.F.M.

Illustration 14 : Les centrales au sol et l'agrivoltaïsme vu par des représentants des principaux syndicats agricoles français (La France Agricole, n°3852, 15 mai 2020, page 47)

Bien que les trois syndicats agricoles admettent des visions politiques très différentes, la question des centrales photovoltaïques au sol fait l'unanimité. Chaque représentant souligne le risque très élevé de concurrence foncière entre l'activité agricole et les installations photovoltaïques. Ils indiquent chacun à leur manière la nécessité de préserver la fonction primaire des sols pour la production agricole en réclamant à ce que

les panneaux soient avant tout placés sur les toitures et les surfaces dégradées.

Le représentant de la FNSEA est le seul à aborder directement l'agrivoltaïsme : il souligne la possibilité de valoriser, au cas par cas, ce type de dispositif si l'activité agricole reste prioritaire et que les panneaux solaires s'avèrent avantageux pour la production agricole. La FNSEA est intéressée par l'agrivoltaïsme dès lorsqu'un projet agricole est mené et que la centrale n'entraîne pas une artificialisation des sols. Le représentant de la Coordination rurale indique être favorable aux centrales photovoltaïques au sol, s'il n'y a pas de concurrence avec l'activité agricole comme au niveau des surfaces caillouteuses des Pyrénées occidentales ou des Causses. En effet, pour lui, le photovoltaïque est plus facile pour le démantèlement que dans le cas des éoliennes et n'entre pas plus en concurrence que les productions céréalières utilisées pour la production d'agrocarburants ou la méthanisation. Le représentant de la Confédération paysanne est le plus partagé à l'agrivoltaïsme et aux centrales photovoltaïques au sol. En félicitant les agriculteurs qui arrivent à avoir des modèles d'agrivoltaïsme viables, il préfère quand même fournir des arguments très négatifs sur ce dispositif allant de l'augmentation du prix du foncier à l'argument que la production agricole doit être rentable et n'a donc pas besoin d'une activité complémentaire pour être viable.

Plusieurs conflits sont actuellement en cours face à des projets pouvant relever de l'agrivoltaïsme. Les conflits portent principalement sur les dispositifs de centrales au sol étant donné que les ombrières photovoltaïques sont encore à une phase expérimentale et donc peu présentes sur le territoire français. Sur la question des serres solaires, on observe quelques cas d'oppositions mais il paraît assez difficile de savoir si elles portent sur la seule construction de serre ou sur l'installation photovoltaïque étant donné que les deux éléments sont associés dans les projets de constructions. Un conflit majeur se déroule actuellement sur le plateau du Larzac face à un projet de centrale au sol associant un troupeau ovin sur un secteur qui à l'origine n'était pas cultivé par des agriculteurs.

3.2. L'agrivoltaïsme, une activité pouvant devenir l'objet de conflits d'acteurs : l'exemple du projet Solarzac sur la commune de Le Cros (34)

3.2.1. Présentation du projet proposé par la société Arkolia Énergies

Le domaine de Calmels est une propriété privée et grillagée d'environ 1000 hectares localisé sur la commune de Le Cros, dans le département du Hérault et à la limite du Gard. Avec le domaine du Luc situé juste à côté, les terrains étaient consacrés à la chasse privée et commerciale⁵². Ils se caractérisaient par un surpâturage du gibier élevé : sangliers, cerfs, daims, mouflons, chevreuils, faisans, perdreaux, cailles et lièvres. Bien qu'il soit classé en zone agricole dans les documents d'urbanisme, le domaine n'admet plus aucune activité agricole depuis 1981 et n'a jamais reçu de primes agricoles. Le domaine comprend aussi quatre bassins artificiels d'une capacité totale de 150 000 m³. En 2017-2018, les propriétaires ont décidé de vendre. Plusieurs acheteurs potentiels ont présenté leurs projets et ce fut finalement Arkolia énergies qui a remporté la vente.

Arkolia énergies est une société indépendante du Hérault spécialisé dans le secteur photovoltaïque, éolien et le biogaz. Sur le domaine de Calmels, la société souhaite installer une centrale photovoltaïque au sol. Dans le cadre de la concertation préalable, Arkolia a proposé trois scénarios différents⁵³ :

- Le scénario 1 comprend une centrale photovoltaïque de 180 MW, couvrant une superficie de 220 hectares. Cette centrale permettra de produire 240 Gwh/an, couvrant la consommation en électricité de 113 000 habitants. Ce scénario coûterait 130 Millions d'euros de construction auquel il faut ajouter 7 millions pour le raccordement au poste électrique de Saint-Victor, à Ganges.
- Pour le deuxième scénario, la centrale photovoltaïque admet une puissance installée de 320 MW sur une surface de 400 hectares. La production d'électricité serait de 430 Gwh/an, ce qui représente la consommation de 200 000 Français. Ce scénario admettra un coût de 340 millions d'euros de construction. Le raccordement lui admettra un prix variant entre 60 et 70 millions d'euros pour le poste électrique de tamareau, de Montpellier.

52<https://www.chassepassion.net/chasse-a-la-journee2/domaine-de-calmels-et-domaine-du-luc/>

53<https://www.solarzac.fr/les-3-scenarios-envisages/>

- Le scénario 3 s'étend sur 400 hectares avec à la fois une centrale photovoltaïque de 180 MW et une installation de biométhane d'une puissance de 138 MW. La production de gaz utilisera la technologie Power-to-Gas qui fonctionne grâce à l'énergie solaire et à la capture de gaz carbonique. Ce scénario permettra de produire 240 GWh/an d'électricité verte soit la consommation de 113 000 habitants et 106 Gwh/an de gaz soit la consommation de 30 000 habitants. Ce scénario 3 est le plus cher puisque la construction admet un budget 600 millions d'euros pendant que le raccordement serait de 7 millions d'euros pour la centrale photovoltaïque au poste de Saint-Victor à Ganges et de 5 à 7 millions d'euros pour la production de gaz au réseau GRDF de Lodève.

Arkolia propose de semer en herbe les 400 hectares de son projet de construction afin d'ouvrir le terrain pour l'agropastoralisme. Le site pourrait accueillir jusqu'à 400 brebis. La clôture déjà existante permettra de protéger les moutons des loups et autres prédateurs, pendant que les panneaux produiront de l'ombre et assureront une protection contre les rapaces. Arkolia offre la possibilité d'ajouter des espaces de stabulation. Aussi, en raison de la compensation écologique, la société souhaite rouvrir au public 600 hectares de terres qui seront en parallèles réservées à la préservation de la faune sauvage.

Le projet d'Arkolia permettra la création de 6 à 30 emplois pérennes et représenterait 1,5 à 3 Millions d'euros de retombées fiscales. La mise en service était prévue en 2025, mais de vifs oppositions en éclatés lors de la concertation préalable.

3.2.2. Un projet qui soulève une forte opposition de la part des habitants et agriculteurs locaux

Alors qu'Arkolia énergies a commencé à présenter son projet, de nombreux éleveurs, habitants et naturalistes sont venus dénoncer les menaces que représentait la construction d'une centrale photovoltaïque au sol sur le plateau du Larzac. Début 2019, les opposants se sont réunis au sein du collectif « Terres du Larzac, terres de biodiversité, terres de paysans » pour militer contre le maître d'ouvrage et faire valoir

leurs arguments dans un territoire déjà réputé pour les mouvements de lutte⁵⁴. Le conflit est de type nimby puisque les opposants ne sont pas contre la production d'énergie renouvelable mais souhaitent que les panneaux solaires soient installés sur les toitures.

« Ce n'est pas pour autant un vrai projet agricole. Ne laissons pas faire ! Si un premier projet de ce type est accepté sur le Larzac, c'est la porte ouverte à d'autres » Dominique Voillaume, éleveur à Saint-Maurice-de-Navacelle et membre de la Confédération paysanne (La France agricole, « Non au projet Solarzac », 19 juin 2019)

Les agriculteurs opposés au projet d'Arkolia présentent le Larzac comme un territoire agricole dynamique où chaque parcelle à vendre trouve toujours des repreneurs. Or, les loyers proposés dans le cas de la construction de la centrale au sol sont très élevés pour les éleveurs locaux. Le projet Solarzac menace de faire augmenter le prix du foncier rendant impossible l'installation d'agriculteurs.

Les opposants présentent aussi de nombreuses menaces du projet pour la préservation de l'environnement et du patrimoine. Le projet d'Arkolia se situe sur un milieu ouvert et riche en biodiversité. L'installation photovoltaïque pourrait empêcher les aigles royaux de se nourrir de petits animaux puisque les panneaux entraînent une urbanisation du sol. Le domaine de Calmels est couvert par deux zones Natura 2000 : la Zone de Protection Spéciale « FR9112032 - Causse du Larzac » classé au titre de la directive oiseaux et la Zone Spéciale de Conservation « FR9101385 - Causse du Larzac » classé au titre de la directive habitat, faune, flore. Le domaine se situe dans le périmètre de protection du grand site de France de Navacelles, labellisé depuis 2017. Aussi, le territoire des Causses et des Cévennes est inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO (critère iii et v). L'élevage ovin entre panneaux solaires s'écarte des paysages culturels de l'agro-pastoralisme méditerranéens qui a valu l'inscription à l'UNESCO. Pour finir, le domaine de Calmels est situé à proximité du Parc Naturel Régional des Grands Causses ce qui pose des problèmes paysagers, d'autant que le périmètre est en cours d'extension pour la nouvelle charte 2022-2037.

54 Article de reporterre du 13 mai 2019 présentant les arguments des opposants: <https://reporterre.net/Le-Larzac-se-leve-contre-un-projet-geant-de-centrale-solaire>

Un autre argument environnemental des opposants porte sur la consommation en eau de l'installation, notamment pour le scénario 3. Dans son projet, Arkolia indique vouloir prélever 80.000 m³ d'eau par an. Arkolia prévoit d'utiliser les bassins déjà présents sur le site. Cependant, les opposants se questionnent sur le risque très élevé d'évaporation des bassins ce qui demanderait de consommer de l'eau située ailleurs que sur le domaine de Calmels.

Pour sa défense, Arkolia explique l'intérêt de son volet agricole puisqu'il permet de faire revenir une activité d'agropastoralisme dans un secteur qui n'était plus agricole et dans le surpâturage posait des problèmes environnementaux. Aussi, Arkolia indique que le projet Solarzac s'inscrit dans la transition énergétique contrairement à d'autres acheteurs potentiels de la propriété (Exemple : des Américains ont proposé à partir d'un fonds d'investissement privé de transformer le domaine en centre d'essais pour des 4x4). Arkolia souhaite montrer son projet comme une vraie démarche de développement durable pour le territoire. Avant même de saisir la Commission Nationale du Débat Public en décembre 2018 et après avoir commencé à informer les élus et la population, Arkolia a affirmé que le projet était soutenu par des associations environnementales. Or cette information n'a pas été prouvée et la Ligue pour la Protection des Oiseaux ainsi que France Nature Environnement sont montés au créneau pour s'opposer au projet.

Le maire de Le Cros est favorable au projet car il s'inscrit dans une logique de développement local et permet de valoriser un territoire délaissé par les instances intercommunales. Cependant, la Communauté de Communes du Lodévois et Larzac a voté un avis défavorable au projet Solarzac en avançant les mêmes arguments que le collectif d'opposants. Aussi, le projet Solarzac a été non approuvé par le conseil régional malgré la volonté de la région Occitanie pour s'imposer dans les énergies renouvelables.

3.2.3. Le déroulé du conflit et l'état actuel du projet Solarzac

À la suite de la mise en vente du domaine de Calmels, Arkolia énergies a préparé son projet de centrale au sol pendant l'année 2018 afin de créer plusieurs scénarios pour permettre une meilleure acceptation de la population locale. Un calendrier opérationnel a été réalisé avec pour objectif une mise en service pour 2025 (Illustration n° 15). Arkolia a saisi la Commission Nationale du Débat Public en décembre 2018 entraînant le début

des oppositions et la création du collectif « Terres du Larzac, terres de biodiversité, terres de paysans ». Le 9 janvier 2019, le projet a été soumis à concertation préalable⁵⁵.

2018/2019	> études d'avant projet	> concertation préalable	> décision du maître d'ouvrage
2020/2021	> études de projet > pilote méthanation et collecteur de CO ₂	> poursuite concertation > dépôt et instruction du dossier	> enquête publique > autorisation préfectorale
2021/2022	> études d'exécution > démonstrateur méthanation et collecteur CO ₂	> poursuite concertation > création société de projet	> modèle financement participatif > bouclage financement
2023/2024	> construction	> comité de suivi	> filière collecteur de CO ₂
2025	> mise en service		

Illustration 15: Calendrier opérationnel prévu avant la concertation préalable (Source : site internet du projet Solarzac, <https://www.solarzac.fr/le-calendrier-et-le-financement/>)

La concertation s'est déroulée du 2 mai au 23 juillet 2019. Le périmètre comprenait la communauté de communes du Lodévois et Larzac (28 communes) ainsi que deux communes de l'Aveyron et du Gard. À l'occasion de cette phase, une journée porte ouverte au sein du domaine a été organisée le 18 mai 2019. De plus, quatre ateliers a eu lieu. Le premier s'est déroulé le 5 juin et portait sur l'eau, le patrimoine naturel et la biodiversité. L'atelier thématique 2 avait pour sujet les co-activités agricoles et énergétiques et le développement du territoire. Le troisième atelier s'intéressait à la transition énergétique, aux scénarios et à la technicité du projet. Le dernier atelier du 17 juillet 2019 était sur l'emploi, le financement et le modèle participatif. Aussi, le 18 juin 2019, des permanences itinérantes ont été organisées au marché des producteurs locaux de Lodève.

Face à la concertation, les opposants ont fait le choix d'être très présent médiatiquement et d'être très mobilisés lors des réunions publiques. Le 18 mai 2019, ils

55 https://www.solarzac.fr/wp-content/uploads/2019/04/decision_2019_2_solarzac_1.pdf

se sont rassemblés à l'entrée du domaine pendant la journée porte ouverte. La principale manifestation s'est déroulée le 19 juin 2019 lorsque la confédération paysanne a occupé pendant plus d'une heure les bureaux d'Arkolia. Lors de cette action, la porte d'entrée de la société a été taguée et des pneus de plusieurs voitures gendarmes ont été crevés.



Illustration 16 : Rassemblement des opposants au projet Solarzac, le 18 mai 2019 (Source : EHRHARD Frédérique, La France agricole, « Non au projet Solarzac », 19 juin 2019, <https://www.lafranceagricole.fr/le-tour-des-regions/herault-non-au-projet-solarzac-1,74273190289.html>)

Le bilan de la concertation a mis en valeur la forte opposition du projet avec 65,13% des contributions qui s'avèrent défavorables au projet Solarzac⁵⁶. Les préoccupations portent principalement sur l'impact environnemental et sur les labels et classement du territoire, notamment sur l'inscription au patrimoine de l'UNESCO. Après analyse des différentes oppositions, Arkolia énergie a annoncé le 22 octobre 2019 l'abandon de son projet d'origine et le souhait de relancer son étude afin de créer un nouveau scénario plus petit « exemplaire et accepté par tous », dans un délai d'un an. La

56 Bilan du garant : <https://solarzac.fr/wp-content/uploads/2019/08/bilan-solarzac.pdf> // Compte rendu du maître d'ouvrage : <https://www.solarzac.fr/wp-content/uploads/2019/11/arkolia-bilan-a4-v4-pap-bd.pdf>

société s'est engagé à ce que le nouveau scénario réduise l'impact paysager et assure la protection de l'environnement, limite la consommation en eau, permet de créer une activité agropastorale durable, d'obtenir des retombées fiscales pour le territoire et créé des emplois. Elle souhaite mettre en place « un comité de suivi et de pilotage pluridisciplinaire et scientifique, élargi aux acteurs locaux, et présidé par Jean-Paul VOLLE, professeur émérite de géographie urbaine et régionale à l'université Paul-Valéry de Montpellier ». Pour finir, elle s'est engagé à informer régulièrement et de manière objective sur ses nouvelles études et sur l'avancée de son nouveau scénario.⁵⁷ Pour veiller au bon respect des décisions, la CNDP a nommé en mai 2020 un garant avant la prochaine enquête publique prévue pour 2021⁵⁸. En attendant le nouveau scénario, le conflit a diminué même si les opposants continuent à être méfiant face au futur projet et à l'arrivée possible de nouvelles sociétés souhaitant installer une centrale au sol, mêmes avec une démarche d'agropastoralisme.

Après avoir analysé la réglementation française ainsi que les critiques de l'agrivoltaïsme pouvant être source de conflits d'acteurs, nous allons maintenant étudier les différentes installations existant en France en réalisant trois types de classifications.

57 https://www.solarzac.fr/wp-content/uploads/2019/10/courrier-cdnp-projet-solarzac_22102019.pdf

58 https://solarzac.fr/wp-content/uploads/2020/06/decision_2020_59_solarzac_5-2_1.pdf

PARTIE 3 : UNE CLASSIFICATIONS DES DIFFÉRENTES TYPES D'INSTALLATIONS D'AGRIVOLTAÏSME EN FRANCE ET LEURS MISE EN ŒUVRE PAR LES ÉNERGÉTICIENS ET LES COLLECTIVITÉS TERRITORIALES :

Afin d'observer les différentes installations d'agrivoltaïsme existant en France, une base de données des projets a été réalisée (Annexe 1). Pour cela, nous nous sommes servis du travail de « recensement des principales applications » d'agrivoltaïsme en France et dans le monde réalisé par la société de conseil actuel, spécialisé dans les domaines agricoles et agro-alimentaires, en partenariat avec le bureau d'études ARTIFEX. Le document synthèse a été publié en février 2020 et a permis d'observer un ensemble de projets d'agrivoltaïsme déjà existant. En complément, d'autres installations ont pu être repérées à partir des informations contenues sur Internet - dans la presse locale et dans les documents officiels présent sur les sites des préfectures, comme par exemple les études d'impact. Bien que la base de données obtenue se veuille être représentative de la diversité des installations agrivoltaïques située en France, elle reste non exhaustive. En effet, il existe de nombreux cas où un troupeau ovin a pu être installé qu'après la construction de la centrale solaire au sol : l'activité d'élevage est donc non indiquée dans les documents officiels du projet d'origine ou simplement proposée pour réaliser l'entretien. Aussi, il est fort probable qu'en raison de la méthodologie par recherche sur Internet et du temps réduit pour réaliser ce recensement, de nombreuses installations notamment du type serre ont pu être oubliées. L'Ademe a lancé en janvier 2020 une étude pour réaliser un état des lieux des expériences d'agrivoltaïsme mise en service, en phase de réflexion ou dans le projet n'a pas abouti. Les résultats de cette étude dirigée par Madame Céline MEHL, ingénieur responsable de la filière photovoltaïque au sein de l'ADEME, sont attendus pour l'année 2021 et pourront donc compléter le travail de recensement réalisé dans le cadre de ce mémoire.

À partir de la base de données réalisée, trois classifications peuvent être envisagées afin d'étudier plus précisément la forme que prend l'agrivoltaïsme sur le territoire français. Ainsi, la première se fera selon les types d'activités agricoles associés à la production photovoltaïque. La seconde catégorie s'intéressera aux différentes logiques menées par les électriciens et les sociétés de production d'énergie afin de développer l'agrivoltaïsme. Pour finir, la troisième classification étudiera les différentes positions prises par les collectivités territoriales face aux projets d'agrivoltaïsme.

1. Une classification par type d'activité agricole :

Classer les installations d'agrivoltaïsme par type d'activité agricole a été choisi par Acthuel et Artifex dans le cadre de leur recensement. Leur classification se divise en onze groupes. Nous allons ici faire que cinq catégories étant donné qu'il n'existe pas d'installation avec cultures diverses et céréales (blé, maïs) n'est pas présent en France. De même, nous regrouperons les installations avec volailles et ovins dans une catégorie élevage. Comme l'ostréiculture et la pisciculture en un lien avec le milieu aquatique, nous regroupons ces deux activités dans une catégorie aquaculture pour étudier l'aquavoltaïsme. Aussi, les installations avec des cultures horticoles seront regroupées avec les cultures maraîchères puisque ces deux activités sont relativement proches pour les caractéristiques agronomiques : utilisation de serres, techniques et matériels de production relativement proches...

1.1. Élevage

Les installations d'agrivoltaïsme associant l'élevage sont les plus nombreuses en France puisqu'elles s'avèrent les plus simples à réaliser en termes de technique et de coût. Dans la quasi-totalité des cas, il s'agit de centrale au sol sur des friches qui ne sont pas toujours à l'origine agricole. Par exemple, en Maine-et-Loire, un projet de centrale au sol avec élevage ovin a été réalisé sur le site d'une ancienne décharge de déchets non dangereux. Ce type de projet est surtout apporté par des énergéticiens ou des collectivités territoriales. Même s'il existe quelques exceptions où le projet agricole est réfléchi avant la création de la centrale au sol, l'activité d'élevage est souvent ajoutée après la création de la centrale photovoltaïque afin d'entretenir le terrain de manière écologique et économique. Les animaux disposent en échange de l'ombre produite par les panneaux solaires. Il est difficile de connaître le nombre exact d'installations agrivoltaïques de ce type sur le territoire français. Des contrats sont proposés à des éleveurs voisins ou à des sociétés d'écopâturage sous la forme de bail emphytéotique. Parfois, le projet propose d'installer un nouvel éleveur comme à Marcoussis en Essonne.

Quelquefois, le projet d'agrivoltaïsme est directement constitués par des éleveurs afin de disposer d'un complément de revenu grâce à la location de leur parcelle pour une société d'énergies. Par exemple, en Haute-Garonne, sur la commune de Bouloc, un couple d'éleveurs partant à la retraite et ne trouvant aucun repreneur pour leurs terres

peu productives a fait appel à EDF Energie nouvelles pour créer une centrale au sol sur une de leurs parcelles. Ce couple a conservé quelques moutons pour l'entretien de la centrale. La mise en location du terrain permet au couple d'éleveur d'assurer un complément financier à leurs retraites.

