

Agrisolaire

Guide de bonnes pratiques

Version 2



SolarPower
Europe



Avant-Propos

Le secteur agrisolaire se développe rapidement et démontre un fort potentiel. Depuis la publication du premier volume du [Guide des bonnes pratiques agrisolaire de SolarPower Europe](#), le monde a connu de multiples crises : du COVID-19 à l'invasion de l'Ukraine par la Russie, menant à une crise énergétique sans précédent. Parallèlement, la crise climatique et la perte de biodiversité qui en résulte provoquent une insécurité alimentaire mondiale et une crise de l'eau inquiétante. En conséquence, les institutions européennes et les États membres accélèrent le déploiement d'initiatives durables ; les industries, comme l'énergie solaire, encouragent l'adoption des objectifs du pacte vert européen dans tous les domaines de l'économie, y compris celui de l'agriculture.

Dans un tel contexte, les décideurs politiques sont amenés à jouer un rôle essentiel dans la définition du cadre réglementaire favorisant le développement d'une énergie solaire protectrice et en co-usage. L'agrisolaire est une solution particulièrement adaptée pour la prise en compte de la décarbonation et de la sécurité énergétique et qui garantit une double utilisation durable des terres, la préservation de la nature, la santé des sols et la sécurité alimentaire. L'agrisolaire offre une solution complète avec de multiples avantages économiques, sociaux et environnementaux. Il réunit efficacement deux secteurs majeurs de notre société et de notre économie : l'agriculture et l'énergie. Les terres sont ainsi utilisées à la fois pour la production agricole et pour la production d'énergie photovoltaïque. L'agriculture étant particulièrement vulnérable au changement climatique, les technologies solaires peuvent être intégrées de manière harmonieuse dans des sites solaires respectueux de la nature, y compris pour les projets à double usage des terres, tels que le PV flottant et l'agrivoltaïsme.

Ce guide vise à identifier les solutions agrisolaires pour une utilisation double des terres, des systèmes de revenus supplémentaires pour le secteur agricole et des opportunités pour un développement rural plus durable. Ces solutions sont mises en œuvre par le biais d'équipements durables, de la production locale d'énergie, de la protection des travailleurs, de la valorisation des déchets et de la restauration des terres dégradées, ce qui nécessite une intervention humaine.

L'objectif de ce guide de bonnes pratiques est de s'appuyer sur l'expérience passée, d'offrir une vue d'ensemble des modèles existants, des tendances, des innovations et des bonnes pratiques, afin de conseiller les acteurs locaux et internationaux sur la manière de mettre en œuvre avec succès les infrastructures agrisolaires.

Le rapport s'adresse aux entreprises solaires et agricoles, aux investisseurs, aux propriétaires fonciers, aux services gouvernementaux, aux autorités locales, aux associations industrielles, aux centres de recherche scientifique, aux cabinets de conseil, aux fournisseurs et, plus généralement, à toute partie intéressée par l'agrisolaire. Les standards, les meilleures pratiques et les recommandations présentées dans les lignes directrices sont issues de l'expérience des membres du groupe de travail de SolarPower Europe sur l'utilisation des terres et les autorisations.

Nous remercions toutes les parties prenantes qui ont participé à cette initiative, et en particulier nos partenaires du secteur agricole qui ont apporté leur expertise.



EVA VANDEST

Directrice Affaires
Publiques, Amarenco
Présidente du groupe de
travail



**WALBURGA
HEMETSBERGER**

Directrice Générale,
SolarPower Europe



ALEXANDRA SOMBSTHAY

VP Relations Extérieures
Akuo,
Vice-Présidente de
SolarPower Europe





Guide traduit avec le soutien de :



Présidente du groupe de travail SolarPower Europe sur l'occupation des sols et autorisations d'urbanisme : Eva Vandest, Amarenco.

Vice-présidents du groupe de travail " l'occupation des sols et autorisations d'urbanisme " de SolarPower Europe : Penny Laurensen, Lightsource bp ;
Stephan Schindele, BayWa r.e.

Coordinatrice du groupe de travail " l'occupation des sols et autorisations d'urbanisme " de SolarPower Europe et chef de projet : Lina Dubina, SolarPower Europe.

Contributeurs : Miguel Herrero (PV Case), Mariana Yaneva (APSTE), Jiří Bím (Solární Asociace), Mathilde Chambost (Sun'Agri), Pierre-Antoine Chuste (Ombrea), Miriam Di Blasi (Enel), Mehmet Eren (Kalyon), Teresa Ojanguren Fernandez (Iberdrola), Dan Gerstenfeld (Interteam), Marin Guinard (Amarenco), Jana Kalmbach (Fraunhofer ISE), Kalina Koleva (Insolight), Colin Kulstad (BayWa r.e.), Jeanne Magnan-Vervoot (Amarenco), Simone Mazzole (3Bee), James MacDonald (Engie), David Moser (Eurac), Till Pegels (Schletter Group), Thomas Reher (KU Leuven), Costanza Rizzo (Statkraft), Emilien Simonot (Lightsource bp), Noam Shvartz (Solaredge), Eric Tonner (Vattenfall), Prof. Bram Van de Poel (KU Leuven), Alejandro Cardona Velez (Soltec).