L'élevage ovin est le principal type opté pour l'agrivoltaïsme associant des animaux. En effet, les bovins et équins peuvent abîmer les panneaux photovoltaïques en raison de leurs habitudes de se frotter. L'élevage caprin est aussi difficilement réalisable en raison de la capacité des chèvres à escalader les panneaux et donc à les endommager. Certains projets d'agrivoltaïsme proposent une activité apicole en complément d'un élevage ovin. L'associant avec élevage avicole en plein air est possible mais très peu développé en France où un seul cas a pu être recensé. Il s'agit d'une exploitation agricole dans les Côtes d'Amor sur la commune de Lamballe et où l'installation photovoltaïque est montée sur des pylônes, mais très peu d'informations techniques sont disponibles.



Illustration 17: Centrale photovoltaïque associant un élevage ovin dans l'Allier, sur la commune de Gennetines

(Source : Photosol, 2015, http://www.allier.gouv.fr/IMG/pdf/18_07_27_-_1_volet_agricole.pdf)

1.2. Culture maraîchère et horticulture

L'agrivoltaïsme mêlant photovoltaïsme et production maraîchères ou horticoles sont beaucoup moins présente que les centrales au sol avec élevage ovin. Cependant, elles sont de plus en plus courantes et sont au cœur du programme de recherches Sun'Agri de l'INRAE de Montpellier. Les installations peuvent être soit directement au sol ou soit prendre la forme de serre photovoltaïque. La forme dépend des plantations et du climat comme pour des cultures maraîchères/horticoles ordinaires. Lorsque la centrale photovoltaïque est à terre, on retrouve soit des ombrières ou soit des centrales au sol avec la culture qui se fait dessous et entre les rangées de panneaux. Les porteurs de projets sont en générales les agriculteurs eux-mêmes, malgré qu'il existe un cas particulier avec la société Akuo Energy sur lequel nous allons revenir un peu plus loin. Dans le cas des serres, la société d'énergies peut se charger de la construction et la mettre à disposition pour l'exploitant agricole qui deviendra ensuite propriétaire lors de la fin de vie des panneaux solaires.

Dans ce type d'agrivoltaïsme, les panneaux solaires constituent une protection des cultures face au gel et aux rayons directs du soleil. Ils permettent de limiter l'évapotranspiration et de produire de l'électricité pour les serres chauffées.

1.3. Arboriculture

L'arboriculture constitue un autre type de culture associé dans un projet d'agrivoltaïsme. Il fait partir des sujets de recherches du programme Sun'Agri 3 avec le dispositif expérimental installé au-dessus d'un verger de la station d'expérimentale la Pugère, sur la commune de Mallemort dans le département du Vaucluse. En arboriculture, l'installation photovoltaïque peut être sous la forme d'ombrières ou être posée sur des serres, dans le cas de la culture de kiwis. Dans la base de données, dix



Illustration 18: expérimentation de l'agrivoltaïsme fixe au Domaine de La Valette, sur le site de l'INRAE de Montpellier (Source : Dossier de presse –

Sun'agri, 2017,
<https://www1.montpellier.inra.fr/pechrouge/images/dossier-pesse-sun-agri-2017.pdf>)

installations d'agrivoltaïsme associant l'arboriculture ont été recensées : deux vergers de pommiers et poiriers, un projet avec culture d'agrumes en corse, quatre serres pour la production de kiwis dont deux en projet, une exploitation d'ananas sur l'Île de la Réunion, une exploitation avec culture d'oliviers et un verger avec production dominante d'abricots.

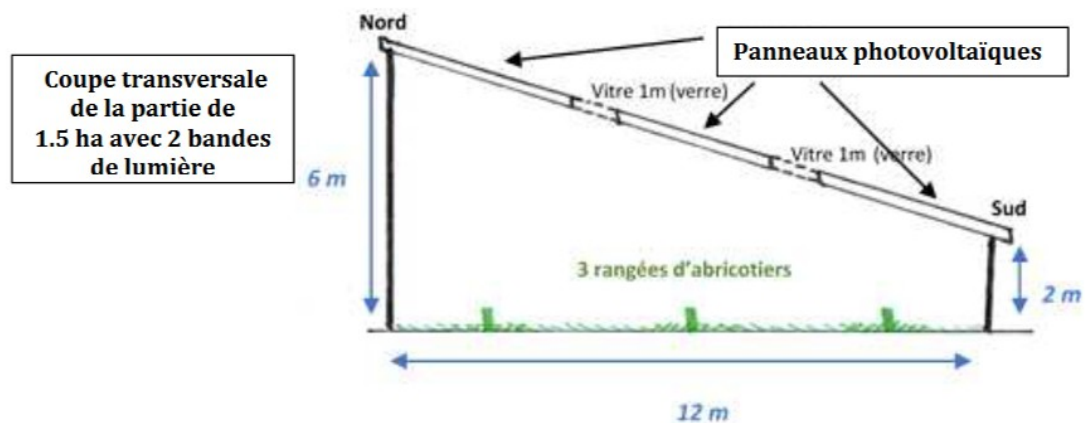
À Boé, dans le Lot et Garonne, trois serres photovoltaïques d'une surface totale de 9 hectares ont été construites par Reden Solar afin de permettre l'unique production française de kiwis rouge par M.Aurières. Ces serres mises en service en 2018 avec une puissance installée de 7,5 Mwc. Fin 2019, le constat fut fait que les récoltes avaient près d'un an d'avant que pour une culture sous serre non inscrite dans une réflexion d'agrivoltaïsme. Ces types de dispositif permet de protéger les fruits contre le froid grâce à la production d'électricité en autoconsommation, de contrôler le taux d'humidité et de protéger contre le vent permettant ainsi de réduire les attaques des bactéries *Pseudomonas syringae actinidiae* sur les branches cassées.



Illustration 19: Installation d'agrivoltaïsme sous forme de serre solaire et associant la culture de kiwis rouge, sur la commune de Boé en Lot et Garonne (Source : P.BETTES, 2020)

Dans le Gard, sur la commune de Bellegarde, Akuo Energy a racheté en 2011 des installations photovoltaïques sous forme d'ombrières construites par une autre société un an plus tôt afin d'implanter deux nouvelles configurations photovoltaïques (Illustration 20) et de planter en-dessous un verger avec une dominance d'abricotiers. En partenariat avec sa filiale Agriterra, Akuo a confié la gestion du verger en 2015 à un nouvel agriculteur, Marc Portier. Un expert en arboriculture a été nommé pour accompagner l'exploitant et pouvoir mener des études pour connaître l'intérêt du système agrivoltaïsme. Le 14 décembre 2017, une visite technique fut organisée sur l'exploitation par le GRCETA de Basse Durance, Bio de PACA et Akuo Energy⁵⁹. Lors de cette visite, les résultats agronomiques de l'installation avec deux bandes de lumière ont été révélés. Cette configuration offre de plus grands rendements en raison d'un meilleur accès à la lumière grâce à la présence de deux ouvertures. Pour répondre au manque de précipitation, un système par goutte à goutte a été installé à partir de 2016. La protection contre les précipitations permet de lutter contre le *Monilia laxa*, maladie cryptogamique favorisée par l'humidité sur Les abricotiers. L'oïdium est lui aussi limité ce qui permet de réduire les traitements de cuivre et de soufre. Les plantes adventices sont limitées grâce à l'ombrage et au système de gouttes à gouttes. Malgré l'absence directe de précipitation, l'eau en profondeur est suffisamment présente car les panneaux photovoltaïques limitent l'évapotranspiration. Pour la récolte 2017, le rendement était de 8,5 tonnes d'abricots par hectare. En raison de l'ombrage, les fruits ont perdu un à deux points de sucres et sont plus fragiles à l'exposition au soleil. Les panneaux solaires au-dessus du verger permettent aussi de le protéger contre la grêle et les fortes chaleurs. Cependant, quelques inconvénients en plus de la perte de sucre et de la baisse du rendement par rapport à un verger classique existent : la mécanisation est faible et l'application de traitements même biologique est limitée en raison du risque de corrosion de la structure. Une future expérimentation présentée lors de la visite technique consistera à mesurer l'intérêt pour la pollinisation quand des osmies, espèce d'abeille ayant de meilleures capacités d'adaptation que les abeilles communes face au manque de lumière et de chaleur, sont installées proches de la parcelle d'agrivoltaïsme.

59 Compte-rendu de la visite « Produire des abricots en AB sous ombrière photovoltaïque » : http://www.bio-provence.org/IMG/pdf/compte_rendu_visite_abricotiers_sous_ombrieres_photovoltaiques.pdf



Coupe transversale schématique de la partie de 3.5 ha avec 1 seule bande de lumière, plantée en 2017 d'abricotiers, cerisiers et vignes de table

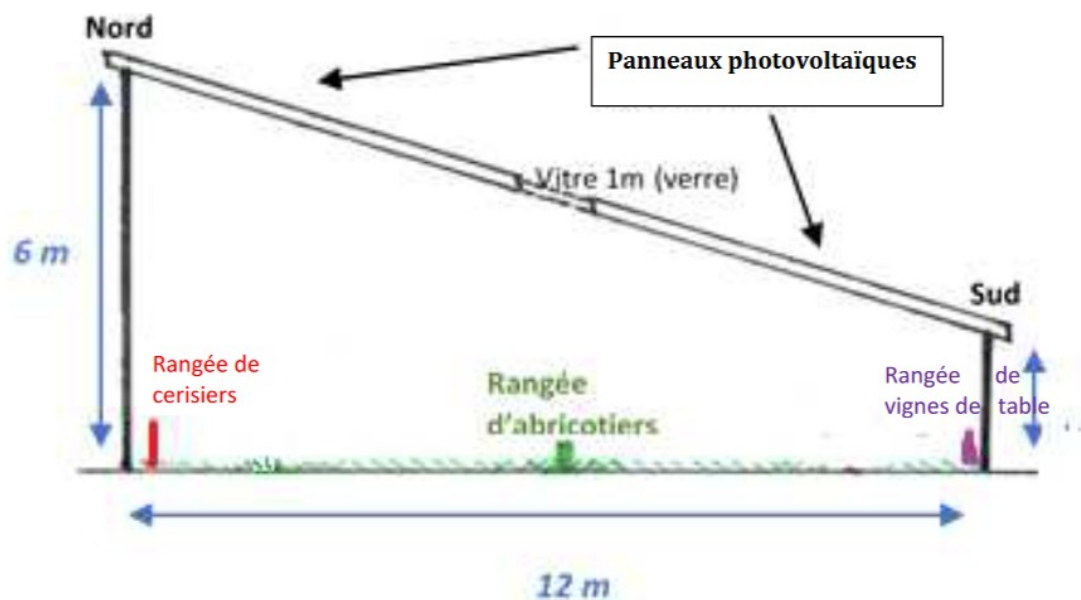


Illustration 20: Schéma des deux configurations d'agrivoltaïsme installées par Akuo Energy sur un verger de Bellegarde dans le Gard (Source : "Compte-rendu de la visite du 14 décembre 2017 à Bellegarde « Produire des abricots en AB sous ombrière photovoltaïque »")

1.4. Vignoble

Les installations d'agrivoltaïsme avec la viticulture sont au cœur des recherches de l'INRAE de Montpellier dans le cadre du programme Sun'agri développé par Sun'R. Pour la phase 3, deux dispositifs expérimentaux sur trois concernent des vignobles et plusieurs démonstrateurs sont en cours de construction au-dessus de vignes dans la région Occitanie. La société Ombrea, spécialisée en ombrière photovoltaïque, s'est elle

aussi lancé dans la construction de système d'agrivoltaïsme associé à une production de raisins, avec par exemple une installation sur la commune de Rians dans le Var.

Pour décrire de manière plus précise un projet, on peut citer le domaine de Nidolères dans les Pyrénées-Orientales⁶⁰. Cette installation en agrivoltaïsme dynamique est un des sites expérimentaux de Sun'Agri 3. Une surface de 5 ha a été couverte par des panneaux solaires pendant que 2,50 ha constitue une zone témoin. L'installation agrivoltaïque a pour objectif de protéger les feuilles des brûlures lors des fortes chaleurs et de l'exposition directe au soleil. L'ombre évite aussi les brûlures sur les grappes permettant de conserver plus d'arôme et préserver la qualité du vin tout en assurant les rendements. Aussi, l'ombre permet de conserver des concentrations de sucres convenables pour respecter les normes en matière de degrés d'alcool. L'agrivoltaïsme évite une perte trop importante d'acidité et limite l'évapotranspiration. Pour finir, les panneaux solaires tiennent un rôle d'abri contre le vent et les précipitations limitant ainsi le développement de maladies fongiques sur les feuilles et les grappes (oïdium et botrytis). La première récolte est attendue pour 2021 mais, pour l'instant, on peut d'ores et déjà constater que les vignes sous ombrières se portent mieux que les plants situés dans la zone témoin.



Illustration 21: Dispositif d'agrivoltaïsme au dessus d'un vignoble du domaine de Nidolères dans les Pyrénées-Orientales (Source : Domaine du Nidolères, <http://www.domainedenidoleres.com/Projet%20Viti-Photovoltaïque.pdf>)

En ce qui concerne le vignoble expérimental de Piolenc dans le Vaucluse, Les premiers résultats disponibles du programme Sun'agri 3 (vendanges 2019) sont très favorables à l'agrivoltaïsme. Malgré l'été caniculaire de 2019, la croissance des baies de grenache noir a continué correctement grâce à un développement de la surface foliaire.

60 Description du projet l'agrivoltaïsme au domaine de Nidolères : <http://www.domainedenidoleres.com/Projet%20Viti-Photovoltaïque.pdf>

La consommation en eau du vignoble expérimentale est un tiers moins élevé que sur la parcelle témoin. Le jus de raisin extrait est de très bonne qualité avec une augmentation du taux d'anthocyane et de l'acidité.⁶¹

1.5. Aquaculture

La recherche scientifique sur l'aquavoltaïsme a été étudiée dans la première partie du mémoire. En France, il s'agit d'un type d'agrivoltaïsme encore très peu développé avec seulement quatre exploitations recensées. Très peu d'informations sont disponibles pour une des installations située dans les Landes et associant un élevage de truites.

En Dordogne, un système d'agrivoltaïsme mêlant un élevage d'esturgeons pour la production de caviars avec une couverture de panneaux solaire a été mis en service en 2019. L'objectif de l'installation photovoltaïque est de réduire le stress lumineux puisque les esturgeons sont des poissons qui vivent en eau profonde. Elle permet aussi de réduire la vitesse de réchauffement de l'eau. En raison d'une meilleure maîtrise de l'oxygène, les panneaux solaires empêchent le développement d'algues dans les bassins. En plus des avantages pour les poissons, ce dispositif offre des intérêts pour les pisciculteurs avec la création d'un abri contre les intempéries permettant des meilleures conditions de travail.



Illustration 22: Structure d'agrivoltaïsme au dessus de plusieurs bassins d'élevage d'esturgeons à Neuvic, en Dordogne (Source : Lusine nouvelle, « Un triple effet solaire sur le caviar de Neuvic, 22 février 2018, <https://www.usinenouvelle.com/article/un-triple-effet-solaire-sur-le-caviar-neuvic.N655724>)

Une autre installation d'aquavoltaïsme est présente sur l'Île de la Réunion. L'exploitation des Cèdres se constitue de douze bassins piscicoles couverts par des ombrières photovoltaïques. Les panneaux solaires permettent de protéger les travailleurs

61 <http://www.journaldelenvironnement.net/article/de-l-agrivoltaisme-oui-mais-pas-n-importe-comment.103731>

face aux intempéries et à la chaleur tout en réduisant les pertes en eau lié à l'évaporation. Les ombrières protègent les poissons contre les prédateurs. L'ombre permet elle de réguler la température des bassins. L'ensemble de ces conditions permettrait une diminution d'environ 30 % de la mortalité des poissons.



Illustration 23 Installation aquanergies® d'Akuo Energy sur l'exploitation des Cèdres, dans l'île de la Réunion (Source : Akuo Energy, <https://www.akuoenergy.com/fr/aquanergie>)

Pour finir, il existe un projet en cours d'aquavoltaïsme sur l'étang de Thau qui associerait une activité d'ostréiculture avec une installation photovoltaïque flottante. L'objectif serait de couvrir l'ensemble des parcs à huîtres afin de créer une protection contre la Malaïgue, qui se caractérise par une grande propagation d'algues liée au réchauffement de l'eau. Comme ce phénomène naturel risque de se multiplier en raison du changement climatique, la protection grâce aux panneaux solaires permettra de lutter contre la baisse en teneur d'oxygène de l'eau et donc limitera la mortalité des huîtres.

2. Des logiques de la part des énergéticiens très différentes :

Pour analyser les différentes installations d'agrivoltaïsme existants en France, il est possible de réaliser une classification en fonction des logiques mise en œuvre par les sociétés de production d'énergie. En effet, trois principes différents caractérisent les dispositifs d'agrivoltaïsme. La logique la plus courante et la plus simple à installer est la construction de centrales au sol associé avec un élevage ovin. Pour les autres types

d'installations, deux logiques s'opposent : soit la société a une approche par la recherche ou soit elle souhaite s'imposer sur ce nouveau marché que représente l'agrivoltaïsme.

2.1. Les centrales photovoltaïques au sol associées à de l'élevage ovin : la forme d'agrivoltaïsme la plus simple à mettre en place pour les sociétés de production d'énergies renouvelables :

La logique des sociétés de production d'énergie la plus classique et la plus développée en France consiste à l'installation de centrales photovoltaïques au sol sur des terrains qui ne sont pas toujours à l'origine agricole. L'ajout d'une activité d'élevage ovin assure l'entretien en évitant une trop forte pousse d'herbe sous les panneaux et en réduisant ainsi le risque d'incendie. Cette logique est la moins complexe et la plus économique pour la société puisqu'elle consiste juste à l'ajout d'un troupeau et admet un coût global plus réduit que pour un entretien mécanique. En règle générale, le montage juridique de ce type d'installation d'agrivoltaïsme prend la forme d'un bail emphytéotique d'une vingtaine d'années pouvant être renouvelé. Le terrain de la centrale au sol est donc mise à disposition pour/par l'éleveur qui peut alors bénéficier d'une rémunération pour le service d'entretien ou pour la location d'une prairie. Les éleveurs sous contrat peuvent être des voisins de la centrale au sol ou être installés grâce au projet d'agrivoltaïsme. Les projets de centrale au sol avec élevage ovin peuvent être portés par des collectivités territoriales mais les sociétés de production d'énergie peuvent elles aussi intervenir en achetant des friches pour créer leur installation.

La mise en place d'un élevage ovin peut intervenir qu'après la construction de la centrale au sol. Ce type de logique permet de conserver une fonction agricole sur un terrain, même si le vrai intérêt de ce dernier reste la production d'électricité. Ainsi, dans ce cas-là, l'utilisation du terme d'agrivoltaïsme sert donc surtout à fournir une bonne image à l'électricien puisque le principe pour lequel l'activité agricole doit rester dominante n'est pas respecté. Les projets d'agrivoltaïsme sans réflexion agricole ne font pas figurer d'étude de type évaluation de la viabilité économique de l'activité d'élevage, évaluation des capacités fourragères,...

Cependant, il existe certaines sociétés comme Photosol qui dans le cadre de la création d'une centrale au sol réfléchit à un volet agricole avec la mise en place de cahiers des charges spécifiques. Ainsi, Photosol s'engage à installer ses panneaux à

plus d'un mètre du sol pour permettre la circulation des moutons, à installer des points d'eau servant d'abreuvoir, à créer un enclos s'il n'existe pas encore et à séparer de plus de deux mètres les panneaux afin de permettre la circulation d'engins agricole comme un quad ou un mini-tracteur. Aussi, Photosol assure un semis d'herbe pour avoir une prairie répondant aux besoins nutritifs des animaux d'élevage. Ce semis doit se faire en deux étapes : une première fois avant la création de la centrale puis un sur-semis après l'installation des panneaux.⁶²

Parfois, le choix des sociétés se porte sur des entreprises d'éco-pâturage qui se charge de mettre à disposition leurs moutons ou de trouver un éleveur. C'est le cas de la société Sergies⁶³ implantée dans la Vienne et ayant des centrales principalement dans l'ex Poitou-Charentes et dans les départements voisins. Elle admet comme partenaire l'entreprise E2P2solaires chargée de l'entretien des parcs photovoltaïques. L'entreprise propose soit des entretiens mécaniques ou soit de l'entretien par éco-pâturage. Ainsi, en fonction des possibilités qu'offre le terrain, Sergies passe un accord auprès de E2P2solaire pour mettre en place un entretien avec élevage ovin. L'entreprise se charge alors de trouver des éleveurs professionnels pouvant installer leurs moutons au niveau de la centrale au sol.

2.2. Une approche de l'agrivoltaïsme par la recherche

Certaines sociétés de production d'énergie abordent le développement de l'agrivoltaïsme par la recherche scientifique. Cette approche consiste à s'associer avec des chercheurs ou des sites expérimentaux afin d'analyser les intérêts agronomiques de l'agrivoltaïsme et pouvoir ensuite lancer un développement commercial si les résultats sont favorables à une certaine forme de dispositif. L'approche par la recherche permet ainsi de s'assurer que les structures photovoltaïques n'ont aucun impact négatif pour préserver une activité agricole et qu'elles pourraient assurer des bénéfices pour les rendements agricoles. Sans l'approuver, on peut supposer que les sociétés d'énergie abordant l'agrivoltaïsme par la recherche visent à bénéficier d'une image positive auprès

62 http://www.allier.gouv.fr/IMG/pdf/18_07_27_-_1._volet_agricole.pdf

63 Sergies est une société par actions simplifiée fondée en 2021. Sa création fait suite à une volonté de la part des 265 communes adhérentes alors au Syndicat ÉNERGIES VIENNE.

des agriculteurs afin de montrer que les questions agronomiques sont au cœur de leurs réflexions.

La société la plus importante dans ce type d'approche de l'agrivoltaïsme est Sun'R qui, comme nous l'avons pu indiquer en première partie, est à l'origine du programme de recherches Sun'agri. Sun'R est une société française spécialisée dans l'énergie solaire qui fut fondée en 2007. Elle est divisée en trois branches d'activité : Sun'R Power pour le développement du photovoltaïsme, Volterres pour la fourniture en électricité et Sun'agri depuis 2008 pour le développement de l'agrivoltaïsme. Cette dernière branche d'activité fut fondée à l'occasion d'un programme de Recherche& Développement mise en place en collaboration avec l'INRAE de Montpellier. Le programme de recherche Sun'agri s'étend sur trois phases entre 2009 et 2022 (Voir la partie 1). L'objectif final pour Sun'R est de pouvoir, après 2022, lancer sur le marché la meilleure structure d'agrivoltaïsme fixe ou/et dynamique qui respecte l'ensemble des conditions agronomiques.

La Compagnie Nationale du Rhône, premier producteur d'énergie renouvelable en France et concessionnaire du Rhône pour la production d'hydroélectricité, la navigation fluviale et l'irrigation agricole, s'est elle aussi intéressé à l'agrivoltaïsme en développement une approche par la recherche. Elle a lancé en 2020 un programme de recherches sur trois ans en partenariat avec le lycée agricole EPLEFPA de Lyon-Dardilly-Ecully⁶⁴ qui propose des formations en lien avec l'horticulture et le paysage. 6000 m² de panneaux solaires divisés en deux sites ont été installés en plein champs et sur une pépinière afin de protéger les végétaux cultivés contre les aléas climatiques et limiter l'évaporation. Pour la CNR, ce programme de recherches « vise à démontrer que la gestion d'un microclimat, généré par les panneaux solaires mobiles déployés au-dessus des zones de cultures, permet de les protéger, d'en augmenter la productivité, de diminuer la consommation d'eau tout en répondant aux besoins essentiels de la plante » (CNR, « Des parcelles agrivoltaïques dans le Rhone », 13 janvier 2020) ⁶⁵.

Pour finir sur cette approche par la recherche, nous pouvons aussi citer la société Photosol qui a fait appel à l'Institut Français d'Opinion Publique pour réaliser un sondage sur la perception de l'énergie photovoltaïque des français. Ce sondage a été réalisé en

64 Site internet du lycée agricole : <https://www.agri-lyon-dardilly-ecully.fr/>

65 <https://www.cnr.tm.fr/actualites/des-parcelles-agrivoltaiques-dans-le-rhone/>

janvier 2020 auprès de 2002 personnes majeur représentative de la population française⁶⁶. Parmi les questions posées, certaines s'intéressaient au sujet de l'agrivoltaïsme. Ce sondage a ainsi pu mettre en valeur que 23 % des sondés ont déjà entendu parler de l'agrivoltaïsme mais que ce dernier reste très méconnu puisque seulement 5 % ont pu décrire précisément à quoi correspondait ce dispositif. Il a aussi permis de montrer que près de 8 personnes sur 10 parmi celles ayant répondu sont prêt à visiter une centrale solaire agrivoltaïques pour découvrir ce nouveau type de production d'électricité. Le sondage a ainsi permis à la société Photosol de mesurer le besoin de communication nécessaire pour faire découvrir et faire accepter l'agrivoltaïsme⁶⁷.

2.3. Des énergéticiens voulant s'imposer sur la question de l'agrivoltaïsme

L'agrivoltaïsme est un axe de recherche scientifique relativement récent mais dans les premiers résultats se sont montrés relativement favorable dès lorsqu'une grande réflexion est réalisée sur le volet agricole. Bien que la réglementation française possède encore de nombreux flous, l'agrivoltaïsme commence à se développer sur le terrain entraînant ainsi l'ouverture d'un nouveau marché économique sur lequel certains énergéticiens tentent de s'imposer pour devenir la société de référence. Deux sociétés dans ce cas là ont pu être recensées : Ombrea et Akuo Energies.

La société d'Ombrea est une start-up fondée en 2016 et basée à Aix-en-Provence qui s'est spécialisée dans la construction d'ombrières photovoltaïques. Dès sa création, la société a fait le choix de se tourner sur les questions d'agrivoltaïsme en créant une solution technique offrant la possibilité aux agriculteurs de pouvoir cultiver en plein champs dessous des panneaux photovoltaïques sans compromettre leurs résultats agronomiques (maraîchage, horticulture et viticulture). Le système d'Ombrea permet de créer un microclimat et est présenté comme une protection des cultures contre les aléas climatiques, une solution pour assurer une hausse des rendements et une amélioration

66 Résultats du sondage : <https://www.ifop.com/wp-content/uploads/2020/03/116951-Pr%C3%A9sentation-pour-site-Internet.pdf>

67 <https://www.clesdelatransition.org/acteurs-du-monde-rural/lagrivoltaisme-une-pratique-qui-merite-detre-con nue>

de la qualité des récoltes, un outil pour réguler les températures et maîtriser l'irrigation ainsi qu'une technique pour réduire les intrants phytosanitaires sur la culture.

La société met en avant le dispositif sur son site internet en citant les premiers résultats de leurs installations obtenus grâce aux capteurs installés sur les exploitations agricoles⁶⁸. Ainsi, pour les cas de cultures maraîchères, le système d'Ombrea permettrait d'obtenir 63 % plus de fruit que sur des cultures traditionnelles. Les tomates consommeraient 43 % d'eau en moins que sans les panneaux. Aussi, il y aurait 50 % moins de risque d'avoir une montaison des salades lors des fortes chaleurs. Pour les vignes, la société a observé une diminution de 5 % de la quantité de sucres pendant que les grappes seraient 4 % plus lourds que dans un vignoble classique. Avec ses résultats, Ombrea se présente comme une société engagée auprès des agriculteurs pour proposer une solution technique face aux conséquences du changement climatique. Ombrea cherche à se démarquer dans les questions d'agrivoltaïsme mais elle n'est pas la première à se présenter comme précurseur puisque Akuo Energy a lancé le concept d'Agrienergie® dès 2007.



Illustration 24 Système développé par Ombrea au dessus d'un vignoble (Source : Ombrea, <https://www.pv-magazine.fr/2019/12/05/ombrea-des-synergies-entre-lagricole-et-le-photovoltaïque-sont-possibles-dans-certains-cas-de-figure/>)

Akuo Energy est une société française fondée en 2007 et spécialisée dans la production d'énergie renouvelable à l'échelle du monde avec pour activité le photovoltaïque, l'éolien, la biomasse et l'hydroélectricité. Akuo se présente comme un acteur « engagé et innovant de la transition écologique et solidaire ». La société s'engage tout particulièrement dans les zones insulaires, et notamment sur l'Île de La Réunion, afin de proposer une autonomie en électricité. Or, les espaces insulaires constituent des territoires très concernés par la disparition des terres arables en raison

68 <https://www.ombrea.fr/le-systeme>

de la concurrence foncière entre l'activité agricole, la production d'énergie renouvelable, l'urbanisation et le développement économique.

Face à ce constat, Akuo Energy a créé un nouveau concept semblable à l'agrivoltaïsme, bien que le programme Sun'agri ait débuté deux années plus tard : l'Agrinergie®. Akuo définit cette solution comme « un concept innovant qui conjugue sur un même espace production agricole et production d'énergie ». Akuo Energy se charge de financer les équipements nécessaires à la production agricole grâce à la vente d'électricité et en concertation avec les partenaires chargés du volet agricole. Ces équipements sont mis à disposition gratuitement pour l'agriculteur. L'installation photovoltaïque est sélectionnée en fonction des caractéristiques du terrain et de la culture associée. Ainsi les projets d'Agrinergie® peuvent prendre la forme de centrale au sol avec culture intercalaire entre les panneaux ou directement en-dessous de ces derniers (Agrinergie® de première génération), d'ombrière photovoltaïque ou encore de serres solaires (Agrinergie® de seconde génération). La société Akuo dispose de ses propres agronomes qui vont participer à définir le projet agricole avec valorisation des cultures et des savoir-faire traditionnels afin d'inscrire la démarche dans une logique de durabilité. En 2020, il existe plus de 27 projets d'Agrinergie® dans le monde dont 25 en France avec 10 exploitations sur l'Île de la Réunion.⁶⁹



Illustration 25: Installation agrinergie® réalisée par Akuo Energies sur l'île de la Réunion. Dans cette serre photovoltaïque, une culture de fleurs et de fruit est réalisée. (Source : Akuo Energy, AGRINERGIE I, [https://www.akuoenergy.com/fr/agrinergie-95-](https://www.akuoenergy.com/fr/agrinergie-95-fr)

fr)

69 Présentation du concept de l'Agrinergie® : <https://www.akuoenergy.com/fr/agrinergie>

Sur le même principe que l'agrinerie®, Akuo Energy a développé un autre concept spécifique à l'aquaculture : l'aquanergie®. Il existe pour l'instant qu'une seule installation. Il s'agit de l'exploitation des Cèdres sur l'Île de la Réunion. L'aquanergie® doit permettre d'abriter les poissons contre les prédateurs, d'optimiser la gestion de l'eau, de protéger les salariés contre les fortes chaleurs, d'éviter une trop forte élévation des températures dans les bassins d'élevage, de faciliter l'oxygénation grâce à la production d'ombre tout en améliorant les conditions de vie des poissons.⁷⁰

3. La place des collectivités territoriales dans les projets d'agrivoltaïsme :

Une troisième classification des installations d'agrivoltaïsme français peut être réalisé en analysant le rôle des collectivités territoriales. En effet, selon les cas, la collectivité peut être entièrement neutre face à un projet ou juste émettre des avis et distribuer des subventions sans intervenir dans la construction du projet. À l'inverse, certaines collectivités peuvent tenir un rôle essentiel face à un projet d'agrivoltaïsme en étant à la base de la construction ou en militant contre la création d'une centrale dont le maître d'ouvrage est un acteur privé. Dans les Pyrénées-Orientales, une commune a été encore plus loin dans son projet d'agrivoltaïsme en élaborant toute une réflexion sur le développement agricole.

3.1. Des collectivités territoriales neutre sur l'agrivoltaïsme

En France, un certain nombre de projets se font sans l'intervention directe d'une collectivité territoriale. Elle n'est pas maître d'ouvrage et est simplement consultée. Elle intervient dans la partie administrative pour ce qui concerne le droit de l'urbanisme avec la distribution de permis de construire et peut parfois attribuer des subventions, tout en restant neutre sur le projet. En effet, certains projets d'agrivoltaïsme peuvent faire intervenir des propriétaires et des sociétés privés. Par exemple, si les élus locaux n'ont aucun droit de préemption, une société de production d'énergie peut acheter une parcelle dans une zone non agricole du PLU afin de construire une centrale avec élevage ovin. Parallèlement, les agriculteurs peuvent aussi être eux-mêmes les porteurs de projet pour la création d'un dispositif d'agrivoltaïsme sur leur exploitation dès lorsqu'ils ont pu mettre

70 Présentation du concept de l'Aquanergie®: <https://www.akuoenergy.com/fr/aquanergie>

en avant des intérêts pour le développement de leurs activités. Pour citer un exemple, un projet de construction de l'une des plus grandes centrales solaires au sol de la Creuse est actuellement mené par un agriculteur retraité sur la commune d'Aubusson⁷¹. Cet agriculteur, qui met en location ses terres à un autre éleveur et est déjà engagé dans le photovoltaïque sur toiture, souhaite créer une centrale solaire de 21,5 ha auxquels sera associé de l'élevage ovin et une production maraîchère. Pour ce projet, la communauté de communes Creuse Grand sud est intervenu seulement en votant la révision du PLU afin d'autoriser la production d'énergie renouvelable dans la zone Agricole.

Les collectivités territoriales peuvent aussi soutenir un projet d'agrivoltaïsme sans tenir un rôle d'acteur principal dans la création de la centrale solaire. Ainsi, à Bouloc en Haute-Garonne, les élus de la commune ont soutenu le projet du couple d'éleveurs partant en retraite car la location des terrains pour l'installation photovoltaïque va permettre au couple d'avoir une retraite plus convenable. La commune touchera 35 000 € de taxe professionnelle de la part d'EDF Energies Nouvelles, malgré qu'avant la réforme elle aurait dû bénéficier de 300 000 euros ⁷². Le soutien des collectivités n'intervenant pas directement sur le projet peut aussi se faire en montrant une certaine méfiance face à l'agrivoltaïsme. Elle s'exprime souvent par la peur de perdre des surfaces agricoles utiles sur des territoires à dominante rurale. Ainsi, le maire de Bellegarde dans le Gard, Juan MARTINEZ, a fait part de ses craintes sur la possible compétition entre production agricole et production d'énergie renouvelables le 5 juin 2019, lors de la journée de lancement par la Maif d'un fonds de 50 millions d'euros servant à financer les projets mêlant photovoltaïques et agriculture biologique. Pour rassurer le maire, le ministre de la transition écologique - François de Rugy - présent lors de cette journée a expliqué que ce type de dispositif n'a pas pour but de « manger » des terres agricoles mais de disposer d'une complémentarité entre l'activité agricole et les ombrières photovoltaïques.⁷³

71 https://www.lamontagne.fr/aubusson-23200/actualites/un-agriculteur-d-aubusson-veut-creer-l-un-des-plus-importants-parcs-solaires-de-la-creuse-sur-ses-terres_13820403/

72 <https://www.ladepeche.fr/article/2011/03/16/1036186-bouloc-30-ha-solaire-terres-friche.html>

73 <https://www.lafranceagricole.fr/actualites/financement-du-bio-alombre-du-photovoltaïque-1.7.3408546193.html>

Pour finir, le soutien indirect à un projet d'agrivoltaïsme dont la collectivité ne tient pas un rôle d'acteur principal peut prendre la forme d'un soutien financier. C'est le cas par exemple avec l'expérimentation menée par la Compagnie Nationale du Rhône au sein du Lycée agricole EPLEFPA de Lyon-Dardilly-Ecully. Le projet est en effet soutenu par la région dans le cadre du Plan d'adaptation aux aléas climatiques en faveur des agriculteurs qui fut lancé le 3 octobre 2019 lors du sommet de l'élevage de Cournon-d'Auvergne par Laurent WAUQUIEZ – président de la région Auvergne-Rhône-Alpes.

3.2. Des collectivités jouant un rôle actif au niveau des projets d'agrivoltaïsme :

Une deuxième catégorie de logique peut regrouper tous les projets d'agrivoltaïsme où les collectivités territoriales vont tenir un rôle principal. Deux sous-catégories peuvent être construites : soit la collectivité constitue un acteur d'opposition essentiel face à un projet mené par une société privée ou soit la collectivité est elle-même porteuse du projet, prenant souvent la forme de centrale au sol avec éleveurs ovins.

Lorsqu'un projet d'agrivoltaïsme admet pour maître d'ouvrage une société privée, des oppositions peuvent subvenir directement de la part des élus locaux allant jusqu'à la création d'un conflit d'acteur. Dans le cas du projet Solarzac, à Le Cros dans le département du Hérault, le projet n'a pas fait l'unanimité chez les élus. En effet, bien que le projet a été soutenu par la commune, la Communauté de Communes du Lodévois et Larzac a voté un avis défavorable au projet d'Arkolia énergies pendant que le projet a été non approuvé par le conseil régional malgré l'engagement de l'Occitanie pour le développement des énergies renouvelables. Cette opposition de la communauté de communes et de la région est donc venue amplifier le conflit déjà mené par des éleveurs, des naturalistes et des habitants.

Un autre conflit est apparu en Gironde entre le maire de Louchats, Philippe CARREYRE, et la société Photosol. Sur cette commune entourée par la forêt des Landes, le terrain où est positionnée la centrale photovoltaïque entretenue par un troupeau ovin a connu 5 feux de broussailles entre 2014 et 2019. Pour le maire, ces incendies sont dus à l'installation photovoltaïque puisque les moutons ne se nourrissent pas de herbe présente sous les panneaux en raison des ondes et de la chaleur. Ainsi, pour dénoncer la présence de la centrale solaire de Photosol sur sa commune, le maire a

proposé au conseil municipal d'acheter des chapeaux pour chacun des moutons afin d'éviter que ces derniers n'attrapent une insolation⁷⁴.

Cependant, les collectivités territoriales ne sont pas toutes opposés à la création de projet d'agrivoltaïsme sur leurs communes et elles peuvent être régulièrement maître d'ouvrage pour la valorisation de terrains leurs appartenant. Dans la majorité des cas, la création de centrales photovoltaïques au sol entretenu par un troupeau ovin permet de valoriser économiquement une friche ou une ancienne zone de dépôts de déchets non dangereux. La commune peut bénéficier de la production d'électricité sur son territoire pendant que l'entretien est confié à un éleveur voisin. Ainsi par exemple, sur la commune de Bioule, dans le Tarn-et-Garonne, le conseil municipal a passé un contrat avec les propriétaires de terrains agricoles en déprise où aucun repreneur n'a pu être trouvé. Les propriétaires toucheront un loyer pendant que la commune a lancé un marché public pour sélectionner un éleveur ovin afin d'entretenir la centrale photovoltaïque construite par la société NEOEN.

Le projet d'une collectivité territoriale peut aussi aller jusqu'à l'installation de nouveaux agriculteurs. On peut observer le cas à Piolenc dans le Vaucluse. Le conseil municipal a fait appel à la société Akuo Energy pour construire un projet d'Agrinergie® en complément de la centrale photovoltaïque flottante O'MEGA sur une ancienne carrière d'extraction de matériaux devenue propriété communale. Ainsi, trois hectares aux abords du lac artificiel sont consacrés à la production maraîchère et à l'arboriculture. La commune a permis l'installation d'un agriculteur qui sera en charge d'alimenter les cantines scolaires.

Parfois, le projet d'agrivoltaïsme peut dépasser la simple volonté de produire de l'électricité avec un entretien assuré par un élevage ovin en venant s'inscrire dans une logique de développement locale. La commune d'Ortaffa dans les Pyrénées-Orientales a ainsi instauré un projet exemplaire permettant de revaloriser l'activité agricole sur un secteur en déprise.

74 <https://www.sudouest.fr/2019/02/20/gironde-le-maire-veut-acheter-des-chapeaux-a-des-moutons-pour-protester-contre-le-photovoltaïque-5837618-2973.php>

3.3. La centrale photovoltaïque d'Ortaffa, un projet exemplaire de revalorisation agricole porté par le conseil municipal :

La commune d'Ortaffa est localisée dans la région Occitanie, au sud-est du département des Pyrénées-Orientales. Il s'agit d'une commune rurale d'environ 1500 habitants. Le maire de la commune est Raymond PLA, membre du Parti radical de gauche et retraité agricole. Il fut élu pour la première fois en 1986 et a été réélu en 2020 pour son 7^{ème} mandat. Comme de nombreuses autres communes rurales françaises, Ortaffa se caractérise par un phénomène de déprise agricole.

Afin de produire de l'énergie renouvelable pour la commune, en concertation avec la population, le conseil municipal a contacté dès 2007 la société allemande Juwi EnR afin de faire construire une centrale photovoltaïque au sol. Le choix du terrain s'est tourné vers une friche de 87 hectares, peu visible et très morcelé avec une soixantaine de propriétaires. Ce secteur admet peu de valeur agronomique et a longtemps été victime d'un arrachage massif avant d'être abandonné. Un contrat fut passé avec les propriétaires afin que la commune puisse instaurer un projet de valorisation agricole en guise de mesure compensatoire à la construction de la centrale photovoltaïque.

Sur la friche divisée en 10 enclos, 25 hectares de panneaux photovoltaïques ont été implantés en 2013 sur un total de prairie de 68 ha pour une puissance totale de 25 MWc. Ainsi se sont 300 000 modules qui ont été construits ainsi que 25 locaux techniques. La production d'électricité est estimée à 35,5 Millions de KWh / an soit l'équivalent de la consommation de 6450 foyers ou de 15 000 personnes pour une production de CO2 évité estimé à 311 000 tonnes.

Avec la construction d'une centrale photovoltaïque au sein de cette friche agricole, la volonté de la commune était de redynamiser l'activité agricole grâce à la signature de trois chartes qui permettait ainsi de valoriser l'économie locale tout en protégeant l'environnement et en produisant une énergie renouvelable. La société Juwi s'est engagée à investir plus de 500 000 euros pour la redynamisation agricole de la zone en échange du terrain pour créer la centrale solaire.

La première charte, signée en octobre 2009, concerne l'activité viticole à l'échelle de la commune et notamment au niveau du secteur de projet, là où l'activité viticole

connaît la plus forte déprise de ces dernières années. Ainsi, la commune propose un soutien financier pour les viticulteurs souhaitant planter des nouveaux cépages de qualité (AOP ou IGP). L'objectif visé est une replantation en vignes sur la commune d'au moins 43 hectares, correspondant à la surface arrachée pour créer la centrale solaire. Aussi, la charte comprend une aide pour les viticulteurs qui ne souhaitent pas planter mais veulent investir dans de nouveaux équipements ou dans le développement de la commercialisation... Le but de cette charte est de créer de nouvelles surfaces de vignoble reconnues pour la qualité en complément de la création de la nouvelle centrale solaire.

La deuxième charte est pour l'élevage ovin et concerne la zone de projet de création de la centrale solaire. Elle a été signée en juillet 2010 et vise l'installation d'un éleveur afin d'entretenir le terrain où est localisée la centrale photovoltaïque. Les 68 ha de prairie seront mis à disposition de l'éleveur après un ensemencement en variété fourragère. L'éleveur bénéficiera des 10 enclos mais devra élever des moutons de la race locale « Rouge du Roussillon » afin de relancer cette dernière.

La dernière charte, signée en novembre 2011, est pour le développement de l'activité apicole dans les petits terrains non occupés par la centrale photovoltaïque. Elle vise là aussi à la préservation d'une race locale : l'abeille noire du Roussillon. La production de miel devra se faire en respect du cahier des charges de l'agriculture biologique. La charte a pour objectif l'installation d'un apiculteur avec 200 ruches. La commune, Juwi EnR et son partenaire local Shandong's stars s'engagent à semer 15 ha du projet en variété mellifère et à aider financièrement l'achat de reines, d'essaims et de matériel apicole.



Illustration 26: Plan de la centrale photovoltaïque d'Ortaffa (Source : <file:///C:/Users/UTILIS~1/AppData/Local/Temp/intervention-Ortaffa.pdf>)

Le travail de collaboration entre la commune et Juwi EnR a permis de revaloriser l'activité agricole en assurant une pérennité pour au moins 30 ans, durée prévue par les chartes. Ce projet de centrale photovoltaïque établi avec les habitants et le secteur agricole s'inscrit ainsi dans une vraie démarche de développement durable apportant de nombreux bénéfices économiques (vente de l'électricité par la commune, installation d'un éleveur et d'un apiculteur, aides pour le développement de l'activité viticole déjà présente,...), sociaux (prise en compte des habitants dans la création du projet, préservation du paysage agricole...) et écologique (entretien de la centrale par éco-pâturage, préservation de race locale...).

CONCLUSION : QUEL AVENIR POUR L'AGRIVOLTAÏSME ?