Remerciements : SolarPower Europe souhaite remercier tout particulièrement tous les membres et les acteurs du secteur agricole qui ont apporté leurs connaissances et leur expérience à ce rapport. Celui-ci n'aurait jamais été possible sans leur soutien continu.

Édition du texte : Bethan Meban, SolarPower Europe, Lily Murdoch, SolarPower Europe, Térése O'Donoghue, SolarPower Europe.

Contact: info@solarpowereurope.org

À citer comme suit : SolarPower Europe (2023) : Guide de bonnes pratiques Agrisolar Version 2.0.

Publié : Juin 2023.

ISBN: 9789464669053.

Conception : Onehemisphere AB, Suède. contact@onehemisphere.se

Clause de non-responsabilité : Ce rapport a été préparé par SolarPower Europe. Il est fourni aux destinataires à titre d'information générale uniquement. Rien dans ce rapport ne doit être interprété comme une offre ou une recommandation de produits, de services ou de produits financiers. Ce rapport ne constitue pas un conseil technique, d'investissement, juridique, fiscal ou autre. Les destinataires doivent consulter leurs propres conseillers techniques, financiers, juridiques, fiscaux ou autres si nécessaire. Ce rapport est basé sur des sources considérées comme exactes. Cependant, SolarPower Europe ne garantit pas l'exactitude ou l'exhaustivité des informations contenues dans ce rapport. SolarPower Europe n'a aucune obligation de mettre à jour les informations contenues dans ce rapport. SolarPower Europe ne sera pas tenu responsable de tout dommage direct ou indirect causé par l'utilisation des informations fournies et ne fournira aucune indemnité.

SolarPowerEurope voudrait remercier les membres du groupe de travail sur l'occupation des sols et procédures d'autorisation d'urbanisme, qui ont contribué à ce rapport :



Table des matières

Avant-propos	3
Table des matières	6
Abréviations	7
1 Introduction	8
Objectif et portée du rapport	11
2 Développement durable	12
Définition	12
Politiques durables de l'UE	14
3 - Étoiles de référence pour les projets agrisolar : Évolution du système	20
3 Meilleures études de cas existantes	23
Étude de cas n° 1 : Système agrivoltaïque tracker en Bavière, Bavière, Allemagne (Schletter) ; Culture : céréales et rotation régulière des cultures pour des terres agricoles standard	23
Étude de cas n° 2 : Serres photovoltaïques pour fraises à Eyrargues, Bouches du Rhône, France (Amarenco) ; Culture : fraises	24
Étude de cas n° 3 : Légumes d'hiver cultivés dans des serres photovoltaïques à Toulouges, Pyrénées-Orientales - France (Amarenco) ; Culture : légumes d'hiver ; céleri, fenouil, sucrine, mini-verger	25
Étude de cas n° 4 : introduction de l'agriculture dans des centrales solaires existantes dans toute l'Europe (Enel Green Power) ; Culture : variété de cultures	26
Étude de cas n° 5 : site expérimental sur la vigne, à Rians, France (Ombrea) ; Culture : Vignes	27
Étude de cas n° 6 : Site expérimental sur la pivoine, à Hyères, France (Ombrea) ; Culture : pivoines	28
Étude de cas n° 7 : Verger de Bellegard en Occitanie, France (Akuo) ; culture : abricots	29
4 Meilleures pratiques : EPC et O&M	30
EPC des systèmes Agrivoltaïques	30
O&M des systèmes agrivoltaïques	33
5 Tendances et innovation	37
Projets financés par l'UE pour l'agrivoltaïsme	37
Examen des nouveaux projets pilotes et démonstrateurs	40
Étude de cas n° 8 : Solution dynamique d'agrivoltaïsme Insolagrins à Conthey, Suisse (Insolight) ; culture : fraises et framboises	41
Étude de cas n° 9 : Projets pilotes Agrivoltaïques en tête aux Pays-Bas, Pays-Bas, en Allemagne et en Autriche (BayWa r.e.) ; cultures : fruits à noyaux et à pommes	42
Étude de cas n° 10 : projet pilote expérimental d'agroforesterie et d'agrivoltaïsme en République tchèque ; Culture : fruits à noyaux et pommes	43
Étude de cas n° 11 : Serre arboricole de 100 kWc - reproduction d'une canopée avec des modules semi-transparents et un ombrage progressif, à Aillas, en Gironde, dans le sud-ouest de la France (Amarenco) ; Cultures : Arbres tropicaux	44
Étude de cas n° 12 : Lovenjoel / transfarm site expérimental agrivoltaïque (KU leuven) ; Cultures : blé et autres légumes de plein champ	45