Dans le cadre de ce mémoire, la question de l'agrivoltaïsme a été abordée en trois axes différents. Dans un premier temps, nous avons étudié la recherche scientifique internationale et constaté que cette dernière actuellement un fort développement suite aux premiers travaux des années 80 publiés par le Fraunhofer-Gesellschaft. Nous avons ensuite zoomé sur les politiques européenne et française ainsi que sur la réglementation face aux projets d'agrivoltaïsme. Pour finir, à partir de la réalisation d'une base de données des projets français, nous avons pu réaliser trois types de classification permettant d'étudier la forme que prend l'agrivoltaïsme.

Ce travail avait pour but de répondre à la problématique de départ, qui pour rappel était : en respect des politiques et réglementations européennes et françaises, quelles formes peut prendre l'agrivoltaïsme en France, afin d'assurer une symbiose entre la production d'électricité et la production agricole, tout en limitant les potentiels conflits liés à l'usage du sol ? Trois hypothèses avaient été émises à la suite de ce questionnement sur lequel nous pouvons maintenant apporter des précisions.

Pour la première hypothèse, nous avons déclaré que l'agrivoltaïsme, objet d'étude récent, pouvait s'avérer être une solution d'avenir afin de protéger les cultures les plus tolérantes à l'ombre, des changements globaux du climat. L'agrivoltaïsme consiste à chercher une symbiose entre production agricole et photovoltaïsme afin que les panneaux solaires protègent les cultures face à un trop fort ensoleillement et aux chaleurs les plus élevées. La recherche sur l'agrivoltaïsme s'inspire de celle sur l'agroforesterie en ce qui concerne le risque de concurrence pour la lumière. Comparé à l'agroforesterie, l'agrivoltaïsme n'admet pas de problématique directe en matière d'accès aux nutriments du sol pour les espèces cultivées. Pour le cas de l'eau, l'étude porte sur la question de distribution spatiale et non sur la concurrence. L'agrivoltaïsme est un objet d'étude pluridisciplinaire faisant intervenir des spécialistes en énergie, des ingénieurs et aussi surtout des agronomes comme l'INRAE de Montpellier. L'agriculture doit représenter l'activité prioritaire d'où l'importance de la participation des chercheurs en agronomie.

Pour notre deuxième hypothèse, nous avons proposé qu'étant donné que l'agrivoltaïsme est conçu pour ne pas rendre concurrente l'activité photovoltaïque avec l'activité agricole, ce dispositif constitue une voie pour réduire les conflits d'usages relatifs au foncier. Cependant, nous avons pu constater en deuxième partie que cette hypothèse n'est pas toujours validée puisque d'autres éléments, autre que les questions foncières, peuvent entraîner des oppositions. L'agrivoltaïsme commence juste à être abordé dans les politiques européenne et française. Quant à la réglementation, elle n'aborde pas encore la notion et admet ainsi de nombreux flous. Pour connaître les règles nécessaires, il faut regarder soit le cas des centrales au sol ou soit le cas des serres photovoltaïque pendant que les installations avec ombrières sont elles pas encore réglementées. La réglementation vis-à-vis de l'agrivoltaïsme doit être précisée afin d'éviter la multiplication de projet avec une réflexion sur le volet agricole bâclé, comme ce fut le cas il y a quelques années pour certaines serres photovoltaïques en région Occitanie. En ce qui concerne les centrales au sol, si les oppositions portent sur les questions paysagères, alors l'agrivoltaïsme ne peut rien apporter voire même faire amplifier le conflit puisque les panneaux sont situés à plus d'un mètre de haut. À l'inverse, si le conflit porte sur la concurrence foncière, alors l'agrivoltaïsme pourrait s'avérer une solution si la fonction agricole n'est pas négligée et que les terrains avec les meilleures compétences agronomiques ne soient pas transformés en prairie pour l'élevage ovin.

Pour finir, dans le cadre de la troisième hypothèse nous avons émis que la façon dont se combinent les deux fonctions, agricole et énergétique, n'obéit pas à un modèle unique dominant mais dépend de plusieurs facteurs interdépendants parmi lesquels le type de production agricole, la localisation du projet et le type/nombre d'acteurs qui jouent des rôles essentiels. La construction d'une base de données regroupant de façon non exhaustive les projets français a permis de mesurer la diversité des formes que peut prendre l'agrivoltaïsme. L'installation de panneaux solaires peut mêler des activités agricoles diverses allant du simple élevage ovin à des projets plus poussés combinant de l'activité viticole ou maraîchère. Comme nous avons pu le voir aussi, les projets peuvent être réalisés par des acteurs très multiples avec à la fois des agriculteurs, des collectivités territoriales ou des sociétés d'énergies privées. Ces dernières peuvent

intervenir en s'imposant sur le marché ou en développant des partenaires avec la recherche scientifique.

Quoi qu'il en soit, l'agriculture admet un grand potentiel pour le développement du photovoltaïque puisqu'elle dispose de grandes surfaces et que les exploitations sont souvent éloignées des usines de production d'énergies et des réseaux électriques ordinaires (CARREÑO et al., 2017). Si une volonté politique d'ampleur se développe et que la réglementation se précise, l'agrivoltaïsme est promis à un grand avenir puisqu'il offrirait une capacité à l'activité agricole pour s'adapter aux changements climatiques.

Afin de mesurer l'intérêt de l'agrivoltaïsme pour l'agriculture et développer les possibilités en fonction des espèces cultivées, la recherche scientifique s'avère plus que nécessaire d'être poursuivie. En effet, il est nécessaire de s'assurer que l'adaptation à l'ombre permet bien de conserver les qualités nutritives et que l'agrivoltaïsme n'entraîne pas une diminution du rendement et des rentabilités pour l'agriculteur. L'agrivoltaïsme tient aujourd'hui une place de plus en plus importante dans la recherche sur les questions agricoles. Ainsi, le tout premier congrès international sur l'agrivoltaïsme se déroulera du 14 au 16 octobre 2020⁷⁵ à Perpignan, avec comme président du comité scientifique Christian DUPRAZ, un des principaux chercheurs de l'INRAE de Montpellier sur ce sujet de recherche.

75 Le congrès « AgriVoltaics2020 » devait à l'origine se dérouler du 26 au 28 août 2020 mais la date a été reportée en raison de la crise sanitaire liée au Covid-19. Site internet du congrès : <https://www.agrivoltaics-conference.org/home.html>

BIBLIOGRAPHIE

● Article scientifique :

→ Articles généraux :

- AROCA-DELGADO Raúl, PÉREZ-ALONSO José, CALLEJÓN-FERRE Ángel Jesús, VELÁZQUEZ-MARTÍ, « Compatibility between crops and solar panels : an overview from shading systems », *Sustainability*, volume 10, 2018, 19 pages
- BAGGIONI Vincent, «Le dénéveloppement des parcs solaires en région PACA », *Rives Méditerranéennes* , 51, 2015, p, 31-50
- BRUDERMANN Thomas, REINSBERGER Kathrin, ORTHOFER Anita, KISLINGER Martin, POSCH Alfred, « Photovoltaics in agriculture : a case study on decision making of farmers », *Energy Policy*, 61, 2013, pages 96-103
- CAMPIOTTI Carlo Alberto, BELMONTE A., CATANESE V., DI CARLO F., DONDI F., SCOCCIANTI M., LUCERTI G., « Renewable energy for greenhouse agriculture », *Journal of sustainable energy*, volume 1 (n°2), 2010, 4 pages
- CHEL A., KAUSHIK G., « Renewable energy for sustainable agriculture », *Agronomy for Sustainable Development*, 31, 2011, pages 91-118
- PEARCE Joshua M, « Photovolataic: a path to sustainable Futures ». *Futures*, 34(7), 2002, p. 663-674.
- MAJUMDAR Debaleena, PASQUALETTI Martin J., « Analysis of land availability for utility-scale power plants and assessment of solar photovoltaic development in the state of Arizona, USA », *Renewable Energy*, volume 134, 2019, pages 1213-1231
- MEKHILEF Saad, FARAMARZI S.Z., SAIDUR Rahman, SALAM Zainal, « The application of solar technologies for sustaibable development of agricultural sector », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volume 18, 2013, pages 583-594
- NONHEBEL Sandrine, « Renewable energy and food supply : will there be enough land ? », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 9, 2005, pages 191-201

- VOURDOUBAS John, DUBOIS Olivier, « Energy and agri-food systems : production and consumption », *Mediterra*, 2016, pages 155-174

→ **Articles européens sur l'agrivoltaïsme étudiés dans la Partie 1 :**

- ALLARDYCE Claire S., FANKHAUSER Christian, ZAKEERUDDIN Shaik M., GRATZEL Michael, DYSON Paul J., « The influence of greenhouse-integrated photovoltaics on crop production », *Solar Energy*, volume 155, 2017, pages 517-522

- AMADUCCI Stefano, YIN Xinyou, COLAUZZI Michele, « Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production », *Applied Energy*, volume 220, 2018, pages 545-561

- CAMPIOTTI Carlo Alberto, BIBBIANI Carlo, ALONZO Giuseppe, BIBBIANI Carlos, DONDI Y., CATANESE Y., GENOVESE A., INCROCCI Luca, « Photovoltaic as sustainable energy for greenhouse and closed plant production system », *Acta Horti*, 797, 2008, pages 373-378

- CARREÑO-ORTEGA Angel, GALDEANO-GÓMEZ, PÉREZ-MESA Juan Carlos, DEL CARMEN GALERA-QUILES María, « Policy and environmental implications of photovoltaic systems in farming in Southeast Spain : can greenhouses reduce the greenhouse effect ? », *Energies*, volume 10, 2017, 24 pages

- DE CARNÉ CARNAVALET Christian, MASAFONT Joris, CLARAC Jean-Pierre, « L'agrivoltaïsme comme outil d'urbanisme pour reconquérir les paysages agricoles », *anthos*, Volume 4-2018 « Agriculture et nourriture », 2018

- DUPRAZ Christian, MARROU Hélène, TALBOT Grégoire, DUFOUR Lydie, NOGIER Antoine, FERARD Yoann, « Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use : Towards new agrivoltaic schemes », *Renewable Energy*, 36, 2011, pages 2725-2732

- ELAMRI Yassin, CHEVIRON Bruno, LOPEZ Jean-Marie, DEJEAN Cyril, BELAUD Gilles, « Water budget and crop modelling for agrivoltaic systems : Application to irrigated lettuces », *Agricultural Water Management*, 208, 2018, pages 440-453

- ELAMRI Yassin, CHEVIRON Bruno, MANGE Annabelle, DEJEAN Cyril, LIRON François, BELAUD Gilles, « Rain concentration and sheltering effect of solar panels on cultivated plots », *Hydrology and Earth System Sciences*, 22 (2), 2018, pages 1285-1298

- GOETZBERGER Adolf, ZASTROW Armin, « On the coexistence of solar-energy conversion and plant cultivation », *International Journal of Solar Energy*, 1, 1982, pages 55-69

- MARROU Hélène, DUFOUR Lydie, WERY Jacques, « How does a shelter of solar panels influence water flows in a soil-crop system ? », *European Journal of Agronomy*, volume 50, 2013, pages 38-51
- MARROU Hélène, GUILIONI Lydie, DUFOUR Lydie, DUPRAZ Christian, WERY Jacques, « Microclimate under agrivoltaic systems : is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels ? », *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, 2013, pages 117-132
- MARROU Hélène, WERY Jacques, DUFOUR Lydie, DUPRAZ Christian, « Productivity and ration use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels », *European Journal of Agronomy*, 44, 2013, pages 54-66
- MARUCCI Alvaro, CAPPUCCINI Andrea, « Dynamic photovoltaic greenhouse : Energy balance in completely clear sky condition during the hot period », *Energy*, volume 102, 2016, pages 302-312
- MORETTI Simona, MARUCCI Alvaro, « A photovoltaic greenhouse with variable shading for the optimization of agricultural and energy production » *Energies*, 12 (13), 2019, p, 2589
- PEREZ-ALONSO José, PEREZ-GARCIA Manuel, PASAMONTES-ROMERA M., CALLEJÓN-FERRE Angel-Jesus, « Performance analysis and neural modelling of a greenhouse integrated photovoltaic system », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, volume 16, issue 7, 2012, pages 4675-4685
- PONCET Christine, MULLER M.M., BRUN R., FATNASSI Hicham, « Photovoltaic greenhouses, non-sense or a real opportunity for the greenhouse systems ? », *Acta Horti*, 927, 2012, pages 75-79
- SACCHELLI S, GAREGNANI G, GERI F, GRILLI G, PALETO A, ZAMBELLEI P, CIOLLI M, VETTORATO D, « Trade-off between photovoltaic systems installation and agricultural practices on arable lands: an environmental and socio-economic analysis for Italy », *Land Use Policy*, 56, 2016, p, 90-99
- SCOGNAMIGLIO Alessandra, « 'Photovoltaic landscapes' : Design and assessment. A critical review for a new transdisciplinary design vision », *Renewable and Sustainable Energy Review*, 55, 2016, pages 629-661
- TROMMSDORFF Maximilian, « An economics analysis of agrophotovoltaics : opportunities, risks and strategies towards a more efficient land use », *Constitutional Economics Network*, 2016, 50 pages
- UREÑA-Sánchez Raúl, CALLEJÓN-FERRE Ángel Jesús, PEREZ-ALONSO José, CARREÑO-ORTEGA Ángel, « Greenhouse tomato production with electricity generation by roof-mounted flexible solar panels », *Scientia Agricola*, volume 69, n°4, 2012, pages 233-239

- VALLE Benoît, SIMONNEAU Thierry, SOURD Francis, PECHIER Philippe, HAMARD Philippe, FRISSON Thibault, RYCHEWAERT Maxime, CHRISTOPHE Angélique, « Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops », *Applied Energy*, volume 206, 2017, pages 1495-1507

- WESELEK Axel, EHMANN Andreas, ZIKELI Sabine, LEWANDOWSKI Iris, SCHINDELE Stephan, HÖGY Petra, « Agrophotovoltaic systems : applications, challenges, and opportunities. A review », *Agronomy for Sustainable Development*, volume 39, 2019

➔ **Articles Hors-Europe sur l'agrivoltaïsme étudiés dans la Partie 1 :**

- AI Leon, KEIICHI N, ISHIHARA « Assessment of new functional units for agrivoltaic system», *Journal of Environment Management*, 226, 2018, p, 493-498

- AI Leon, ISHIHARA Keiichi N., « Influence of allocation methods on the LC-CO2 emission of an agrivoltaic system », *Resources, Conservation & Recycling*, 138, 2018, pages 110-117

- BARGACH MN, TADILI R, DASMAN AS, BOUKALLOUCH M, « Comparison of the performance of two solar heating systems used to improve the microclimat of agricultural greenhouses in Morocco», *Renewable Energy*, 29(7), 2004, p, 1073-1083

- BONGSUCK Kim, SEUG-MIN Lee, SEONG-HYUN Kang, MOON-SUN Jeong, GEUN Ho Gim, JONGSUNG Park, CHEOLHYUN Lim, "Aquavoltaic system for harvesting salt and electricity at the salt farm floor: Concept and field test", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 204, 2020, 8 pages

- CARAVAIL L, COLLINS C, PETRIE PR, TYERMAN SD, « Application of shade treatments during Shiraz berry ripening to reduce the impact of high temperature », *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 22(3), 2016, p, 422-437.

- FU J, LI C-H, ZHAO J-R, MA L, LIU T-X, « Shade tolerance indices of maize: selection and evaluation», *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20, 11, 2009, p, 2705-2709

- HARSHAVARDHAN Dinesh, JOSHUA Pearce, « The Potential of Agrivoltaic Systems. » *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 2016, pages 299-308

- HASSANIEN Reda, LI Ming, DONG LIN Wei, « Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 2016, pages 989-1001

- HASSANPOUR Elnaz Adeh, S. SELKER John, W. HIGGINS, « Remarkable agrivoltaic influence on soil moisture, micrometeorology and water-use efficiency », *PLoS ONE*, 13(11): e0203256., 2018
- KADOWAKI Masayuki, YANO Akira, ISHIZU Fumito, TANAKA Toshihiko, NODA Shuji, « Effects of greenhouse photovoltaic array shading on welsh onion growth », *Biosystems Engineering*, volume 111, issue 3, 2012, pages 290-297
- KIM Byungil, KIM Changyoon, HAN Sanguk, BAE Juhyun, JUNG Jaehoon, « Is it a good time to develop commercial photovoltaic systems on farmland ? An American-style option with crop price risk », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 125, 2020
- MAJUMDAR Debaleena, PASQUALETTI Martin J., « Dual use of agricultural land : Introducing « agrivoltaics » in Phoenix Metropolitan Statistical Area, USA », *Landscape and Urban Planning*, 170, 2018, pages 150-168
- MALU Prannay R., SHARMA Utkarsh S., PEARCE Joshua M., « Agrivoltaic potential on grape farms in India », *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 23, 2017, pages 104-110
- NORIKO Irie, NAOKO Kawahara, ESTEBES Anna Maria, « Sector-wide social impact scoping of agrivoltaic systems: A case study in Japan », *Renewable Energy*, 139, 2019, p.1463-1476
- PRINGLE Adam, HANDLER Robert, PEARCE Joshua, « Aquavoltaics : Synergies for dual use of water area for solar photovoltaic electricity generation and aquaculture », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 2017, pages 572-584
- ROY Swapna, GHOSH Biswajit, « Land utilization performance of ground mounted photovoltaic power plants : A case study », *Renewable Energy*, volume 114 – Part B, 2017, pages 1238-1246
- SANDRO Alex, CAMPAS Maïa, DE ANDRADE CULHARI Eric, VINICIUS DE FRANCA CARVACHO Fonseca, FERNANDO MAiA MILAN Hugo, GEBREMEDHIN Kifleg, « Photovoltaic panels as shading resources for livestock », *Journal of Cleaner Production*, 258, 2020, p. 120-551.
- SEKIYAMA Takashi, NAGASHIMA Akira, « Solar sharing for both food and clean energy production : performance of agrivoltaic systems for corn, a typical shade-intolerant crop », *Environments*, 6-65, 2019
- TANG Yilian, Ma Xun, LI Ming, WANG Yunfeng, «The effect of temperature and light on strawberry production in a solar greenhouse» , *Solar Energy*, 195, 2020, p.318-328

- TURLOUGH Guerin, «Impacts and opportunities from large-scale solar photovoltaic electricity generation on agricultural production », *Environmental quality management* , 28 (4), 2019, p, 7-14.
- XUE Jinlin , « Photovoltaic agriculture- New opportunity for photovoltaic application in China », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 2017, p, 1-9.
- YANO Akira, TSUCHIYA K., NISHI Kazuo, MORIYAMA T., IDE O., « Development of a greenhouse side-ventilation controller driven by photovoltaic energy », *Biosystems Engineering*, volume 96, issue 4, 2007
- YANO Akira, TSUCHIYA Kazuo, NISHI Kazuo, MORIYAMA Tomoyuki , IDE Osamu, TOYA Masaru, « Development of a Photovoltaic Module as a Power Source for Greenhouse Environment Control Devices and a Study on Its Mounting in a Greenhouse », *Journal of the Japanese society of agricultural machinery*, 67(5), 2005, pages 124-127
- YOUNAS Rehan, IMRAN Hassan, HUSSNAIN RIAZ Muhammad, ZAFAR BUTT Nauman, « Agrivoltaic farm design : vertical bifacial vs. Tilted monofacial photovoltaic panels », Department of Electrical Engineering, School of Science and Engineering, Lahore University of Management Sciences, Pakistan, 2019,

→ Articles avec des auteurs européens et de d'autre continents, étudiés dans la Partie 1 :

- COSSU Marco, COSSU Andrea, DELIGIOS Paola A., LEDDA Luigi, LI Zhi, FATNASSI Hicham, PONCET Christine, YANO Akira, « Assessment and comparaison of the solar radiation distribution inside the main commercial photovoltaic greenhouse types in Europe », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 2018, pages 822-834
- YANO Akira, MARCO Cossu, « Energy sustainable greenhouse crop cultivation using photovoltaic technologies », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 2019, pages 116-137
- EZZAERI Kabira, FATNASSI Hicham, BOUHARROUD Rachid, GOURDO Lahoucine, BAZGAOU Abderrahim, WIFAYA Ahmed, DEMRATI Hassan, BEKKAOUI Ahmed, AHAROUNE Ahmed, PONCET Christine, BOUIRDEN Lahcen, « The effect of photovoltaic panels on the microclimate and on the tomato production under photovoltaic canarian greenhouses », *Solar Energy*, volume 173, 2018, pages 1126-1134

● Livres :

- DUPRAZ Christian, LIAGRE Fabien, Agroforesterie, des arbres et des cultures, Paris, Editions France Agricole, 2011, 2ème édition, 432 pages
- LE TREUT Hervé et al, Les Impacts du changement climatique en Aquitaine (version PDF), Pessac, Presses Universitaires de Bordeaux, LGPA Editions, 2019, p 359.
- MERENNE-SCHOUMAKER Bernadette, Géographie de l'énergie. Acteurs, lieux et enjeux, Paris, Belin, collection Belin sup géographie, 2011, 2ème édition, 288 pages
- PELLECUER Bernard, Énergies renouvelables et agriculture, Paris, Editions France agricole, 2015, 2ème édition, 260 pages
- TISSOT Michel, L'énergie solaire, thermique et photovoltaïque, Paris, éd. Eyrolles, collection Les guides de l'habitat durable, 2012, 2ème édition, 166 pages
- VERNIER Jacques, Les énergies renouvelables, Paris, Presses Universitaires de France, Que sais-je ?, 2017, 128 pages
- WIESENFELD Bernard, Promesses et réalités des énergies renouvelables, éd. EDP Sciences, collection InterSections, 2013, 192 pages

● Thèses :

- ELAMRI Yassin, Bilan hydrique et développement de culture sous panneaux photovoltaïques dynamiques : de la modélisation à l'évaluation de solutions agrivoltaïques, thèse de doctorat, spécialité en Sciences de l'Eau, SupAgro – Montpellier, 2017, <http://www.theses.fr/2017NSAM0049>
- MARROU Hélène, Produire des aliments ou de l'énergie, faut-il vraiment choisir ? Mise à l'épreuve du concept d'agrivoltaïsme, thèse de doctorat, SupAgro – Montpellier, 2012
- MASAFONT Joris, Développement du projet de paysage énergétique durable pour une prise en compte des ressources territoriales et leurs utilisations multifonctionnelles, thèse de doctorat, spécialité Sciences du Paysage, Institut agronomique vétérinaire et forestiers de France - Paris, thèse en cours commencé en 2018, <http://www.theses.fr/s219560>