Étude de cas n° 13 : « Hyperfarm » agrivoltaïque de démonstration à Strasskirchen, Bavière (Fraunhofer ISE) ; Cultures : pommes de terre, blé, orge et choux	46
Étude de cas n° 14 : Agrivoltaïsme dynamique dans l'arboriculture fruitière en Auvergne-Rhône-Alpes, France (Sun'Agri & Sefra)	47
Étude de cas n° 15 : Solution agrivoltaïque verticale double-face dans la région Auvergne, France (Engie). Combinées à l'élevage	48
Étude de cas n° 16 : Projet Symbizon : agriculture écologique en bandes combinée à des modules photovoltaïques bifaciaux : Almere, Pays-Bas (Vattenfall)	49
Étude de cas n° 17 : Winesolar et le programme Convive, Tolède, Espagne (Iberdrola) ; culture : vignes	50
Étude de cas n° 18 : Système innovant de suivi agrivoltaïque : Sharing the Sun (Soltec)	52
Innovation agritech	53
Exemple de cas : Capteurs intelligents pour les pollinisateurs (3Bee)	55
Exemple de cas : Atmocooling - améliorer l'efficacité des fermes photovoltaïques	56
Exemple de cas : Alicante, Espagne	57
Exemple de cas : Animob mafra	58

Abréviations

PAC	Politique agricole commune
DC	Courant continu
EPC	Engineering, procurement, construction – Maîtrise d'ouvrage (sous-traitant de chantier)
EU	(Union européenne)
GHG	Greenhouse gas (GES gaz à effet de serre)
GWc	Gigawatt crête
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change – (GIEC Groupe intergouvernemental sur le changement climatique)
LCA	Lifecycle Assessment (ACV – Analyse du cycle de vie)
JRC	Joint Research Centre (centre de recherche conjoint de la commission européenne)
LCOE	Levelized Cost of Energy (Coût Actualisé de l'Energie)
MWc	Megawatt crête
O&M	Opération et maintenance
UUA	Utilized Agricultural Area (SAU : surface agricole utile)
SAC	Sustainable Agriculture Concept (CAD Concept d'agriculture durable)



Aujourd'hui, le monde est confronté à une crise sans précédent : le réchauffement climatique en raison des activités humaine, qui affecte rapidement le climat de la Terre. En mars 2023, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a publié la dernière partie de son 6e rapport d'évaluation ; il a conclu que les émissions de gaz à effet de serre dues aux activités humaines réchauffent le climat à un rythme alarmant : la température à la surface du globe a augmenté de 1,1°C par rapport à la période préindustrielle. Tous scénarios d'émissions confondus, le GIEC estime que le réchauffement climatique atteindra 1,5°C au début des années 2030.

Le récent rapport du GIEC souligne également que l'augmentation de la température mondiale a des répercussions sur toutes les régions du monde, qu'il s'agisse de l'élévation du niveau des mers, des phénomènes météorologiques extrêmes ou de la disparition des calottes glaciaires. La conclusion attire l'attention sur les effets néfastes sur l'environnement, la société et l'économie. Comme l'indique le rapport, "environ la moitié de la population mondiale est actuellement confrontée à une grave pénurie d'eau pendant au moins un mois par an. Le changement climatique a également ralenti l'amélioration de la productivité agricole aux latitudes moyennes et basses..."¹

Les effets extrêmes et de grande portée du climat ont également touché l'Europe récemment. En 2022, l'Europe a connu l'année la plus chaude jamais enregistrée, ce qui a entraîné de graves sécheresses, de faibles précipitations et des débits fluviaux inférieurs à la moyenne. Selon les données de Copernicus, le continent européen s'est réchauffé plus rapidement que tout autre continent au cours des dernières décennies.² De même, l'hiver dernier, qui a été enregistré comme anormalement sec et chaud, affecte déjà le cycle naturel de l'eau dans le sud et l'ouest de l'Europe. Les effets de la sécheresse sont déjà évidents en France, en Espagne et en Italie,

ce qui suscite de nombreuses inquiétudes quant à la disponibilité des réserves d'eau et à l'impact sur l'agriculture³.

Entre-temps, la croissance rapide de la population mondiale entraîne une augmentation de la demande mondiale en eau, en énergie et en production alimentaire, ce qui aura un impact sur l'accessibilité de ces biens. Selon les projections des Nations unies, la population mondiale devrait atteindre 8,6 milliards en 2030 et 9,8 milliards en 2050.⁴ Pour répondre à la demande mondiale dans les pays en développement, la production agricole devra doubler.⁵ Parallèlement, la consommation mondiale d'énergie dans différents secteurs, y compris le secteur agricole, augmentera considérablement. Environ 3 % de la consommation finale totale d'énergie dans le monde provient des secteurs de l'agriculture et de la sylviculture, où environ 73,3 % de l'énergie totale est utilisée pour le chauffage.⁶ En Europe, nous avons constaté une augmentation de 1 % de la consommation d'énergie dans les secteurs de l'agriculture et de la sylviculture, qui représentait 3 % de l'énergie totale utilisée en Europe en 2020.⁷

L'année dernière, les prix de l'énergie en Europe et au-delà ont explosé, atteignant un niveau record depuis 2008. Selon les estimations de l'Agence internationale de l'énergie, 90 % de l'augmentation des prix de l'énergie est due aux prix élevés des combustibles fossiles en 2022.^{8, 9} Cette situation a entraîné des répercussions sur tous les secteurs consommateurs d'énergie, y compris l'agriculture. Les prix élevés de l'énergie et le secteur à forte consommation d'énergie peuvent avoir de graves répercussions sur la stabilité économique des exploitations agricoles. Rien qu'en Europe, les prix élevés de l'énergie ont affecté les agriculteurs et les zones rurales dans l'ensemble de l'UE. Le principal impact dans le secteur agricole est