- VALLE Benoît, Modélisation et optimisation de la croissance de la laitue dans un système agrivoltaïque dynamique, thèse de doctorat, spécialité en Ecophysiologie et adaptation des plantes, SupAgro – Montpellier, 2017, <http://www.theses.fr/2017NSAM0017>

● **Mémoire :**

- MOULY Adeline, Les nouveaux paysages de l'énergie solaire, mémoire de maîtrise, spécialité Paysage, Institut d'Urbanisme et d'Aménagement Régional, 2019, 77 pages, <https://f.hypotheses.org/wp-content/blogs.dir/6203/files/2019/08/Adeline-MOULY.pdf>

● **Documents institutionnels :**

- ADEME, « Les énergies renouvelables (ENR) : un enjeu pour l'agriculture », ADEME& Vous Le Mag, n°114, mars 2018, page 12 – Faits et chiffres

- ADEME, I Care & Consult, Blézat consulting, CERFrance, Céréopa, « Agriculture et énergies renouvelables : état de l'art et opportunités pour les exploitations agricoles. », collection Expertises, 2018, 205 pages, https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/201806agriculture-enr-contributions-opportunités-2018-rapport_final.pdf

- ADEME, Sun Agri, « Sun'Agri 3 : Agrivoltaïsme dynamique : innovation de rupture à destination des agriculteurs face à l'urgence du changement climatique », collection « Ils l'ont fait », 2018, <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/sunagri3.pdf>

- BRE, « Agricultural good practice guidance for solar farms », Ed J Scurlock, 2014, https://www.bre.co.uk/filelibrary/nsc/Documents%20Library/NSC%20Publications/NSC_-_Guid_Agricultural-good-practice-for-SFs_0914.pdf

- Ministère de la transition écologique et solidaire – Sébastien Lecornu, « « Place au soleil » : Mobilisation pour accélérer le déploiement de l'énergie solaire », dossier de presse, Paris, juin 2018, 30 pages, https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/2018.06.28_DP_Mobilisation_PlaceAuSoleil.pdf

- Ministère de la transition écologique et solidaire – Commissariat général au développement durable, « Environnement et agriculture : Les chiffres clés – Édition 2018 », Service de la Donnée et des Études Statistiques, juin 2018, 124 pages, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-06/datalab-36-environnement-agriculture-les-cc-edition-2018-juin2018.pdf>

- Ministère de la transition écologique et solidaire – Commissariat général au développement durable, « Chiffres clés de l'énergie – Édition 2019 », Service de la Donnée et des Études Statistiques, septembre 2019, 80 pages, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-09/datalab-59-chiffres-cles-energie-edition-2019-septembre2019.pdf#page=68&zoom=210,-3,312>
- Ministère de la transition écologique et solidaire – Commissariat général au développement durable, « Chiffres clés des énergies renouvelables – Édition 2019 », Service de la Donnée et des Études Statistiques, mai 2019, 92 pages, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-05/datalab-53-chiffres-cles-des-energies-renouvelables-edition-2019-mai2019.pdf>
- Ministère de la transition écologique et solidaire – Commissariat général au développement durable, « L'environnement en France : rapport de synthèse », Édition 2019, La documentation Française, 2019, 220 pages
- Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement ; Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie ; « Installations photovoltaïques au sol : Guide de l'étude d'impact », avril 2011, 138 pages
- Observ'ER, « Le baromètre 2019 des énergies renouvelables électriques en France », 10ème édition, 2019, 176 pages, http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/html/energie_renouvelable_france/ObservER-Barometre-EnR-Electrique-France-2019.pdf

● **Autres documents :**

- ACTHUEL, ARTIFEX, « Agrivoltaïsme : recensement des principales applications », février 2020, <http://www.acthuel.com/fr/agrivoltaisme-1>
- MASAFONT Joris, « Energies renouvelables : quels paysages en transition dans les Préalpes d'Azur », Parc Naturel Régional des Préalpes du Sud, 2018, 12 pages, <https://fr.calameo.com/read/004230968d1efb9d765ba>
- Rhônalénergie environnement, Union Régionale des CAUE Rhône-Alpes, Fédération des parcs naturels régionaux de France, « Paysages de l'énergie, paysages en transition », 2014, 28 pages, https://www.parcs-naturels-regionaux.fr/sites/federationpnr/files/document/centre_de_ressources/paysageenergie_juin2014.pdf
- Sun'R, « Sun'Agri – Dossier de Presse », 2017, 11 pages, <https://www1.montpellier.inra.fr/pechrouge/images/dossier-pesse-sun-agri-2017.pdf>

- Espaces naturels revue des professionnels de la nature, dossier « Puiser l'énergie sans épuiser la nature », n°67, juillet-septembre 2019, pages 20-37

● **Congrès et conférences :**

- DUPRAZ C. et al, "To mix or not to mix : evidences for the unexpected high productivity of new complex agrivoltaic and agroforestry systems.", 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming Systems Design Conférence, septembre 2011, Brisbane – Australie,

https://www.researchgate.net/publication/230675951_To_mix_or_not_to_mix_evidences_for_the_unexpected_high_productivity_of_new_complex_agrivoltaic_and_agroforestry_systems

- Dupraz C, Marrou H, Augier, Dufour L « Growing crops under photovoltaic panels: a first in situ assessment of agrivoltaic system. 12th North American Conference of Agroforestry » Juin 2011, Athens, United States. p31.

- Dupraz C, Marrou H, Wery J, Dufour L, « Producing food and electricity in the same system: experimental evidence of a agrivoltaic system potential » 12th Congress of the European Society for Agronomy Aug 2012, Helsinki, Finland, page 598.

- Institut National de l'Énergie Solaire, « Solaire, transition agricole et énergétique : les conditions de la réussite », 5 novembre 2019, Bordeaux, <https://www.ines-solaire.org/wp-content/uploads/2019/10/ines-colloqueagrivoltaisme-20191003-2.pdf>

● **Article de La France Agricole :** <https://www.lafranceagricole.fr/> (Les articles sont classés du plus récent au plus anciens)

- La France Agricole, n°3852, du 15 mai 2020 : dossier principale « Photovoltaïque au sol. Les panneaux de la discorde », pages 44 à 51 :

- MALTERRE Marie-France, « Une union entre des panneaux et des ovins qui fait des émules », pages 46 et 47
- MALTERRE Marie-France, « Les syndicats posent leurs jalons », page 47
- BARON Gildas, « Des panneaux fixes verticaux », page 48
- BARON Gildas, « Des panneaux mobiles sur mât », page 48
- BARON Gildas, « Couvrir les parcelles arboricoles », page 48
- BARON Gildas, « Des structures en grandes cultures », page 49
- BARON Gildas, « Au service de la production agricole », page 49
- BARON Gildas, « Accepter une baisse de la production agricole est une erreur », page 50
- MARCOTTE Alexis, « Gare à la surtension administrative »

- La France Agricole, Gildas Baron, 10 avril 2020 : « Total mise sur les terres agricoles », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/elevage/photovoltaique-total-mise-sur-les-terres-agricoles-1,13,790643377.html>
- La France Agricole, Gildas Baron, 3 avril 2020 : « Que valent les moutons sous les panneaux photovoltaïques », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/elevage/agrivoltaisme-que-valent-les-moutons-sous-les-panneaux-photovoltaiques-1,13,271215027.html>
- La France Agricole, n°3844-3845, du 27 mars 2020 : « Agrivoltaïsme : la FNO et l'Idèle sur le pont », page 15 – rubrique « A l'affût »
- La France agricole, 4 mars 2020, « Hausse du seuil saluée », <http://www.lafranceagricole.fr/sans-frontieres/photovoltaique-hausse-du-seuil-saluee-1,12,2670336498.html>
- La France agricole, G.BARON, 25 février 2020, « Le relèvement du seuil d'appel d'offres fait l'unanimité », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/gestion-et-droit/photovoltaique-le-relevement-du-seuil-dappel-doffres-fait-lunanimite-1,12,2076929647.html>
- La France agricole, n°3839, du 21 février 2020 : « Installer des panneaux solaires en toute légalité », page 88 – rubrique « Gestion »
- La France agricole, n°3839, du 21 février 2020 : « La serre avait le droit au photovoltaïque », page 90 – rubrique « la chronique juridique »
- La France agricole, B. Lafeuille, 21 janvier 2020, « La stratégie française en consultation », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/gestion-et-droit/energie-climat-la-strategie-francaise-en-consultation-1,11,3717490425.html>
- La France agricole, n°3832, du 3 janvier 2020, « Photovoltaïque : regain d'intérêt », page 18 – rubrique « A l'affût »
- La France agricole, G. Baron, 2 janvier 2020, « Énergie photovoltaïque : Le retour des beaux jours », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/energie-photovoltaique-le-retour-des-beaux-jours-1,11,1589401435.html>
- La France agricole, n°3830-3831, du 20 décembre 2019 : « Énergies renouvelables : des retombées pour les territoires ruraux », rubrique « l'actu de la semaine »

- La France agricole, G. Baron, 13 décembre 2019, « Énergies renouvelables : L'épargne citoyenne finance vos installations », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/energies-renouvelables-lepargne-citoyenne-finance-vos-installations-1,11,844882293.html>
- La France agricole, G. Baron, 6 novembre 2019, « Photovoltaïque : Ne pas court-circuiter l'agriculture ! », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/photovoltaique-ne-pas-court-circuiter-lagriculture-1,10,2802408491.html>
- La France agricole, G. Baron, 31 octobre 2019, « Changement de plan pour le projet contesté Solarzac », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/energies-renouvelables-changement-de-plan-pour-le-projet-conteste-solarzac-1,10,2231991937.html>
- La France agricole, G. Baron, 18 octobre 2019, « Le photovoltaïque et le monde agricole continuent d'avancer ensemble », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/solaire-le-photovoltaique-et-le-monde-agricole-continuent-davancer-ensemble-1,10,1268092941.html>
- La France agricole, 24 juillet 2019, « Dernière réunion houleuse sur un vaste projet sur le Larzac », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/photovoltaique-derniere-reunion-houleuse-sur-un-vaste-projet-sur-le-larzac-1,8,2656356355.html>
- La France agricole, n°3806, du 28 juin 2019, « « Pas de photovoltaïque sur les terres arables » par Maurice BOURRUT-LACOUTURE (Charente) », page 14, rubrique « Courrier des lecteurs »
- La France agricole, n°3805, du 21 juin 2019, « Hérault : Non au projet Solarzac », page 26, rubrique « Le tour des régions »
- La France agricole, 6 juin 2019, « Du bio à l'ombre du photovoltaïque », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/financement-du-bio-alombre-du-photovoltaique-1,7,3408546193.html>
- La France agricole, n°3799, du 10 mai 2019, « « L'énergie verte oui, mais au détriment de l'alimentation ? » par Laurent BOISSET éleveur corrézien et représentant FNSEA au Conseil supérieur de l'énergie », rubrique « Courrier des lecteurs »
- La France agricole, V. Gobert, 27 novembre 2018, « 5 ans pour multiplier le parc solaire par 3 », <http://www.lafranceagricole.fr/actualites/elevage/energies-renouvelables-5-ans-pour-multiplier-le-parc-solaire-par-3-1,5,2548849853.html>

SITOGRAPHIE

- ADEME – entreprise et monde agricole : <https://www.ademe.fr/entreprises-monde-agricole>
- congrès « AgriVoltaics2020 » : <https://www.agrivoltaics-conference.org/home.html>
- Wikipedia « Agrivoltaïque » : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Agrivolta%C3%AFque>

● Actualité sur l'agrivoltaïsme :

- Actu Environnement, FABREGAT Sophie, « L'agrivoltaïsme fait ses preuves pendant les canicules », 27 février 2020, <https://www.actu-environnement.com/ae/news/agrivoltaisme-canicules-sunagri-panneaux-photovoltaiques-dynamiques-35055.php4>
- Blog d'information sur l'agrivoltaïsme et les système agrivoltaïques : <http://agrivoltaisme.over-blog.com/>
- l'EnerGEEK, « L'agrivoltaïsme : une vraie opportunité pour les exploitations agricoles ? », 15 mai 2019, <https://lenergeek.com/2019/05/15/agrivoltaisme-enr-solaire-agriculture/>
- l'EnerGEEK, « Agriculture et énergies renouvelables : un enjeu de rayonnement mutuel », 23 février 2018, <https://lenergeek.com/2018/02/23/agriculture-energies-renouvelables-enjeu-developpement/>
- l'EnerGEEK, « Le monde de l'agriculture doit penser à sa transition énergétique », 31 août 2017, <https://lenergeek.com/2017/08/31/agriculture-transition-energetique-fermes-autonomes/>
- Journal de l'environnement, Valéry LARAMÉE DE TANNENBERG, « De l'agrivoltaïsme, oui, mais pas n'importe comment », 26 février 2020, <http://www.journaldelenvironnement.net/article/de-l-agrivoltaisme-oui-mais-pas-n-importe-comment.103731>
- Les clés de la Transition énergétique – acteurs du monde rural, actualité sur l'agrivoltaïsme: <https://www.clesdelatransition.org/acteurs-du-monde-rural/?s=agrivoltaisme>
- pv magazine, actualités sur l'agrivoltaïsme : <https://www.pv-magazine.fr/category/installations/agrivoltaisme/>
- WEAVER John, pv magazine, « Agrovoltatics: a solar-powered safety net for Massachusetts farmers », 18 septembre 2018, <https://pv-magazine-usa.com/2018/09/18/agrovolatic-solar-power-on-farms-in-massachusetts-smart-program/>

● Sun'agri et l'INRAE de Montpellier :

- Programme de recherche Sun'agri : <https://sunagri.fr/>
- Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement: <https://www.inrae.fr/>

- UMR Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens : <https://umr-system.cirad.fr/>
- Les clés de la Transition énergétique – acteurs du monde rural, « Agrivoltaïsme dynamique : Sun'Agri dévoile « des résultats prometteurs » », Avril 2020 : <https://www.clesdelatransition.org/acteurs-du-monde-rural/agrivoltaisme-dynamique-sunagri-devoile-des-resultats-prometteurs>
- Tecsol.blog, « « Place au soleil » : Sun'Agri ou l'agrivoltaïsme dynamique selon la vision du gouvernement », 10 juillet 2018 : https://tecsol.blogs.com/mon_weblog/2018/07/-place-au-soleil-sunagri-ou-lagrivolta%C3%AFsme-dynamique-selon-la-vision-du-gouvernement.html

● projet Solarzac :

- Projet Solarzac: <https://www.solarzac.fr/>
- La tribune, « Dans le Larzac, abandon d'un projet géant de centrale solaire », 24 octobre 2019, <https://www.latribune.fr/entreprises-finance/transitions-ecologiques/dans-le-larzac-abandon-d-un-projet-geant-de-centrale-solaire-831480.html>
- BROUILLET Sylvie, L'usine Nouvelle, « SoLarzac, méga-projet solaire d'Arkolia Energies au Cros, en Hérault », 29 avril 2019, <https://www.usinenouvelle.com/article/solarzac-mega-projet-solaire-d-arkolia-energies-au-cros-en-herault.N836605>
- LAVOCAT Lorène, Reporterre, « Le Larzac se lève contre un projet géant de centrale solaire », 13 mars 2019, <https://reporterre.net/Le-Larzac-se-leve-contre-un-projet-geant-de-centrale-solaire>

● recherches du Fraunhofer-Gesellschaft :

- Institut de recherches du Fraunhofer-Gesellschaft: <https://www.fraunhofer.de/en.html>
- Institut de recherches du Fraunhofer-Gesellschaft - Solare Energiesysteme: <https://www.ise.fraunhofer.de/en.html>
- Présentation du programme APV-Resola : <https://www.agrophotovoltaik.de/english/research-project-apv-resola/>
- Présentation du programme APV-Resola : HUART Michel, « Agriculture et photovoltaïque peuvent utiliser une même surface », Renouvelable – L'actualité de l'énergie durable : <https://www.renouvelable.be/fr/technologies/agriculture-et-photovoltaique-peuvent-utiliser-une-meme-surface>

● Politique et réglementation :

- Journée Officiel du Sénat, du 06/12/2018, Question écrite n° 07990 de M. Louis-Jean de Nicolaÿ, « Agrivoltaïsme », <https://www.senat.fr/questions/base/2018/qSEQ181207990.html>
- Ministère de la Transition Ecologique, « Plan de libération des énergies renouvelables : Sébastien Lecornu installe le groupe de travail "solaire" et mobilise les acteurs pour accélérer le développement de la filière », 18 avril 2018, <https://www.ecologie.gouv.fr/plan-liberation-des-energies-renouvelables-sebastien-lecornu-installe-groupe-travail-solaire-et>
- Moratoire du 9 décembre 2010 sur les nouveaux projets photovoltaïques : <https://www.photovoltaique.info/fr/tarifs-dachat-et-autoconsommation/tarifs-dachat/anciens-arretes-tarifaires/decret-du-9-decembre-2010/>
- plan « Place au Soleil : mobilisation pour accélérer le déploiement de l'énergie solaire », dossier de presse, 28 juin 2018, https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2018.06.28_DP_Mobilisation_PlaceAuSoleil.pdf
- Programmation pluriannuelle de l'énergie 2019-2023 et 2024-2028 : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>

● Principaux énergéticiens :

- Akuo Energy – Aquanergies ® : <https://www.akuoenergy.com/fr/aquanergie>
- Akuo Energy – Agrinergies ® : <https://www.akuoenergy.com/fr/agrinergie>
- Neoen : <https://www.noen.com/fr/>
- Ombrea : <https://www.ombrea.fr/>
- Photosol : <https://www.photosol.fr/>
- Reden Solar : <https://reden.solar/>
- Sun'R : <https://sunr.fr/>
- Total Quadran : <https://quadran.fr/index.php/fr/>
- Urbasolar : <https://urbasolar.com/>

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Illustration 1 : Configuration proposée par GOETZBERGER et ZASTROW dans leurs travaux de 1981. Source : A.GOETZBERGER, A.ZASTROW, 1982	21
Illustration 2: Déroulé du programme de recherches Sun'agri réalisé en coopération entre l'INRAE de Montpellier et la société Sun'R. Source : Sun'R, https://sunagri.fr/le-programme-sunagri/ ...	26
Illustration 3: Formule de l'indice LER. Source : Actuel, Artifex, 2020	27
Illustration 4: Graphique des années de publication des articles étudiés. Source : MB.JEANNETON, 2020	29
Illustration 5: Pays d'origine des auteurs ayant rédigé les articles étudiés. Source : MB.JEANNETON, 2020	32
Illustration 6: Le dispositif expérimental permettant de comparer les panneaux solaires submergés dans les bassins salicoles avec des installations photovoltaïque au sol. Source : BONGSUCK K. et al, 2020	38
Illustration 7 : Schéma des deux sites expérimentaux du projet SHRIMPS. Source : Fraunhofer-Gesellschaft ISE, https://www.ise.fraunhofer.de/en/press-media/news/2019/aqua-pv-project-shrimps-combines-aquaculture-and-photovoltaics.html	41
Illustration 8: De nombreux pays de l'Union européenne sont dépendants en matière d'énergie. Source : Toute l'Europe.EU, « La dépendance énergétique européenne », https://www.touteleurope.eu/actualite/la-dependance-energetique-europeenne.html	46
Illustration 9 : Article 194 du Traité sur le fonctionnement de l'Union Européenne entrée en vigueur le 1 ^{er} janvier 1958. Source : https://www.doctrine.fr//traite-fonctionnement-union-europeenne/article-194/UE_TFUE_194	46
Illustration 10: Le dispositif de soutien mis en place par l'Etat (avant la réforme de 2016). Source de l'image: chambre d'agriculture de l'île de France, http://www.ile-de-france.chambagri.fr/pro77/innovation-energie-photovoltaique	55

Illustration 11 Extrait du Circulaire du 18 décembre 2009 relative au développement et au contrôle des centrales photovoltaïques au sol57

Illustration 12 Le régime d'autorisation d'urbanisme en fonction de la puissance crête de la centrale photovoltaïque au sol. Source : Ministère de la Transition écologique et solidaire, Ministère de la cohérence des territoires et des relations avec les collectivités territoriales, « Guide : L'instruction des demandes d'autorisations d'urbanisme pour les centrales solaires au sol », 202061

Illustration 13: Centrale au sol de Calmont, en Haute-Garonne, entretenu par un troupeau de moutons. Source: La Dépêche, 350 brebis remplacent les tondeuses sur l'immense parc de panneaux photovoltaïques de Calmont, 27 janvier 2020, <https://www.ladepeche.fr/2020/01/27/350-brebis-remplacent-les-tondeuses-sur-limmense-parc-de-panneaux-photovoltaïques-de-calmont,8690897.php>62

Illustration 14 : Les centrales au sol et l'agrivoltaïsme vu par des représentants des principaux syndicats agricoles français. La France Agricole, n°3852, 15 mai 2020, page 4770

Illustration 15: Calendrier opérationnel prévu avant la concertation préalable. Source : site internet du projet Solarzac, <https://www.solarzac.fr/le-calendrier-et-le-financement/>.....76

Illustration 16 : Rassemblement des opposants au projet Solarzac, le 18 mai 2019. Source : EHRHARD Frédérique, La France agricole, « Non au projet Solarzac », 19 juin 2019, <https://www.lafranceagricole.fr/le-tour-des-regions/herault-non-au-projet-solarzac-1,7,4273190289.html>77

Illustration 17: Centrale photovoltaïque associant un élevage ovin dans l'Allier, sur la commune de Gennetines. Source : Photosol, 2015, http://www.allier.gouv.fr/IMG/pdf/18_07_27_-_1._volet_agricole.pdf81

Illustration 18 : expérimentation de l'agrivoltaïsme fixe au Domaine de La Valette, sur le site de l'INRAE de Montpellier. Source : Dossier de presse – Sun'agri, 2017, <https://www1.montpellier.inra.fr/pechrouge/images/dossier-pesse-sun-agri-2017.pdf>82