1 [Source.](#)
2 [Source.](#)
3 [Source.](#)
4 [Source.](#)
5 [Source.](#)

6 [Source.](#)
7 [Source.](#)
8 [Source.](#)
9 [Source.](#)

lié à l'accès à l'eau et à la consommation d'énergie pour le processus d'irrigation.¹⁰ Des techniques d'irrigation bien conçues et efficaces nécessitent une consommation d'énergie plus élevée, tandis qu'une augmentation des prix de l'énergie peut affecter la viabilité de ces systèmes d'irrigation.¹¹

En réponse à cette crise, et pour minimiser le risque induit par l'augmentation de la température mondiale, la Commission européenne a adopté en 2019 son paquet "Green Deal" de l'UE, conformément à l'objectif de 1,5°C de l'Accord de Paris. Ce paquet a dévoilé une feuille de route pour que l'Europe devienne un continent climatiquement neutre d'ici 2050. L'un des objectifs du Green Deal de l'UE est l'objectif 2030 défini dans le paquet "Fit for 55". Le paquet révisé propose de cibler la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) de l'UE et le déploiement des énergies renouvelables. L'objectif est de réduire les émissions de GES de 55 % et de porter la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique final à 45 % d'ici 2030 (objectif contraignant de 42,5 % + 2,5 % à titre indicatif). En mars 2023, l'UE a adopté provisoirement une législation plus stricte pour accélérer le déploiement des énergies renouvelables, portant l'objectif contraignant de l'UE en matière d'énergies renouvelables à 42,5 % d'ici à 2030, avec l'ambition d'atteindre 45 %.

Outre la crise climatique, nous connaissons actuellement la pire crise énergétique que le monde ait connue depuis 50 ans. Suite à l'invasion illégale de l'Ukraine par la Russie, la Commission européenne a présenté le plan REPowerEU. Dans le cadre de la stratégie REPowerEU, la Commission a présenté un plan visant à économiser et à diversifier l'approvisionnement énergétique, à produire de l'énergie propre et à mettre fin à la dépendance de l'Europe à l'égard des combustibles fossiles russes.

Le paquet REPowerEU comprend une stratégie solaire européenne sans précédent, qui augmente de 43 % l'ambition de l'Europe en matière d'énergie solaire et propose plusieurs mesures pour accélérer le déploiement de l'énergie solaire. La stratégie solaire de l'UE, sans précédent, fournit le cadre adéquat pour accélérer le déploiement de l'énergie solaire photovoltaïque en Europe et fixe un objectif de 400 GW d'ici 2025 et de 750 GW d'ici 2030. Sur la base des scénarios de déploiement énergétique futurs, l'Europe peut dépasser l'ambition fixée et atteindre le Téra watt d'ici la fin de la décennie, soit cinq fois la capacité installée aujourd'hui. C'est pourquoi le secteur solaire est au cœur de la transition énergétique européenne. Les objectifs ambitieux de l'Europe nécessiteront la mobilisation de toutes les surfaces existantes adaptées aux panneaux photovoltaïques et le développement de nouvelles utilisations des espaces adaptés aux installations solaires. Le développement de l'agrivoltaïsme est une opportunité d'accélérer la réalisation des objectifs climatiques de l'UE, tout en rendant l'agriculture plus résiliente face aux défis climatiques.

Alors que les crises énergétique et climatique pèsent sur le secteur agricole, des risques supplémentaires apparaissent inévitablement. Selon les estimations du Centre commun de recherche (CCR), en Europe, environ 11 % des terres agricoles sont soumises à un risque élevé d'abandon, la plus grande partie étant constituée de terres arables¹³.

Parallèlement, l'insécurité alimentaire mondiale a augmenté depuis 2016.¹⁴ L'augmentation des prix des denrées alimentaires et la pandémie de COVID-19, ont toutes eu un impact sur le marché alimentaire mondial, et ont réduit la disponibilité de la nourriture au niveau mondial. L'insécurité alimentaire a doublé en 2023 par rapport à 2020, avec près de 345 millions de personnes risquant de ne pas avoir accès à une nourriture suffisante selon l'Organisation mondiale de l'alimentation.¹⁵ L'invasion russe de l'Ukraine a eu un impact significatif sur les marchés alimentaires mondiaux, l'Ukraine ayant connu une forte baisse de ses exportations, ce qui a entraîné une nouvelle hausse des prix des denrées alimentaires.

Les prix élevés des denrées alimentaires peuvent avoir un impact sur l'accessibilité des produits et menacer les groupes vulnérables et à faible revenu dans le monde entier. La volatilité des prix des denrées alimentaires crée des risques supplémentaires pour les agriculteurs en Europe et au-delà, car le revenu agricole moyen en Europe reste inférieur à la moyenne. Le revenu des ménages agricoles a légèrement augmenté au cours de la dernière décennie, mais il reste inférieur à celui d'autres professions.¹⁷

La population agricole diminue dans l'ensemble de l'UE, malgré le soutien de l'UE et des États membres. En 2020, l'UE comptera 9,1 millions d'exploitations agricoles, soit 37 % de moins qu'en 2005, selon la Commission européenne.¹⁸