- Illustration 19: Installation d'agrivoltaïsme sous forme de serre solaire et associant la culture de kiwis rouge, sur la commune de Boé en Lot et Garonne. Source : P.BETTES, 202083
- Illustration 20: Schéma des deux configurations d'agrivoltaïsme installées par Akuo Energy sur un verger de Bellegarde dans le Gard. Source : "Compte-rendu de la visite du 14 décembre 2017 à Bellegarde « Produire des abricots en AB sous ombrière photovoltaïque »"85
- Illustration 21: Dispositif d'agrivoltaïsme au dessus d'un vignoble du domaine de Nidolères dans les Pyrénées-Orientales. Source : Domaine du Nidolères, <http://www.domainedenidoleres.com/Projet%20Viti-Photovoltaïque.pdf>86
- Illustration 22: Structure d'agrivoltaïsme au dessus de plusieurs bassins d'élevage d'esturgeons à Neuvic, en Dordogne. Source : L'usine nouvelle, « Un triple effet solaire sur le caviar de Neuvic, 22 février 2018, <https://www.usinenouvelle.com/article/un-triple-effet-solaire-sur-le-caviar-neuvic.N655724>87
- Illustration 23: Installation aquanergies® d'Akuo Energy sur l'exploitation des Cèdres, dans l'île de la Réunion. Source : Akuo Energy, <https://www.akuoenergy.com/fr/aquanergie>88
- Illustration 24: Système développé par Ombrea au dessus d'un vignoble. Source : Ombrea, <https://www.pv-magazine.fr/2019/12/05/ombrea-des-synergies-entre-lagricole-et-le-photovoltaïque-sont-possibles-dans-certains-cas-de-figure/>93
- Illustration 25: Installation agrinergie® réalisé par Akuo Energies sur l'île de la Réunion. Dans cette serre photovoltaïque, une culture de fleurs et de fruit est réalisée. Source : Akuo Energy, AGRINERGIE I, <https://www.akuoenergy.com/fr/agrinergie-95-fr>94
- Illustration 26: Plan de la centrale photovoltaïque d'Ortaffa. Source : <file:///C:/Users/UTILIS~1/AppData/Local/Temp/intervention-Ortaffa.pdf>101

TABLE DES TABLEAUX :

Tableau 1: Nom des revues scientifiques dans lequel les articles étudiés ont été publiés (Source : MB.JEANNETON, 2020)	30
Tableau 2: États d'origine des chercheurs américain ayant rédigé des articles étudiés (Source : MB.JEANNETON, 2020)	32
Tableau 3: Disciplines principales des auteurs ayant rédigé les articles étudiés (Source : MB.JEANNETON, 2020)	33

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Base de données non exhaustif des installations d'agrivoltaïsme construites ou en projet sur le territoire français	125
---	-----

Annexe : Base de données non exhaustif des installations agrivoltaiques construite ou en projet sur le territoire français :

Département	Commune	Type d'installation	Agriculteurs concernés par l'installation	Énergéticiens / sociétés	Porteur de projet	Montage juridique du projet entre agriculteurs et énergéticiens	Rôle des collectivités locales	État actuel du projet	Élevage // Cultures associées	Superficie	Puissance installée	Production annuelle d'électricité
Ain	Villebois	Centrale au sol avec des panneaux photovoltaïques fixes	GAEC la ferme Chassard	Compagnie Nationale du Rhône (CNR)	Compagnie Nationale du Rhône (CNR)	Contrat pour l'entretien de la centrale sur un terrain qui à la base est non agricole	Domaine concédé de la CNR par la commune de Villebois	En fonctionnement depuis avril 2019	élevage ovin	3,5	3MWc	3,9 GWh (= répond au besoin en électricité de 1600 personnes)
Gard	Bellegarde	Ombrières photovoltaïques	Marc PORTIER	Akuo Energy – filiale Agriterra	Akuo Energy	Contrat de prêt à usage (comodat)	Neutre, malgré que le maire de la commune (Juan-Antoine MARTINEZ) se fait du soucis sur la compétition pouvant exister entre production agricole et production d'énergie renouvelable	En fonctionnement : installation du nouvel agriculteur en 2015	Verger avec une culture dominante d'abricots	5	5,7MWc	
Vaucluse	Piolenc	Ombrières photovoltaïques	marais installés par la commune afin de produire en agriculture biologique des légumes pour les cantines scolaires	Akuo Energy – filiale Agriterra	Piolenc	Signature de baux emphytéotiques	Terrain appartenant à la commune. La commune souhaite installer un ou deux marais bio pour les cantines scolaires tout en produisant de l'énergie renouvelable.	en service depuis 2009	culture maraichère	Pas d'information disponible pour la partie terrestre		
Vaucluse	Piolenc	Ombrières photovoltaïques (dynamique)	domaine viticole expérimental de la chambre d'agriculture de Vaucluse	Sun'R – Sun'Agri	Sun'R – Sun'Agri	contrat d'expérimentation	Neutre	en service	vignes	0,06 ha sous panneau et 0,034 ha de vignobles témoins	84 kWc	
Bouches du Rhône	Mallemort	Ombrières photovoltaïques monté sur trackers	Station d'Expérimentation La Pugère	Sun'R – Sun'Agri	Sun'R – Sun'Agri	contrat d'expérimentation	La station d'expérimentation a vu le jour en 1982 sur des terrains mis à disposition par le département	en service	verger (pommier)	0,073 ha sous panneaux et 0,03 ha de verger témoin	61 kWc	
Pyrénées-Orientales	Tresserre	Ombrières photovoltaïques (dynamique)	domaine de Nidoières	Sun'R – Sun'Agri	Sun'R – Sun'Agri		Projet soutenu par le maire de la commune (Jean Amouroux) qui est fier de pouvoir tester sur son territoire des solutions innovantes	En fonctionnement depuis novembre 2018	vignes	5 ha couvert par les panneaux + 2,5 ha de vignobles témoins		2,2 MW (= répond au besoin en électricité de 650 foyer)
Rhône	Dardilly (siège d'exploitation)	Ombrières photovoltaïques (plein champs et pépinière)	Lycée agricole EPLEFPA de Lyon-Dardilly-Ecully	Compagnie Nationale du Rhône (CNR)	Compagnie Nationale du Rhône (CNR)	accord pour monter un projet d'expérimentation	projet soutenu par la région dans le cadre du Plan d'adaptation aux aléas climatiques en faveur des agriculteurs lancé le 3 octobre 2019	En fonctionnement depuis septembre 2019	culture horticoles et maraichères	0,3 ha couvert par les panneaux et 0,3 ha de cultures témoins	150 kWc	
Dordogne	Neuic	Panneaux photovoltaïques sur toiture au dessus des bassins d'élevage	Société Huso – Domaine caviar de Neuic	Reden Solar	Société Huso (raison : bien-être des poissons et autonomie énergétique)		Neutre	En fonctionnement depuis septembre 2019	élevage d'esturgeons	26000 m²	4 895 kWc	5500 MWh (= répond au besoin en électricité de 6000 personnes // 500 foyers)
Hérault	Montpellier	Ombrières photovoltaïques (fixe et dynamique)	Domaine de La Valette – Site de l'IRSTEA	Sun'R – Sun'Agri	Domaine de La Valette – Site de l'IRSTEA et Sun'R – Sun'Agri	site principal d'expérimentation pour les chercheurs de l'INRAE de Montpellier	Neutre	Debut des expériences en 2010 pour l'agrivoltaïsme fixe et en 2014 pour l'agrivoltaïsme dynamique	culture diverse : salades, blé, pomme de terre...	site principal d'expérimentation pour les chercheurs de l'INRAE de Montpellier		
La Réunion	L'Étang-Salé	Panneaux photovoltaïques sur toiture au dessus des bassins d'élevage + Ombrières photovoltaïque	Exploitation Les Cèdres	Akuo Energy	Exploitation Les Cèdres	Akuo Energy a créé les toits photovoltaïque au dessus des bassins piscicoles	Neutre	en service	Élevage piscicole, élevage de poules pondeuses en agriculture biologique, apiculture et culture maraichage en permaculture	7,5 ha	9 MW	Equivalent de 5 200 foyers
Hérault	communes alentours de l'étang de Thau	centrale solaire flottante		Akuo Energy	Akuo Energy			en projet	Huitres	Environ 300 ha en projet	215 MWc d'envisagé en 2018	équivalent de 60 000 foyers
Côtes d'Armor	Lamballe	Pyloës photovoltaïques (au nombre de 5)	Yves-Marie BEAUDET					en service	Volaille (poules)			
Gironde	Saint Magne	centrale au sol (centrale de Merle Sud)	éleveur local dans le siège d'exploitation est situé sur la commune de Cestas	Total Quadran	commune de Saint-Magne	signature d'une convention	La commune est propriétaire du terrain (une ancienne parcelle forestière saccagée par la tempête de 1999) et porteur du projet en partenariat avec la région Nouvelle-Aquitaine.	en service depuis 2019	élevage ovin	22 ha sur une parcelle totale de 55 ha	12 MWc	15.060 MWh/an, équivalent à la consommation électrique de 3.200 foyers

Département	Commune	Type d'installation	Agriculteurs concernés par l'installation	Énergéticiens / sociétés	Porteur de projet	Montage juridique du projet entre agriculteurs et énergéticiens	Rôle des collectivités locales	État actuel du projet	Élevage // Cultures associées	Superficie	Puissance installée	Production annuelle d'électricité
Pyrénées-Orientales	Ortaffa	centrale au sol	Installation d'un éleveur pour l'entretien de la centrale	JUWI	Commune d'Ortaffa	Contrat passé entre les élus locaux, les propriétaires, l'énergéticien, les viticulteurs déjà présent sur le site, l'éleveur et l'apiculteur installé dans le cadre du projet. L'éleveur ovin est chargé de l'entretien de la centrale au sol et des semis fourragères pour son troupeau.	Grand projet de la commune pour revaloriser une friche agricole appartenant à plus de soixante propriétaires : production d'énergie, installation d'un éleveur ovin, signature du charte viticole avec l'énergéticien pour revaloriser l'activité économique à proximité, création d'un espace apicole. La commune a signé trois chartes agricoles avec l'énergéticien afin que ce dernier participe financièrement pour redynamiser le site agricole autour du parc photovoltaïque.	relié au réseau depuis 2013	élevage ovin	25 ha de panneaux sur un site de 68 ha divisé en 10 enclos	25 Mwc	35,5 Millions de Kwh soit l'alimentation d'environ 6450 foyers
Pyrénées-Orientales	Le Soler	centrale au sol (trackers)	Mas de l'Eule	Arkolia-Energies	Mas de l'Eule	bail emphytéotique de 22 ans (renouvelable)	La communauté de communes est signataire du bail emphytéotique avec le propriétaire et l'énergéticien. L'électricien versera 70 000 € de taxe à la COMCOM et 25 000 € au propriétaire.	en service depuis décembre 2015	élevage ovin (venu après le projet car le propriétaire est à l'origine viticulteur. La centrale se situe sur une parcelle où il n'y a plus de vigne)	45	15 Mwc	20 GW / an soit l'alimentation de 7000 foyers
Haute-Garonne	Bouloc	centrale au sol	Roger et Yvonne Fournier (couple retraité ayant gardé un petit troupeau ovins)	EDF Energies Nouvelles	Roger et Yvonne Fournier (couple d'agriculteurs partant à la retraite et qui ne trouvaient pas de repreneur pour leurs terres peu productives)	bail emphytéotique	Les élus soutient le projet qui va permettre à un couple de retraité agricole d'avoir une retraite plu convenable. La commune touche 35 000 € de taxe professionnelle de la part d'EDF Energies Nouvelles	2011	élevage ovin	30	10 Mwc	10,15 MW qui équivaut à la consommation de 6000 habitants
Essonne	Marcoussis	centrale au sol	Installation de deux éleveurs pour l'entretien et la production	Sigeif et Engie Green	le Syndicat intercommunal pour le gaz et l'électricité en Ile-de-France (Sigeif)		Le terrain a été proposé par le Maire de Marcoussis (friche terrain communal depuis 2006 qui auparavant appartenait à la Snct) qui est le 1er vice président du Sigeif. Le projet s'inscrit dans le programme politique des élus municipaux et régionaux.	mise en service en 2020 et arrivée des premiers moutons en 2021	élevage ovin	46	24 Mwc	26 GWh / an soit la consommation de 11 000 habitants
Allier	Gennetines	centrale au sol	Christian de Lageneste (propriétaire du terrain)	Photosol	Christian de Lageneste (propriétaire du terrain)	bail emphytéotique de 20 ans (renouvelable)	Neutre	en service depuis 2014	élevage ovin	22	12 Mwc	entre 13 et 14.000 MWh/an soit la consommation de 12 500 personnes
Haute-Loire	Couteuges	centrale au sol	Agricultrice voisine de la centrale photovoltaïque (elle possède 15 ha du secteur où est installé la centrale)	Solairedirect (société acquise par ENGIE en 2015)	communauté de communes du Pays de Paulhaguet (elle possède 8 ha de terrain où est installé la centrale)	La société énergéticienne loue le terrain à l'agricultrice et à la communauté de communes	Projet énergétique de la communauté de communes du Pays de Paulhaguet disposant d'un volet agricole avec pacage d'ovins par l'exploitation voisine et installation d'une culture de maraîchage biologique en partenariat avec l'association de réinsertion « Jardin des Estrelys »	en service depuis 2012	élevage ovin	22	10 Mwc	11,6 GWh / an soit la consommation de 7.300 habitants
Var	Néoules	centrale au sol		Akuo Energy	Akuo Energy		Les élus locaux ont accompagné Akuo Energy pour la construction de leur projet	en service depuis 2013	élevage ovin	34 ha	24 Mwc	Équivalent à la consommation d'environ 34 000 habitants
Haute-Corse	Aghione	centrale au sol (avec trackers)		La Compagnie du Vent, filiale de GDF SUEZ	La Compagnie du Vent			en service depuis 2012	élevage ovin	8,3 ha	3,8 Mwc	6 Millions de kWh, équivalent à la consommation électrique annuelle d'une population de 3 300 personnes
Haute-Corse	Rapale	centrale au sol	un berger riverain	Akuo Energy (rachat des droits de Corse Soleil)	Corse Soleil, filiale du groupe allemand Juwi	accord avec un berger riverain de la centrale solaire	Neutre	en service depuis 2010	élevage ovin	49 ha	9,8 MW	équivalent à la consommation de 4 694 foyers
Guadeloupe	Sainte Marguerite	centrale au sol	M. Tangamen pour la partie centrale + M. Noirault pour la production de tomates sur l'autre partie de la parcelle	Akuo Energy	Akuo Energy	contrat de mise à disposition		en service depuis 2011	élevage ovin et apiculture + installation d'un producteur de tomate en extérieur de la centrale	3 hectares de panneaux et 2 hectares laissés à un autre agriculteur	2,5 MW	équivalent de 1 365 foyers
Charente	Cherves-Chatelars	centrale au sol		Société NEOEN	commune de Cherves-Chatelars	bail emphytéotique	le projet est construit sur une ancienne carrière d'argile qui appartient à la commune. La commune est porteur du projet.	en construction	élevage ovin	Partie Nord : 15,4 ha Partie Sud : 7,8 ha	Partie nord : 15,9 Mwc Partie sud : 7 Mwc	Équivalent à la consommation d'environ 5000 foyers
Tarn-et-Garonne	Bioule	centrale au sol	éleveur sélectionné par marché public : GAEC PRUNES	Société NEOEN	Commune de Bioule (après le passage d'un contrat avec les propriétaires des terres agricoles en déprise et où aucun repreneurs ont pu être trouvés. Les propriétaires recevront un loyer)	convention de sous-traitance pour la mise en place de la prestation de service éco-pastoral, d'une durée initiale de trois ans renouvelable	Terrain appartenant à la commune. Les élus de Bioule ont lancé un marché public pour trouver un éleveur. La commune met aussi à disposition de l'éleveur, un hangar et une bergerie.	en service	élevage ovin (label « Agneau de l'Aveyron »)	16	11,5 Mwc	

Département	Commune	Type d'installation	Agriculteurs concernés par l'installation	Énergéticiens / sociétés	Porteur de projet	Montage juridique du projet entre agriculteurs et énergéticiens	Rôle des collectivités locales	État actuel du projet	Élevage // Cultures associées	Superficie	Puissance installée	Production annuelle d'électricité
Gard	Rochefort du Gard	centrale au sol		Société NEOEN	commune de Rochefort du Gard		La commune est propriétaire du terrain et porteur du projet. Une modification du Plan d'Occupation des Sol a été lancé pour accueillir la centrale	en service depuis juin 2013	élevage ovin	30	11 Mwc	17 000 MWh, équivalent à la consommation de 7000 personnes
Gard	Lirac	centrale au sol	société d'éco-pâturage La Bêle Solution (recrute des éleveurs locaux)	Société NEOEN	Société NEOEN	contrat de mise à disposition gratuite		en construction	élevage ovin et apiculture	8,4 ha (en 3 îlots) sur une parcelle de 12 ha	4,5 Mwc	7 GW, équivalent à la consommation 1300 foyers
Côtes d'Armor	Lannion	centrale au sol		Société NEOEN	le comte Gérard de Carcaradec et le propriétaire du terrain Jacques Revaut		Neutre	en service depuis 2011	élevage ovin	5,4 ha	2622,60 kWc	2750000 kWh/an
Landes	Luxey	centrale au sol	société d'éco-pâturage La Bêle Solution (recrute des éleveurs locaux)	Société NEOEN	Société NEOEN	contrat de mise à disposition gratuite		en service depuis 2014	élevage ovin		8,6 MWc	
Landes	Ygos-Saint-Saturmin	centrale au sol	société d'éco-pâturage La Bêle Solution (recrute des éleveurs locaux)	Société NEOEN	Société NEOEN	contrat de mise à disposition gratuite			élevage ovin		6,7 MWc	
Landes	Garein	centrale au sol	société d'éco-pâturage La Bêle Solution (recrute des éleveurs locaux)	La société SOLAREZO a fait construire la centrale. La Société NEOEN la récupéré suite au dépôt de bilan de SOLAREZO en 2013	La Société SOLAREZO a fait construire la centrale. La Société NEOEN la récupéré suite au dépôt de bilan de SOLAREZO en 2013	contrat de mise à disposition gratuite		en service	élevage ovin	deux sites : - GAREIN 1 - GAREIN 2 : 14,2 ha	10,1 MWc	
Gironde	Arsac	centrale au sol	un berger de la commune du Pian qui ne pouvait plus se développer comme il voulait sur son ancienne exploitation en raison de la dissémination de ses pâtures	investisun	Communauté de communes du Médoc Estuaire et commune d'Arsac	La communauté de communes loue les terrains et les met à disposition gratuitement pour l'éleveur	La commune est porteur du projet avec la communauté de communes. Les terrains appartiennent à un agriculteur à la retraite qui met en location ses terres. Les élus se charge d'installer un éleveur du Pian (commune proche) qui ne pouvait plus se développer sur son ancienne exploitation.	en service	élevage ovin	42,5 ha sur un terrain de 167 ha	84 MWc	59 MWc, Équivalent à la consommation d'environ 32 000 foyers
Pyrénées-Atlantiques	Garlin	centrale au sol		Reden Solar	le projet est porté par les élus locaux de la communauté de communes des Luys en Béarn		Le projet est prévue dans une zone d'activité économique inter-communautaire GARLIN Pyrénées. Les élus locaux sont porteur du projet	en projet	élevage ovin	9 ha	5 MWc	6,891 Gwh, équivalent à la consommation électrique de 11 000 personnes
Alpes-de-Haute-Provence	Aubignosc	centrale au sol	éleveur local ou installé pour le projet	RES	commune de Aubignosc	bail emphytéotique	Projet politique des élus de la commune qui souhaite s'inscrire dans la production d'énergie renouvelable : projet de territoire lancé dès 2012.		élevage ovin	8,1 ha d'emprise sur une parcelle de 25 ha	Environ 4,5 Mwc	environ 6 500 MWh, équivalent à la consommation de 2800 personnes
Vienne	Montmorillon	centrale au sol	éleveur local	SOLAIREDIRECT	SOLAIREDIRECT	convention de pâturage		en construction	élevage ovin	8,3 ha	4,3 MW	
Vienne	Pindray	centrale au sol	La société E2P2 Solaires chargé de l'entretien a fait appel à la société la Bêle Solution pour entrer en contact avec des éleveurs locaux. L'éleveur sélectionné est Nancy Robert.	sergies	communauté de communes Vienne et Gartempe	mise à disposition du terrain à un éleveur local	Le projet est créé sur un ancien site d'enfouissement de déchets ménagers. La communauté de communes Vienne et Gartempe est à l'origine du projet en partenariat avec le Syndicat Energies Vienne	en service depuis 2018	élevage ovin	7,9 ha	4 978 kWc	6 millions de kWh, Équivalent à la consommation électrique de 3 000 habitants
Saône-et-Loire	Saint Yan	centrale au sol		Luxel	Le Saint Yan Air'e Business : la centrale va être construit sur un terrain délaissé par l'aéroport		Le Saint Yan Air'e Business est géré par un syndicat mixte de gestion composé d'élus de la région, du département et de trois communes (Saint-Yan, Varenne-Saint-Germain et L'Hôpital-le-Mercier). Le syndicat est le porteur du projet	en construction	élevage ovin	Environ 30 ha divisé en deux sites avec une couverture en panneaux sur 14,5 ha	17 MWc pour le premier site et 8 MWc sur le deuxième site	
Haute-Garonne	Salle-sur-Garonne	centrale au sol		Urbasolar	commune de Salle-sur-Garonne		La commune de Salle-sur-Garonne est propriétaire du terrain sur lequel va être construit la centrale solaire (une ancienne carrière de sables et de graviers alluvionnaires). Elle est porteur du projet.	en construction	élevage ovin	18,5 ha de surface dotée avec une partie terrestre et aquatique	inférieure à 30 MWc et supérieure à 5MWc	

Département	Commune	Type d'installation	Agriculteurs concernés par l'installation	Energéticiens / sociétés	Porteur de projet	Montage juridique du projet entre agriculteurs et énergéticiens	Rôle des collectivités locales	État actuel du projet	Élevage // Cultures associées	Superficie	Puissance installée	Production annuelle d'électricité
Mayenne-et-Loire	Pont de Cé	centrale au sol	Installation d'un éleveur pour l'entretien de la centrale sur un terrain qui à l'origine est non agricole	Alter Énergies	commune des Ponts-de-Cé et agglomération d'Angers	la collectivité possède la maîtrise du projet pendant qu'alter énergies se charge des études techniques et de l'installation.	Le terrain appartient à la commune des Ponts-de-Cé et à l'agglomération d'Angers. Ce sont ces deux collectivités qui sont porteur du projet au niveau d'une ancienne décharge.	mise en service prévue pour 2020	élevage ovin	11 ha (4,5 ha occupés par les panneaux)	9,25 Mwc	11 000 Mwh/an répond à la consommation de 4000 foyers
Haute-Corse	Ghisonaccia	Ombrières photovoltaïques (au nombre de 130)	Domaine de Pinia (Société civile d'exploitation agricole CURELLU)	AMARENCO	AMARENCO	installation d'une agricultrice qui disposera du terrain sous ombrières	Neutre	Phase de projet	culture d'agrumes	13 ha sur un terrain de 50 ha	13 Mwc	Équivalent à la consommation d'environ 5000 personnes
Lot-et-Garonne	Boé	serre photovoltaïque	Jean-Michel Aurières	Reden Solar	Jean-Michel Aurières	Accord passé avec Reden Solar qui devient propriétaire des serres.	Neutre	mise en service depuis septembre 2018	kiwis	9 hectares divisés en trois serres	7,5Mwc	plus de 9 millions de kWh, soit l'équivalent de la consommation de plus de 10 000 habitants
Drome	Saulce-sur-Rhône	serre photovoltaïque	EARL Guerivel	Reden Solar	EARL Guerivel	la serre est construite et gérée par Reden Solar. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre pour son activité et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation par Reden Solar.	Neutre	mise en service depuis 2018	kiwis	2 ha, 21 100 m ²		
Pyrénées-Atlantiques	Préchacq-Josbaig	serre photovoltaïque	EARL Laneurisse		EARL Laneurisse		Les élus de la commune se sont opposés au projet qu'ils considèrent à finalité industrielle, malgré qu'ils ont accordé le permis de construire.	Projet avorté	kiwis	5 ha	Projet avorté	Projet avorté
Hautes-Alpes	Laragne-Montéglin	serre photovoltaïque	Thierry Fournier	Reden Solar	Thierry Fournier	Reden Solar a construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation		Phase de projet	Kiwis – fraises	2 ha	1742,40kWc	
Isère	Penol	serre photovoltaïque	Damien Vivier	Reden Solar	Damien Vivier	la serre est construite et gérée par Reden Solar. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre pour son activité et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation par Reden Solar.	Neutre	mise en service depuis 2018	Pépinière		1,6 MW	2,102 GWh par an, équivalent de la consommation électrique de 2500 personnes
Ardèche	Saint-Péray	serre photovoltaïque	M. Jacquet	Reden Solar	M. Jacquet		Neutre	mise en service depuis octobre 2018	Pépinière	5,066m ² divisés en deux serres	plus de 500 kWc	équivalente à la consommation en électricité de 750 personnes
Hérault	Le Cros	centrale au sol	pas d'agriculteurs actuellement engagé même si l'énergéticien prévoit de passer un contrat avec un éleveur ovin	Arkolia-Energies	Arkolia énergies (le site est actuellement un domaine de chasse privé et clôturé. Suite à la fin de l'activité, le propriétaire souhaite vendre son terrain)	Arkolia énergies prévoit dans son projet de mettre en place une gestion publique de la propriété. L'énergéticien et l'éleveur payerons un loyer à la commune.	- projet soutenu par la commune de Le Cros - La Communauté de Commune du Lodévois et Larzac a voté un avis défavorable au projet Solarzac - projet non approuvé par le conseil régional malgré la volonté de la région Occitanie pour s'imposer dans les énergies renouvelables	abandon temporaire du projet après la phase de concertation (2019). L'énergéticien réfléchit à un nouveau scénario.	élevage ovin	terrain de 1000 ha : 400 ha pour la production d'énergie solaire et de gaz vert (Power-to-Gas) + 600 ha de compensation écologique		
Ariège	Daumazan-sur-Arize	centrale au sol	Sabine Leray, éleveuse de la commune en bio	Arkolia-Energies	Mairie de Daumazan	location par la mairie	La mairie de Daumazan est le bailleur	mise en service depuis 2014	élevage ovin (150 brebis)	26,5 ha	10,4 Mwc	13,2 GWh / an équivalent à la consommation d'environ 3 000 foyers
Cantal	Marmahac	centrale au sol		Photosol	Photosol	parcelle aménagée pour l'accueil d'un éleveur sous contrat	Neutre	en service depuis 2014	élevage ovin	24 hectares	12 Mwc	15 000 Mwh soit l'équivalent de la consommation de 12 000 personnes
Cantal	Aurillac	centrale au sol		Arkolia-Energies	communauté d'agglomération du bassin d'Aurillac	location par la communauté d'agglomération	La communauté d'agglomération est le bailleur de la centrale	en service depuis 2014	élevage ovin	5 ha	2,8 Mwc	
Var	Signes	centrale au sol		Arkolia-Energies	arkolia energies	mise à disposition pour un éleveur local		mise en service depuis mars 2015	élevage ovin		3,7 Mwc	5.000 MWh
Lot	Le Bastit	centrale au sol	agriculteur déjà propriétaire du terrain	Arkolia-Energies	société Arkolia Solar Park 5, filiale à 51% de Arkolia Energie et 49 % Agence Régionale Energie Climat	bail emphytéotique pour 20 ans	Neutre	mise en service depuis 2017	élevage ovin	4,5		3 250 kWc, équivalent à la consommation de 1820 foyers
Aude	Salsigne	centrale au sol	agriculteur déjà propriétaire du terrain	Arkolia-Energies	société Arkolia Solar Park 5, filiale à 51% de Arkolia Energie et 49 % Agence Régionale Energie Climat	bail emphytéotique de 20 ans	Neutre	mise en service depuis 2017	élevage ovin	4,5		3 180 kWc, équivalent à la consommation de 1780 foyer

Département	Commune	Type d'installation	Agriculteurs concernés par l'installation	Energéticiens / sociétés	Porteur de projet	Montage juridique du projet entre agriculteurs et énergéticiens	Rôle des collectivités locales	État actuel du projet	Élevage // Cultures associées	Superficie	Puissance installée	Production annuelle d'électricité
Haute-Garonne	Calmont	centrale au sol	François Marfaing	Tenergie	Communauté de Communes des Coteaux du Lauragais Sud	contrat de mise à disposition	La Communauté de Communes des Coteaux du Lauragais Sud est à l'initiative du projet	en service depuis 2013	élevage ovin	27 ha	12 MW	15 800 MWh, équivalent à la consommation annuelle de plus de 4 000 foyers
Haute-Garonne	Lécussan	centrale au sol	éleveur local	Urbasolar	commune de Lécussan		L'approbation du PLU de la commune de Lécussan, de 2009 a permis d'autoriser la construction de centrale solaire au lieu-dit « Landes de Gouttes », zone à l'origine agricole. Les élus ont fait appel à Urbasolar en 2017 pour construire une seconde centrale solaire après celle de 2015 sur des parcelles communales.	en service depuis 2015	élevage ovin	2,6 ha	870 kWc	Environ 2630 MWh
Morbihan	Saint-Vincent-sur-Oust	centrale au sol		Total Quadran				en construction	élevage ovin	5,9 ha	3 870 kWc	
Creuse	Guéret et Saint-Fie	centrale au sol	société d'écopâturage La Bêle Solution (recrute des éleveurs locaux)	société E.D.F. Energies Nouvelles France		mise à disposition gratuitement du terrain à un éleveur local engagé par La Bêle Solution	les terrains appartiennent à la Communauté d'Agglomération du Grand Guéret.	en projet	élevage ovin	16,7 ha	14,3 MWc	
Charente	Rochefoucauld	centrale au sol		TERENE (Territoires Energies Nouvelles)	TERENE (Territoires Energies Nouvelles)	bail emphytéotique	Neutre	en service depuis 2009	élevage ovin	6 ha	2,79 MWc	
Pyrénées-Atlantiques	Bénéjacq	centrale au sol		Le maître d'ouvrage est le Syndicat D'Energie des Pyrénées-Atlantiques	communauté de communes du Pays de Nay		Le projet est réalisé à l'initiative de la communauté de communes du Pays de Nay afin de valoriser ancien centre d'Enlouisement Technique de Bénéjacq	en projet	élevage ovin	4,9 ha	2,27 MWc	Environ 2500-2600MWh
Gironde	Louchats	centrale au sol		Photosol	Photosol		Le maire de Louchats s'oppose au centrale au sol sur sa commune situé au cœur de la forêt landaise. Il accuse les panneaux solaire d'être responsable d'incendie (feux de broussaille) puisque le troupeau ovin ne mange par l'herbe sous les panneaux en raison des ondes et de la chaleur. Pour dénoncer les panneaux producteur de chaleur, le maire a proposé au conseil municipale d'acheter des chapeaux pour les moutons.	mise en service depuis 2014	élevage ovin	43	12 Mwc	
		(projet agrivoltaïsme : OBOALI1210)		Tenergie – Tenao 30							2,312 Mwc	
La Réunion	Saint-Joseph	serre photovoltaïque	M. Jean Bernard Gonthier	Akuo Energy	M. Jean Bernard Gonthier et Akuo Energy	partenariat pour la location de la toiture des serres	Neutre	en service	maraichage raisonné	2,82 ha divisé en 12 serres	1,4 MW	Correspond à la consommation électrique de 704 foyers
La Réunion	Le Tampon, Saint-Louis	serre photovoltaïque	M. Payet	Akuo Energy	M. Payet et Akuo Energy	partenariat pour la location de la toiture des serres	Neutre	en service	fleurs et fruits		1 MW (divisé en 5 serres)	Correspond à la consommation électrique de 506 foyers
La Réunion	Le Tampon, Saint-Louis	serre photovoltaïque (au nombre de 15)	les frères Rivière	Akuo Energy		partenariat pour la location de la toiture des serres	Neutre	mise en service depuis 2011	fleurs et fruits (tomates hors sols, ananas en plein champs et grande pépinière)	4 ha	1,9 MW	Equivalent à la consommation de 962 foyers
La Réunion	Saint André	serre photovoltaïque	agriculteur souhaitant développer une production maraîchère sous serre sur une friche agricole (M. Hubert LEGER)	Akuo Energy	agriculteur propriétaire	partenariat pour la location de la toiture des serres venant juste de se construire	Neutre	en exploitation	projet de production de maraîchère et notamment de vanille	8,92 ha (toiture couverte : 13 030,4 m²)	1,6 MW	Equivalent à la consommation de 743 foyers
La Réunion	Le Port	serre photovoltaïque		Akuo Energy	exploitation agricole inscrit dans une démarche de réinsertion social	partenariat pour la location de la toiture des serres	Neutre	mise en service depuis 2014	Maraîchage en permaculture, horticulture et apiculture	6000 m²	9 MW	Equivalent à la consommation de 4 054 foyers
La Réunion	Saint-pierre	centrale au sol	partie agricole gérée par agriterra	Akuo Energy	Akuo Energy	partie agricole gérée par agriterra, partenaire d'Akuo Energy		mise en service depuis 2011	Fruits de la passion à côté de la centrale et entre les panneaux : verger diversifié, en conversion bio, espèces aromatiques et médicinales	5,7 ha	2,6 MW	Equivalent à la consommation de 1 287 foyers

Département	Commune	Type d'installation	Agriculteurs concernés par l'installation	Energéticiens / sociétés	Porteur de projet	Montage juridique du projet entre agriculteurs et énergéticiens	Rôle des collectivités locales	État actuel du projet	Élevage // Cultures associées	Superficie	Puissance installée	Production annuelle d'électricité
La Réunion	Saint-Pierre (quartier des Ravines des Cabris)	centrale au sol	agriculteur souhaitant diversifier sa production sur une parcelle avant réservé à la culture de canne à sucre	Akuo Energy	Akuo Energy	partie agricole géré par agritrerra, partenaire d'Akuo Energy			Géranium et fruits de la passion, en conversion bio	4,99 ha	2,6 MW	Equivalent à la consommation de 1 239 foyers
Alpes-de-Haute-Provence	Curbans	centrale au sol		GDF Suez Photovoltaïque	commune de Curbans		La commune de Curbans est propriétaire des terrains et porteur du projet	en service depuis 2011	élevage ovin	42 ha	9400 kWc	33 millions de kWh, équivalent à la consommation de 10 500 foyers
Province Sud	La Foa	serre photovoltaïque	Jean-Christophe Niaubou, agriculteur de La Foa	Akuo Energy	initiative de l'agriculteur	travail en collaboration	Neutre	en service depuis 2018	permaculture	5,2 ha	1,7 MW	2GWh/an, Equivalent à la consommation de 836 foyers
La Réunion	Saint-pierre	centrale au sol		Akuo Energy	Akuo Energy	remise en culture d'une parcelle : installation d'un agriculteur		en service	Plantes aromatiques et maraichage	4,35 ha	2,1 MW	Equivalent à la consommation de 1 054 foyers
Haute-Garonne	Lherm	centrale au sol	agriculteur déjà propriétaire du terrain. La parcelle avait été mise en jachère en raison d'un sol peu fertile	Akuo Energy	agriculteur propriétaire	mise à disposition par l'agriculteur	Neutre	mise en service en 2020	plantation de plantes mellifères, apiculture et mise en culture entre les tables de panneaux	18 à 20 ha	10,5 MW	Équivalent à la consommation de 2856 foyers
Guadeloupe	Marie-Galante	centrale au sol		Akuo Energy	Akuo Energy	contrat avec un apiculteur	Neutre	en service depuis 2010	apiculture et plantation d'une jachère mellifère, élevage ovin		2 MW	Équivalent à la consommation de 981 foyers
Var	Néoules	centrale au sol		Akuo Energy	Akuo Energy	installation d'un agriculteur et d'un apiculteur dans le cas du projet		en service depuis 2013	Apiculture et élevage ovin		12 MW (centrale de Verreire divisé en deux secteurs pour une puissance totale de 24 MW)	Équivalent à la consommation de 6289 foyers
Haute-Corse	Ghisonaccia	centrale au sol		Akuo Energy	Akuo Energy	installation d'un agriculteur dans le cas du projet de revalorisation agricole et de préservation des cultures traditionnelles régionales		en service depuis 2015	oliviers		7 MW	Equivalent à la consommation de 3792 foyers
Haute-Corse	Aghione	centrale au sol	éleveur local, apiculteur issue du Syndicat Apicole Corse + recherche d'un agriculteur	Akuo Energy	Akuo Energy	mise à disposition du terrain à un éleveur local + collaboration avec le Syndicat Apicole Corse + recherche d'un agriculteur pour l'exploitation de la Myrte		en service depuis 2011	Apiculture et élevage ovin + projet d'exploitation de la Myrte		4,2 MW	Equivalent à la consommation de 1966 foyers
Province Nord	Kaala-Gomen	Centrale au sol et serre photovoltaïque		Akuo Energy	Akuo Energy			En phase de financement	culture maraichère	7000 m ² de serre + ?ha au sol	5 MW	Equivalent à la consommation de 1643 foyers
Haute-Corse	Poggio di Venaco	centrale au sol	éleveur local	Akuo Energy	commune de Poggio-di-Venaco	location des terrains auprès de la commune	La commune est propriétaire du terrain caractérisé par un sol rocheux lié à un ancien lit de rivière.	en service depuis 2011	élevage ovin		4,5 MW	5 885 MW/an, Equivalent à la consommation de 1729 foyers
La Réunion	Pierrefonds	centrale au sol		Akuo Energy	Akuo Energy + volet agricole porté par la Coopérative Agricoles des Huiles essentielles de Bourbon au titre expérimentale	installation d'un agriculteur dans le cas du projet		mise en service depuis 2010	citronnelle et géranium rosat	38 000 m ²	2,1 MW	3200 MWh, Equivalent à la consommation de 1 054 foyers
Var	Néoules	centrale au sol		Akuo Energy	Akuo Energy	installation d'un agriculteur et d'un apiculteur dans le cas du projet		en service depuis 2013	Apiculture et élevage ovin		12 MW (centrale de Verreire divisé en deux secteurs pour une puissance totale de 24 MW)	Équivalent à la consommation de 6289 foyers
Haute-Corse	Sainte Lucie de Porto Vecchio	centrale au sol	installation d'un agriculteur dans un espace non propice à l'urbanisation	Akuo Energy	Akuo Energy (après autorisation de la collectivité de Corse)	installation d'un agriculteur dans le cas du projet	Neutre	en service depuis 2011	permaculture		3,5 MW	équivalent à 1 371 foyers

Département	Commune	Type d'installation	Agriculteurs concernés par l'installation	Énergéticiens / sociétés	Porteur de projet	Montage juridique du projet entre agriculteurs et énergéticiens	Rôle des collectivités locales	État actuel du projet	Élevage // Cultures associées	Superficie	Puissance installée	Production annuelle d'électricité
Lot	Brengues	centrale au sol	éleveur local	La coopérative citoyenne CéléWatt a fait appel à une entreprise local pour la construction de la centrale solaire	coopérative citoyenne CéléWatt	bail emphytéotique	La commune a participé au projet mené par plusieurs citoyens en mettant à disposition une friche appartenant à la commune pour l'installation de la centrale	en service depuis 2018	élevage ovin	0,6 ha	250 Kwc	300.000 kwh
Bouches du Rhône	La Barben	serre photovoltaïque	Bruno GASSIER (céréalier souhaitant développer la production de plantes aromatiques)	Tenergie	M.GASSIER et Tenergie	Tenergie est en charge de la construction de la serre et de la production photovoltaïque pendant que l'agriculteur exploite la serre pour la production agricole.	Neutre		plantes aromatiques (Hysope)	28 854 m ²	1860 kWc	2775,5 MWh
Bouches du Rhône	La Roque d'Anthéron	serre photovoltaïque	Michel BONIFAZIO	Urbasolar	Michel BONIFAZIO	construction de la serre et gestion de la production photovoltaïque. L'agriculteur exploite sous la serre. Il deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation par Urbasolar.	Neutre		culture maraichère	30058 m ²		3847250 kWh
Bouches du Rhône	Mallemort	serre photovoltaïque		Urbasolar		Urbasolar construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	mise en service depuis 2017	Production maraichère et tout particulièrement des asperges	9750 m ²	844 kWc	
Bouches du Rhône	Saint Martin de Crau	serre photovoltaïque		Urbasolar		Urbasolar construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2016	culture maraichère	66 000 m ²	5210 kWc	
Bouches du Rhône	Boulbon	serre photovoltaïque		Urbasolar		Urbasolar construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2019	culture maraichère (asperge et fraise)	2340 m ²	500 kWc	
Bouches du Rhône	Saugon	serre photovoltaïque		Urbasolar		Urbasolar construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2019	culture maraichère (asperges) + vignes	18 550 m ²	3680 kWc	
Dordogne	Vélines	serre photovoltaïque		Urbasolar		Urbasolar construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2018	production horticole	3150 m ²	250 kWc	
Corrèze	Arnac Pompadour	serre photovoltaïque		Urbasolar		Urbasolar construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2017	production de fruits rouge	3225 m ²	251 kWc	
Hérault	Nizas, Lézignan-la-Cèbe	centrale au sol	berger basé sur la commune de Nizas et apiculteur local	Urbasolar	Communes de Nizas et de Lézignan-la-Cèbe	partenariat pour l'entretien	le projet a été instauré par les communes de Nizas et de Lézignan-la-Cèbe au niveau d'une ancienne carrière d'extraction de basalte.	en service depuis 2019	élevage ovin et apiculture	14 ha	11,5 Mwc	
Ardèche	Lanas	centrale au sol		Urbasolar	SDEA (Syndicat Départemental d'Équipement de l'Ardèche)	création d'un plan de gestion pastorale	La centrale est construite sur un terrain délaissé par l'aérodrome d'Aubenas - Ardèche méridionale. Ce dernier est géré par le SDEA (Syndicat Départemental d'Équipement de l'Ardèche), émanation du Conseil départemental de l'Ardèche. Le projet est soutenu par le conseil municipal	mise en service depuis 2018	élevage ovin	16 ha sur un terrain d'environ 21 ha	12 MWC	Répond à la consommation électrique annuelle de 7 000 foyers
Vaucluse	Saint Saturnin lès Apt	serre photovoltaïque	SAS Augier	Reden Solar	SAS Augier	Reden Solar a construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2017	culture maraichère	12 000 m ² sur une serre de 23 000 m ²	2500 kWc	3,1 GWh
Vaucluse	Piolenc	serre photovoltaïque	Yvon COQ	Reden Solar	Yvon COQ	Reden Solar a construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2020	culture maraichère	19 931 m ²	1 967 kWc	