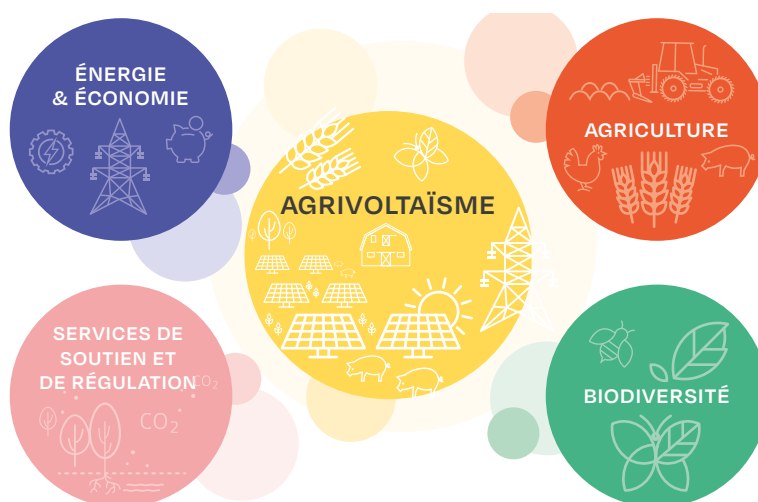
En Europe, les terres agricoles représentent environ 50 % de la surface terrestre de l'UE, la superficie agricole couvrant 39 %, y compris les terres arables, les pâturages et les exploitations en mosaïque.^{19, 20} La santé des sols est inévitablement liée aux pratiques agricoles dans l'UE. Actuellement, plusieurs facteurs participent à la détérioration de la santé des sols. Par exemple, l'artificialisation des sols, l'érosion des sols, la dégradation des sols, la désertification et la réduction des matières organiques ainsi que la perte de biodiversité sont des facteurs communs qui ont un impact sur la santé générale des sols et des écosystèmes en Europe.

10 "L'irrigation est l'apport contrôlé d'eau pour l'agriculture par le biais de systèmes artificiels afin de répondre aux besoins en eau non couverts par les précipitations pour la croissance et le développement des cultures" (Source).

11 Source.
12 Article.

13 Source.
14 Source.
15 Source.
16 Source.
17 Source.
18 Source.
19 Source.
20 Source.

FIGURE 1 BENEFICES ASSOCIÉS DE L'AGRIVOLTAÏSME



De vastes régions d'Europe sont confrontées à une dégradation accélérée des sols induite par différentes activités d'utilisation des terres. On estime que 60 à 70 % des sols européens sont dégradés et qu'environ 1 milliard de tonnes de sol sont emportées chaque année par l'érosion, ce qui entraîne une perte d'environ 1,25 milliard d'euros par an pour la production agricole²¹. La lutte contre la dégradation des sols peut compenser les émissions de gaz à effet de serre, favoriser la santé des écosystèmes et garantir l'accès à la nourriture pour une population croissante. Les sols jouent également un rôle essentiel dans la séquestration du carbone. Cependant, la dégradation des sols entraîne une perte de matière organique et affecte la capacité du sol à stocker le carbone. Par conséquent, il est essentiel de garantir des pratiques foncières durables, car cela contribuera à préserver les écosystèmes des sols, à garantir la sécurité alimentaire et à préserver les mesures d'adaptation au climat.²²

La pénurie de terres et l'expansion de différents types de secteurs exercent une pression sur les ressources foncières et une concurrence pour les terres. En outre, une pression supplémentaire sur la disponibilité des terres découle de l'augmentation de la production alimentaire mondiale, elle-même provoquée par l'accroissement de la population à l'échelle mondiale. En outre, les activités humaines et le changement climatique font peser des risques importants sur le monde naturel. Selon la plateforme intergouvernementale sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES), au moins un million d'espèces animales et végétales sont considérées comme menacées d'extinction.

Les décideurs politiques européens accordent désormais la priorité aux politiques en faveur de l'environnement et de la biodiversité. La stratégie de l'UE en faveur de la biodiversité à l'horizon 2030 a pour objectif de restaurer la biodiversité d'ici à 2030, dans l'intérêt des populations, du climat et de la planète. Des écosystèmes sains sont à la base du bien-être humain, car ils peuvent fournir de la nourriture, de l'eau douce et propre et des combustibles²³. Plus de 90 % de notre nourriture provient des écosystèmes terrestres, qui fournissent également à l'homme d'autres services²⁴.

Le développement des énergies renouvelables, en particulier de l'énergie solaire, d'une part, et le maintien de l'utilisation des terres agricoles, d'autre part, pourraient sembler inconciliables, conduisant à un conflit d'utilisation pour les mêmes terres. Cependant, il existe une solution qui permet de maintenir et d'améliorer la production agricole, tout en produisant de l'énergie photovoltaïque : l'agrivoltaïsme (²⁵ (défini dans le chapitre 2 : Durabilité).

²¹ [Source.](#)

²² [Source.](#)

²³ [Source.](#)

²⁴ [Source.](#)

²⁵ Dans le présent rapport, le terme Agrisolar est utilisé comme un terme général se référant à un marché.

L'agrivoltaïsme est un concept d'utilisation des terres qui associe les pratiques agricoles durables à la production d'énergie. Le terme agrivoltaïque (Agri-PV) est utilisé pour définir un concept d'utilisation des terres qui associe la production d'énergie renouvelable à l'agriculture et à la conservation de la nature. Ce rapport met l'accent sur l'agrivoltaïque, y compris, mais sans s'y limiter, sur les avantages socio-économiques et environnementaux, ainsi que sur les meilleures pratiques en matière d'EPC et d'O&M.

Dans le passé, l'agrivoltaïsme a gagné en attrait dans le monde entier en raison de sa multifonctionnalité qui lui permet de co-localiser de une production d'énergie, et d'électricité tout en fournissant des services écosystémiques. Cette application apporte une série d'avantages, en augmentant notamment la productivité des terres, et en maximisant les synergies entre l'énergie, l'alimentation et la sécurité environnementale (voir figure 1).

Les panneaux photovoltaïques ont un effet tampon sur la production agricole en cas d'événements climatiques extrêmes et peuvent créer des conditions microclimatiques favorables s'ils sont bien conçus. De nombreuses études ont montré que l'ombrage des panneaux photovoltaïques offre de multiples avantages additionnels et synergiques, comme la réduction du stress hydrique dû à la sécheresse sur les plantes, l'augmentation de la production de nourriture et de biomasse, la réduction du stress thermique ou la protection des plantes contre les phénomènes météorologiques violents. En fin de compte, les synergies entre les secteurs agricole et photovoltaïque démontrent les nombreux avantages des installations photovoltaïques qui ne nuisent pas aux activités agricoles.

Le potentiel théorique de l'agrivoltaïsme est élevé : les terres cultivées représentent près d'un tiers du territoire européen (32 %), dont 28,2 % sont utilisées comme terres arables et 3,8 % comme cultures permanentes.²⁶ Une estimation montre que la production solaire photovoltaïque pourrait satisfaire la demande mondiale d'énergie si moins de 1 % des terres cultivées étaient converties en systèmes agrivoltaïques.²⁷

Selon une étude récemment publiée par le Centre Commun de Recherche (CCR) européen, la capacité installée d'agrivoltaïsme sur les terres arables et les prairies et pâturages permanents dans l'UE peut atteindre le TéraWatt. On estime que les systèmes agrivoltaïques installés sur 10 % de la surface agricole utile (SAU) de l'UE pourraient atteindre une capacité installée comprise entre 3,2 TW et 14,2 TW. Si l'on ne couvre que 5 % de la SAU de l'UE, la capacité totale installée se situerait entre 1,5 TW et 7 TW²⁸.

Au-delà des avantages environnementaux, l'agrivoltaïsme offre des opportunités multidimensionnelles en facilitant le développement durable dans les zones agricoles. L'agrivoltaïsme peut être bénéfique pour les économies rurales, en créant des emplois, en générant des revenus pour la communauté et des recettes fiscales, et en fournissant des revenus divers aux agriculteurs et aux propriétaires terriens. L'agrivoltaïsme peut jouer un rôle crucial, en particulier dans les zones rurales où les sécheresses sont importantes et les paysages arides, qui ont besoin de pratiques durables en matière d'agriculture et de production d'énergie. La création d'emplois et l'amélioration de la prospérité économique dans les zones rurales peuvent à leur tour réduire l'exode rural.²⁹ En Europe, la population rurale a diminué en moyenne de 0,1 % par an, alors que

les zones rurales représentaient 45 % de la superficie de l'UE en 2021.³⁰ L'agrivoltaïsme peut stimuler le bien-être socio-économique des zones rurales, ce qui constitue la base d'un avenir durable et prospère.

Objectif et portée du rapport

Une double approche de l'utilisation des terres répond aux besoins de production d'énergie renouvelable tout en augmentant la valeur de la production agricole. Plus précisément, elle facilite les mesures d'adaptation au changement climatique et accroît la résilience du secteur agricole face aux crises climatiques, en assurant une protection des cultures dans des conditions météorologiques extrêmes. Parmi les autres avantages, citons l'augmentation de l'efficacité des terres, de l'eau et des autres ressources naturelles, l'amélioration du rendement des cultures, de la santé des sols et de la biodiversité. Parallèlement, l'agrivoltaïsme peut stimuler l'économie locale et soutenir le développement rural. Pour maximiser ces avantages, il convient de respecter le concept d'agriculture durable (CAS). Pour garantir la qualité des projets d'agrivoltaïsme, une planification et une conception adéquates du projet doivent être envisagées dès le début, ainsi que tout au long de la phase de développement et d'exploitation du projet.

L'objectif de ce rapport est donc de passer en revue les lignes directrices existantes en matière de bonnes pratiques agrivoltaïques et de fournir des mises à jour sur les points suivants :

- Le concept d'agriculture durable et le système de référence à trois étoiles ; ces mises à jour incluent des critères supplémentaires du CAS ;
- Les projets d'agrivoltaïsme existants dans l'UE ; ces mises à jour incluent des données sur le rendement des cultures, l'efficacité de l'eau et du sol, l'amélioration de la biodiversité et les avantages socio-économiques ;
- Mises à jour sur l'innovation dans le secteur agrivoltaïque ; ces mises à jour comprennent une vue d'ensemble des nouveaux projets pilotes et démonstrateurs, des mises à jour sur les nouveaux projets de recherche et les tendances en matière d'innovation dans le secteur ;
- Des mises à jour sur les meilleures pratiques en matière d'EPC et d'O&M.