Département	Commune	Type d'installation	Agriculteurs concernés par l'installation	Énergéticiens / sociétés	Porteur de projet	Montage juridique du projet entre agriculteurs et énergéticiens	Rôle des collectivités locales	État actuel du projet	Élevage // Cultures associées	Superficie	Puissance installée	Production annuelle d'électricité
Vaucluse	Pertuis	serre photovoltaïque	Marius FERRAT	Reden Solar	Marius FERRAT	Reden Solar a construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2020	culture maraîchère	27 629m ²	2551,71kWc	
Lot-et-Garonne	Sainte Livrade sur Lot	serre photovoltaïque	lycée agricole	Reden Solar	lycée agricole	Reden Solar a construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2017	culture maraîchère	1 ha	1058 kWc	
Vaucluse	Pernes les Fontaines	serre photovoltaïque	Philippe THER	Reden Solar	Philippe THER	bail emphytéotique	Neutre	en service depuis 2015	culture maraîchère	17 708 m ²		2 MW
Landes	Mézos	Ombrières photovoltaïques	Les truites de la cote d'argent	Reden Solar				en service	truites			
Vaucluse	Malemort-du-Comtat	serre photovoltaïque	EARL SALIGNON	Reden Solar	EARL SALIGNON	Reden Solar a construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	mise en service prévu pour 2021	fraises en culture hors-sol	11881 m ²	1179kWc	
Vienne	Vouzailles	centrale au sol		sergies	Commune de Vouzailles	bail emphytéotique	Le projet est sur une ancienne décharge qui appartient à la commune de Vouzailles	en service	élevage ovin	2,2 hectares	2,42 MWC	3 315 MWh par an, équivalent à la consommation de 1 660 habitants
Charente	Ruffec	centrale au sol		sergies en partenariat avec le SDEG 16	Le site est une ancienne décharge. Propriétaire : organisme public de traitement des déchets ménagers en Charente, CALITOM		Propriétaire : organisme public de traitement des déchets ménagers en Charente, CALITOM	en service depuis 2017	élevage ovin		2,8 MW	3,6 millions de kilowatts-heure par an, équivalent à la consommation de 1800 habitants
Vienne	Saint-Georges-les-Baillargeaux	centrale au sol	Éco-pâturage réalisé par la société E2P2solaires	sergies	syndicat Energies Vienne	entretien réalisé par E2P2solaires, partenaire de sergies	Le projet a été réalisé entre SERGIES et l'ancienne Communauté de Communes VAL VERT DU CLAIN, collectivité appartenant aujourd'hui à la communauté urbaine du Grand POITIERS. Le projet se situe sur l'ancien Centre d'Enfouissement Technique du Pôle Environnement des Millas	en service depuis 2017	élevage ovin	24 425 m ²	3 912 Kwc	3 912 000 kWh
Gers	Cazaubon	centrale au sol	Éco-pâturage réalisé par la société E2P2solaires	sergies	sergies	entretien réalisé par E2P2solaires, partenaire de sergies		en service depuis 2014	élevage ovin	7 ha	3,36 MW	4,2 millions de kWh
Lot	Lhospitalet	centrale au sol	Richard MARTY	Valeco	Syndicat d'exploitation de la zone industrielle	bail emphytéotique	Le terrain est situé au sein d'une zone industrielle. Ce dernier est géré par un syndicat où on retrouve la communauté d'agglomération du Grand Cahors. Le syndicat est à l'origine du projet	en service depuis 2011	élevage ovin	15 ha	8 MWC	équivalente à la consommation de plus d'un quart de la population de Cahors (ville de 19 878 habitants en 2017)
Cote-d'Or	Channay, Nicey	étude en cours	groupe d'agriculteurs de la ferme de Bel-Air	Total Quadran	groupe d'agriculteurs de la ferme de Bel-Air		Neutre	les dernières études sont attendues pour fin 2020.	Modèle agronomique pas encore défini. Les propositions des agriculteurs sont : ruches, d'arbres fruitiers, du foin bio, d'un élevage de moutons ou encore de vignes	étude en cours	étude en cours	étude en cours
Meurthe-et-Moselle	Piennes, Joudreville, Boulgny	centrale au sol	éleveur local	Total Quadran	Total Quadran	contrat de mise à disposition	la commune loue le terrain à Total Quadran	en service depuis 2017	élevage ovin	projet divisé en deux centrales : 20 hectares de surface totale	10.000 kWc au total	Les deux centrales permettront de répondre à la consommation électrique de près de 9000 habitants
Morbihan	Baud	centrale au sol		Total Quadran	Total Quadran			en service depuis 2019	élevage ovin	7 ha	4,5 MW	5165 MWh, équivalent à la consommation de 4000 habitants
Haute-Vienne	Saint-Yrieix-la-Perche	centrale au sol	Éleveur installé en convention par Total Quadran	Total Quadran	Total Quadran	convention pluriannuelle	La communauté de commune est propriétaire du terrain sur lequel une convention avec un éleveur, ayant arrêté son activité avant le projet, existait déjà sur une surface de 17 ha.		élevage ovin	6,1 ha avec 4,9 ha pour l'élevage ovin		

Département	Commune	Type d'installation	Agriculteurs concernés par l'installation	Energéticiens / sociétés	Porteur de projet	Montage juridique du projet entre agriculteurs et énergéticiens	Rôle des collectivités locales	État actuel du projet	Elevage // Cultures associées	Superficie	Puissance installée	Production annuelle d'électricité
Province Sud	Boulouparis	centrale au sol		Total Quadran	Total Quadran	bail emphytéotique	Le projet a été réalisé en collaboration avec la mairie de Boulouparis, la province Sud, le gouvernement et Quadran Pacific.	deux centrale en service : une depuis 2017 et la deuxième depuis 2019	élevage ovin	17 ha	Hélio Boulouparis 2 : 16 Mwc	équivalente à la consommation de 21 000 personnes
Bouches du Rhône	Aix-en-Provence	Ombrières photovoltaïques	jardin partagé du Technopôle de l'arbois	Ombrea	Technopôle de l'arbois		Neutre		culture maraîchère			
Cher	Épineuil-le-Fleuriel	centrale au sol		Quadran	Commune de Épineuil-le-Fleuriel suite au non renouvellement de l'autorisation d'exploiter de la carrière situé au lieu-dit « les Gerpins »	bail emphytéotique	la commune est propriétaire du terrain qui était auparavant une ancienne carrière. La commune est ainsi porteur du projet.	en service depuis 2019	élevage ovin	2,36 ha	1 057 kWc	Environ 1300 MWh, équivalent à la consommation soit la consommation de 1.080 foyers
Corrèze	Saint-Priest de Gimel	centrale au sol		engis	engis	bail emphytéotique	Le projet est situé sur une friche de la ZAC de la Montane. Les élus ont été associé dans la conception de la centrale solaire	en service depuis 2017	élevage ovin	Environ 50 ha	24 Mwc	32 000 MW, équivalent à la consommation d'environ 13 300 personnes
Gironde	Le Temple	serre photovoltaïque	EARL du Pin Franc	Urbasolar	EARL du Pin Franc	convention : Urbasolar conçoit, finance et construit la serre qui est mise à disposition pour l'agriculteur	Neutre	en service	asperges et fraises	36 764 m ²		
Vienne	Vivonne	centrale au sol		sergies	sergies	bail emphytéotique	La Communauté de Communes des Vallées du Clain est propriétaire du terrain. Il s'agit d'une ancienne décharge d'ordures ménagères et de gravats inertes, exploité entre 1973 et 1999.		élevage ovin	6 ha	2 642 kWc	3 170 MWh
Hérault	Olonzac	centrale au sol		CS Trou du Mouton, filiale de JMB Solar, elle même filiale de QUADRAN	QUADRAN			en service	élevage ovin	5,3 ha	2,76 Mwc	3 673 Mwh
Aude	Leucate	Ombrières photovoltaïques (dynamique)		Sun'R – Sun'Agri	Agence Régionale Energie-Climat Occitanie			Lauréats de l'appel d'offre Innovation de la CRE du 1 avril 2020 : centrale en construction	vignes		0,851 Mwc	
Gard	Beauvoisin	Ombrières photovoltaïques (dynamique)		Sun'R – Sun'Agri	Agence Régionale Energie-Climat Occitanie			Lauréats de l'appel d'offre Innovation de la CRE du 1 avril 2020 : centrale en construction	vignes		1,99 Mwc	
Hérault	Florensac	Ombrières photovoltaïques (dynamique)		Sun'R – Sun'Agri	Agence Régionale Energie-Climat Occitanie			Lauréats de l'appel d'offre Innovation de la CRE du 1 avril 2020 : centrale en construction	vignes		3Mwc	
Pyrénées-Orientales	Thuir	Ombrières photovoltaïques (dynamique)		Sun'R – Sun'Agri	Agence Régionale Energie-Climat Occitanie			Lauréats de l'appel d'offre Innovation de la CRE du 1 avril 2020 : centrale en construction	culture maraîchère		0,575 Mwc	
Pyrénées-Orientales	Claira	Ombrières photovoltaïques (dynamique)		Sun'R – Sun'Agri	Agence Régionale Energie-Climat Occitanie			Lauréats de l'appel d'offre Innovation de la CRE du 1 avril 2020 : centrale en construction			1,92 Mwc	
Pyrénées-Orientales	Salses	Ombrières photovoltaïques (dynamique)		Sun'R – Sun'Agri	Agence Régionale Energie-Climat Occitanie			Lauréats de l'appel d'offre Innovation de la CRE du 1 avril 2020 : centrale en construction	vignes		3Mwc	

Département	Commune	Type d'installation	Agriculteurs concernés par l'installation	Énergéticiens / sociétés	Porteur de projet	Montage juridique du projet entre agriculteurs et énergéticiens	Rôle des collectivités locales	État actuel du projet	Élevage // Cultures associées	Superficie	Puissance installée	Production annuelle d'électricité
Pyrénées-Orientales	Llupia	Ombrières photovoltaïques (dynamique)		Sun'R – Sun'Agri	Agence Régionale Energie-Climat Occitanie			Lauréats de l'appel d'offre Innovation de la CRE du 1 avril 2020 ; centrale en construction	arboriculture		1,84 Mwc	
Aisne	Vallees en Champagne	centrale au sol	éleveur local	Quadran	QUADRAN	mise à disposition du terrain à un éleveur local		mise en service prévue pour 2021	élevage ovin	7 ha d'occupés par l'installaion sur une parcelle de 24 hectares	4,055MwC	4331 MWh, équivalent à la consommation de 3659 habitants
Indre	Chatillon-sur-Indre	centrale au sol		sergies	sergies	bail emphytéotique	La commune est propriétaire du terrain qui servait de centre d'enfouissement et est arrivé en fin d'exploitation	en service	élevage ovin	4 ha	3710,82 kWc	4267 MWh
Bouches du Rhône	Saint-Etienne-du-Gres	Ombrières photovoltaïques	SCEA REVENY	Volitalia	SCEA REVENY			en projet	culture maraichère (salades)	4,5 ha		
Landes	Aire-sur-l'adour	serre photovoltaïque	GAEC Les trois pins	Reden Solar	GAEC Les trois pins	Reden Solar a construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2017	culture maraichère	35 000 m ²		3 MW, équivalent à la consommation de 1 400 foyers
Haute-Loire	Saint-Christophe-sur-Dolaizon	centrale au sol		Enel Green Power France (société aqise par BORALEX en 2014)	communauté d'agglomération du Puy-en-Velay et la commune de Saint-Cristophe-sur-Dolaizon		trois parcelles appartiennent à la communauté d'agglomération du Puy-en-Velay, une parcelle appartient à la commune de Saint-Cristophe-sur-Dolaizon. La commune et la communauté d'agglomération sont porteur du projet.	mise en service prévu pour 2021	élevage ovin	22,4 ha	12,5 MWc	Équivalent à la consommation d'environ 4385 foyers
Alpes-de-Haute-Provence	Montclar	centrale au sol		Volitalia	Volitalia	bail emphytéotique	la parcelle où est construit le projet appartient à la commune de Montclar. Les élus sont favorable au projet de Volitalia.		élevage ovin	4,27 ha	2713 kWc	4,075 GWh, équivalent à la consommation de 1509 ménages ou environ 3773 habitants.
Gironde	Cesta	centrale au sol		Société NEOEN	Neoen			en service depuis 2015	élevage ovin	260 ha	300 MWc	plus de 350 GWh
Gironde	Saint-Aubin-de-Blaye	centrale au sol	éleveur dans le siège d'exploitation se situe sur la commune de Marçillac	Luxel	Société CPV Roubisque		Le projet constitue une plateforme de Recherche et de Développement portant sur l'évaluation et l'amélioration des installations photovoltaïques. Il s'agit d'un contrat de R&D réalisé en partenariat entre le département et le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives	en service depuis 2014	élevage ovin	8,7 ha avec un tiers recouvert par les panneaux solaires	5 MWc	4,5 MWc
Dordogne	Eylac	centrale au sol		Arkolia-Energies	arkolia energies	Mise à disposition pour un éleveur sous contrat	Neutre		élevage ovin	13,4 ha		12 500 MWh équivalent à la consommation de 3 900 foyers
Creuse	Aubusson	centrale au sol	Marc Lefranc (agriculteur retraité qui loue ses terrains à un éleveur de Néoux)	groupe SERFIM	Marc Lefranc		Projet approuvé par la communauté de communes Creuse Grand sud qui a lancé une révision du PLU afin d'autoriser la centrale au sol.	en projet (construction prévue pour 2022)	élevage ovin et maraîchage	21,5 ha		21,5 mégawatts soit la consommation annuelle de 7.000 foyers
Charente-Maritime	Retaud	serre photovoltaïque	Johan BERNARDIN	Reden Solar	Johan BERNARDIN	Reden Solar a construit et gère la serre. L'agriculteur dispose gratuitement de la serre et deviendra propriétaire à la fin de l'exploitation	Neutre	en service depuis 2019	culture maraichère	2,7 ha	2180 kWc	correspond à la consommation électrique annuelle de 108 foyers

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS	5
REMERCIEMENTS	6
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	7
SOMMAIRE	8
INTRODUCTION :.....	9
PARTIE 1 : L'AGRIVOLTAÏSME DANS LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE INTERNATIONALE :.....	16
1. <i>À l'origine de la recherche scientifique sur l'agrivoltaïsme : étude des tout premiers travaux sur ce nouveau axe de recherche</i> :.....	17
1.1. Du photovoltaïque à l'agrivoltaïsme, l'émergence d'une filière répondant aux critiques sur la concurrence foncière qu'exercent les énergies renouvelables sur la sphère agricole :.....	17
1.2. Les débuts de l'agrivoltaïsme : les travaux du Fraunhofer-Gesellschaft.....	20
1.3. L'INRAE de Montpellier et le programme de recherche Sun'agri : le principal acteur actuel de la recherche sur l'agrivoltaïsme en France.....	23
1.3.1. L'organisation de l'INRAE de Montpellier chargé du programme Sun'agri :.....	23
1.3.2. Le déroulé du programme Sun'agri :.....	24
1.3.3. Les premiers résultats du programme de recherche Sun'agri :.....	26
2. <i>Synthèse de l'ensemble des articles scientifiques sur l'agrivoltaïsme rédigés depuis 1981</i>	28
2.1. La recherche sur l'agrivoltaïsme au fil des années :.....	28
2.2. Quelles sont les revues scientifiques ouvertes à la recherche sur l'agrivoltaïsme :.....	29
2.3. Les thématiques d'études sur l'agrivoltaïsme :.....	30
2.4. L'origine des équipes de chercheurs travaillant sur l'agrivoltaïsme :.....	31
3. <i>Zoom sur un axe de la recherche en agrivoltaïsme : l'aquavoltaïsme</i> :.....	34
1.1. Les premiers travaux de recherche sur l'aquavoltaïsme réalisés par une équipe de chercheurs américains du Michigan :.....	34
1.2. En Corée du Sud, la recherche sur la combinaison entre panneaux solaires et saliculture :.....	37
1.3. Le projet SHRIMPS, une recherche de l'ISE en coopération avec le Vietnam :.....	39
1.4. Le développement de l'aquavoltaïsme en France.....	42
PARTIE 2 : LES POLITIQUES ET RÉGLEMENTATIONS EUROPÉENNES ET FRANÇAISES SUR L'AGRIVOLTAÏSME, FACE À UNE ACTIVITÉ QUI PEUT SOULEVER DES OPPOSITIONS DE TYPE NIMBY :.....	43
1. <i>Les politiques européennes et françaises sur le développement des énergies renouvelables et notamment sur le photovoltaïsme et l'agrivoltaïsme</i>	43
1.1. Rappel du contexte politique international :.....	43
1.2. Les objectifs généraux pour le développement des énergies renouvelables dans les politiques européennes :	45
1.3. Vers une transition énergétique à l'échelle des politiques françaises, dans laquelle intervient l'agrivoltaïsme :	49
2. <i>Une réglementation encore floue sur l'agrivoltaïsme</i> :.....	53
2.1. Cadre réglementaire général sur les installations photovoltaïque dans le secteur agricole :.....	53
2.2. Les centrales photovoltaïques au sol conçues avec objectif agricole et les installations agrivoltaïque en hauteur :	56
2.2.1. Réglementations relatives aux questions d'urbanisme :.....	56
2.2.1.1. Une réglementation prévue pour préserver les terrains agricoles face aux projets de centrales photovoltaïques au sol :.....	56
2.2.1.2. Les recommandations de l'ADEME en réponse au Circulaire du 18 décembre 2009 relative au développement et au contrôle des centrales photovoltaïques au sol :.....	58
2.2.1.3. Des centrales photovoltaïque au sol autorisées quand l'activité agricole n'est pas incompatible : un notion juridique floue faisant objet d'incompréhension.....	58
2.2.1.4. Le régime d'autorisation d'urbanisme pour les centrales au sol :.....	60
2.2.1.5. Cas particulier des communes soumises à la loi littorale ou à la loi Montagne :.....	61
2.2.2. Réglementation en respect du Code de l'environnement et du Code rural et de la pêche maritime :.....	63

2.2.2.1.L'enquête publique, une obligation pour les projets de centrales au sol avec une puissance égale ou supérieure à 250 kWc :.....	63
2.2.2.2.Procédure pour les mesures compensatoires :.....	64
2.2.2.3.Procédure pour les mesures compensatoires :.....	64
2.3.Les serres photovoltaïques :.....	65
3.L'agrivoltaïsme, une activité pouvant soulever des conflits de type Nimby malgré sa présentation par ses acteurs comme une réponse aux conflits déjà existants sur les questions foncières.....	67
3.1.L'agrivoltaïsme, une nouvelle forme d'énergie pouvant soulever de nombreuses critiques :.....	68
3.2.L'agrivoltaïsme, une activité pouvant devenir l'objet de conflits d'acteurs : l'exemple du projet Solarzac sur la commune de Le Cros (34).....	72
3.2.1.Présentation du projet proposé par la société Arkolia Énergies.....	72
3.2.2.Un projet qui soulève une forte opposition de la part des habitants et agriculteurs locaux.....	73
3.2.3.Le déroulé du conflit et l'état actuel du projet Solarzac.....	75
PARTIE 3 : UNE CLASSIFICATIONS DES DIFFÉRENTES TYPES D'INSTALLATIONS D'AGRIVOLTAÏSME EN FRANCE ET LEURS MISE EN ŒUVRE PAR LES ÉNERGÉTICIENS ET LES COLLECTIVITÉS TERRITORIALES :.....	79
1.Une classification par type d'activité agricole :.....	80
1.1.Élevage.....	80
1.2.Culture maraîchère et horticulture.....	82
1.3.Arboriculture.....	82
1.4.Vignoble.....	85
1.5.Aquaculture.....	87
2.Des logiques de la part des énergéticiens très différentes :.....	88
2.1.Les centrales photovoltaïques au sol associées à de l'élevage ovin : la forme d'agrivoltaïsme la plus simple à mettre en place pour les sociétés de production d'énergies renouvelables :.....	89
2.2.Une approche de l'agrivoltaïsme par la recherche.....	90
2.3.Des énergéticiens voulant s'imposer sur la question de l'agrivoltaïsme.....	92
3.La place des collectivités territoriales dans les projets d'agrivoltaïsme :.....	95
3.1.Des collectivités territoriales neutre sur l'agrivoltaïsme.....	95
3.2.Des collectivités jouant un rôle actif au niveau des projets d'agrivoltaïsme :.....	97
3.3.La centrale photovoltaïque d'Ortaffa, un projet exemplaire de revalorisation agricole porté par le conseil municipal :.....	99
CONCLUSION : QUEL AVENIR POUR L'AGRIVOLTAÏSME ?.....	102
BIBLIOGRAPHIE.....	105
SITOGRAFIE.....	117
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	120
TABLE DES TABLEAUX :.....	123
TABLE DES ANNEXES.....	124
ANNEXE	125
TABLE DES MATIÈRES.....	135
DÉCLARATION ANTI-PLAGIAT.....	137
ABSTRACT	138
KEYWORDS	138
RÉSUMÉ	139
MOTS-CLÉS.....	139

ABSTRACT

Agrivoltaism is a device combining secondary photovoltaic production in synergy with a dominant agricultural activity. It can take different forms: ground power plant, solar greenhouse, photovoltaic shade, ... Invented in 1981 by two German researchers, the concept of agrivoltaism appeared in 2011 during the Sun'agri research program which associates the company Sun'R and INRAE of Montpellier. In recent years, scientific publications have increased internationally and many facilities have been established. Considered as a symbiosis between agricultural activity and electricity production, agrivoltaism is a form of adaptation of agriculture to climate change.

In this brief, we will study this new device through three different entries. First, we will take stock of current international research to see how it is organized and who is working on it. We will then look at the European policies favourable to the development of agrivoltaism as well as the French regulations applicable to any project. Finally, after a non-exhaustive census of French agrivoltaism installations, we will carry out an analysis according to the types of associated crops, the logic of energy societies and the positions of local and regional authorities in order to observe the form that agrivoltaism can take within our country.

KEYWORDS

Agrivoltaic, renewable energy, agriculture, photovoltaic, aquavoltaic

POUR COMBINER PRODUCTION ÉLECTRIQUE ET ALIMENTAIRE SUR UN TERRAIN UNIQUE :
L'AGRIVOLTAÏSME. BILAN DES RECHERCHES INTERNATIONALE ET EXAMEN DES POSSIBILITÉS
DE DÉPLOIEMENT SUR LE TERRITOIRE FRANÇAIS

Département de Géographie Aménagement
Laboratoire PASSAGES -UMR 5319 – CNRS/UPPA
Spécialité : Développement durable, Aménagement, Société et Territoire

Résumé :

L'agrivoltaïsme désigne un dispositif mêlant une production photovoltaïque secondaire en synergie avec une activité agricole dominante. Il peut prendre différentes formes : centrale au sol, serre solaire, ombrière photovoltaïque,... Inventé en 1981 par deux chercheurs allemands, la notion d'agrivoltaïsme est apparue en 2011 à l'occasion du programme de recherche Sun'agri qui associe la société Sun'R et l'INRAE de Montpellier. Ces dernières années, les publications scientifiques se sont multipliées à l'échelle internationale et de nombreuses installations ont vu le jour. Réfléchis comme une symbiose entre l'activité agricole et la production électrique, l'agrivoltaïsme s'apparente à une forme d'adaptation de l'agriculture face aux changements climatiques.

Dans ce mémoire, nous étudierons ce nouveau dispositif par trois entrées différentes. Dans un premier temps, nous réaliserons un bilan sur la recherche internationale actuelle afin d'observer comment elle s'organise et qui travaille sur ce sujet. Nous zoomerons ensuite sur les politiques européennes favorables au développement de l'agrivoltaïsme ainsi que sur la réglementation française s'appliquant à tout projet. Pour finir, après avoir réalisé un recensement non exhaustif des installations d'agrivoltaïsme français, nous réaliserons une analyse selon les types de cultures associées, les logiques des sociétés d'énergies et des positions des collectivités territoriales afin d'observer la forme que peut prendre l'agrivoltaïsme au sein de notre pays.

MOTS-CLÉS :

Agrivoltaïsme, énergie renouvelable, agriculture, photovoltaïsme, aquavoltaïsme