Ce document fournit des conseils pour le déploiement de pratiques durables dans le domaine de l'agrivoltaïsme à l'intention des acteurs de l'industrie solaire ; il s'adresse également à des groupes d'acteurs plus larges et sert d'outil d'information pour le secteur agri-solaire.

²⁶ [Source.](#)

²⁷ [Source.](#)

²⁸ [Source.](#)

²⁹ La diminution de la taille de la population dans les zones rurales en raison de l'émigration / l'exode rurale ([source](#)).

³⁰ [Source.](#)



Définition

Dans ce rapport, l'agrisolaire est utilisé comme terme général pour désigner un secteur du marché où les pratiques agricoles durables sont combinées à des installations photovoltaïques. Les pratiques agricoles durables visent à améliorer les avantages environnementaux et socio-économiques pour l'exploitation agricole et son territoire. La décarbonisation de l'approvisionnement énergétique de l'exploitation est un point de départ, mais d'autres pratiques peuvent être adoptées pour renforcer les effets positifs, comme l'agroécologie ou l'engagement de la communauté locale. Le champ d'application de l'agrisolaire comprend, sans s'y limiter, le déploiement de panneaux solaires sur les toits des granges ou l'utilisation de l'électricité solaire pour alimenter les machines agricoles.

Voici d'autres exemples d'agrisolaire :

- Intégration de panneaux solaires dans les systèmes d'irrigation : Certains systèmes utilisent des panneaux solaires flottants ou des panneaux montés sur des structures pour produire de l'énergie tout en fournissant de l'eau aux cultures. Cette solution permet une utilisation plus efficace de l'eau en combinant l'irrigation et la production d'énergie solaire.

- Hangars agricoles avec toits solaires : Les hangars agricoles sont souvent utilisés pour stocker du matériel, élever du bétail ou protéger les cultures. Grâce à l'installation de panneaux solaires sur le toit de ces structures, il est possible de produire de l'énergie solaire tout en conservant les terres agricoles. Les panneaux solaires peuvent être montés sur des supports fixes ou conçus pour suivre le mouvement du soleil.

L'agrivoltaïsme se définit comme un concept d'utilisation des terres qui associe les installations photovoltaïques et la production d'énergie à l'agriculture et à la protection de la nature, qui dépendent de la lumière du soleil.

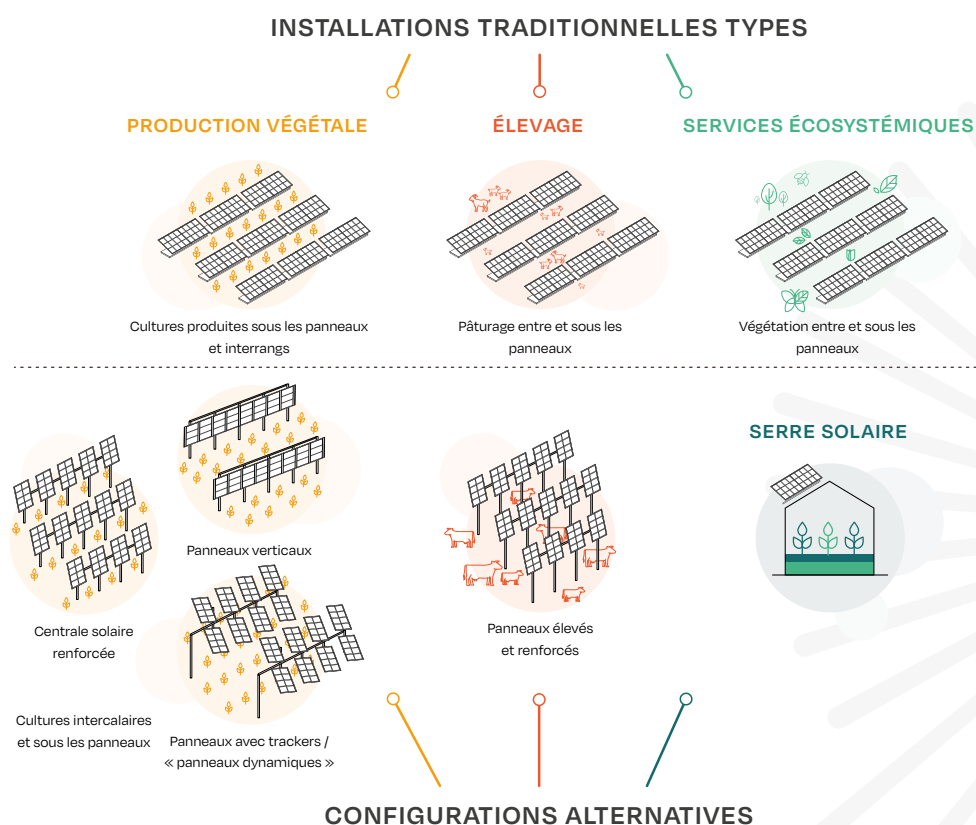
L'agrivoltaïsme offre un large éventail d'applications, adaptables à chaque production, à chaque site et aux conditions locales (voir figure 2). Certaines des applications les plus courantes sont présentées dans le tableau 1 de la page suivante.

Les installations photovoltaïques agricoles doivent garantir que l'activité agricole est au moins préservée, voir améliorée. Une approche de l'installation photovoltaïque sur les terres agricoles en harmonie avec l'agriculture et la conservation de la nature doit être au cœur du développement de l'agrivoltaïsme.

TABLEAU 1 EXEMPLES FRÉQUENTS D'APPLICATIONS AGRISOLAIRES

Combinaison de cultures et de fermes solaires	Une autre solution consiste à pratiquer des cultures intercalaires ou à offrir des zones de pâturage aux animaux entre les rangées et, dans certains cas, sous les panneaux solaires. Les types de cultures privilégiés sont celles qui comportent des légumes à feuilles. Ces solutions permettent une utilisation optimale des terres et une augmentation de leur productivité.
Systèmes de panneaux solaires surélevés, avec ou sans systèmes dynamiques	Les panneaux solaires sont montés sur des structures surélevées au-dessus des cultures ou des animaux. Cela permet aux cultures de pousser normalement en dessous et de bénéficier de l'ombre partielle fournie par les panneaux. Les panneaux solaires sont bénéfiques pour les cultures et les animaux, car ils permettent de s'adapter au changement climatique, de se protéger contre les conditions météorologiques défavorables, d'obtenir des avantages agronomiques et/ou d'améliorer le bien-être des animaux.
Serre solaire	Les systèmes équipés de panneaux solaires produisent simultanément des produits agricoles et de l'énergie. Les panneaux solaires fournissent de l'ombre aux cultures et les protègent contre les conditions météorologiques défavorables.
Volières avec structures de protection solaire	Les élevages de volaille ont souvent besoin de structures couvertes pour protéger les oiseaux des intempéries et des prédateurs. Dans ce contexte, les structures d'ombrières solaires sont utilisées comme toit des volières et fournissent de l'ombre aux oiseaux tout en produisant de l'électricité. La protection solaire peut être conçue de manière à permettre une pénétration optimale de la lumière naturelle afin d'assurer le bien-être des animaux.

FIGURE 2 DIFFÉRENTES APPLICATIONS AGRIVOLTAÏQUES



SOURCE : Cleantechica.

Politiques européennes durables

Politique agricole commune (PAC)

La PAC vise à créer une coopération entre le secteur agricole, y compris les agriculteurs européens, et la société européenne dans son ensemble. L'objectif principal de la PAC est de soutenir les agriculteurs, d'assurer le développement continu des secteurs agricoles et ruraux, tout en luttant contre le changement climatique et en garantissant une gestion durable des ressources naturelles. Une nouvelle réforme de la PAC a été officiellement adoptée en décembre 2021 et est entrée en vigueur en janvier 2023. La PAC révisée 2023-2027 repose sur les concepts de pratiques agricoles plus vertes, plus équitables et plus durables. La nouvelle stratégie de la PAC définit dix objectifs spécifiques (figure 3). En particulier, la PAC se concentre sur des activités agricoles plus écologiques et plus durables, y compris, mais sans s'y limiter, les objectifs fixés pour les éco-régimes, le développement rural, le climat et la biodiversité, et les ambitions durables plus élevées. Les éco-régimes impliquent l'affectation d'au moins 25 % du budget à des paiements directs en faveur de pratiques agricoles respectueuses du climat et de l'environnement (agriculture biologique, agroécologie, agriculture du carbone, etc.) 40 % du budget de la PAC devront être consacrés aux objectifs climatiques et 10 % aux objectifs liés à la biodiversité³¹.

Les dix objectifs de la PAC constituent la base des plans stratégiques de la PAC élaborés au niveau national.

Ces plans sont adaptés aux besoins et aux objectifs de chaque État Membre, tout en visant des objectifs à l'échelle de l'UE. La PAC 2023-2027 est liée à d'autres stratégies de l'UE et vise notamment à atteindre les objectifs des stratégies "de la ferme à la table" et "biodiversité"³². En outre, les objectifs nationaux des États membres en matière d'énergies renouvelables (EnR) pour la période 2023-2027 sont intégrés. La figure 4 présente une vue d'ensemble des objectifs combinés de capacité EnR indiqués dans les plans de la PAC.

Actuellement, 14 États membres ont intégré le solaire photovoltaïque dans leurs plans stratégiques agricoles. Ces pays sont l'Autriche, la Belgique, la Bulgarie, Chypre, la République tchèque, la France, l'Allemagne, l'Irlande, l'Italie, le Luxembourg, Malte, les Pays-Bas, l'Espagne et la Slovaquie.³³ Le terme « Agrivoltaïque » a été intégré dans les plans stratégiques de quatre États membres, en Allemagne, en Italie, aux Pays-Bas et en Slovaquie. Les plans stratégiques agricoles allemand et italien reconnaissent la différence entre les installations PV et agrivoltaïques. Le plan allemand encourage en outre "l'installation de systèmes photovoltaïques surélevés qui ne compromettent pas l'utilisation des terres à des fins agricoles".³⁴ De

FIGURE 3 OBJECTIFS DE LA PAC DE L'UE



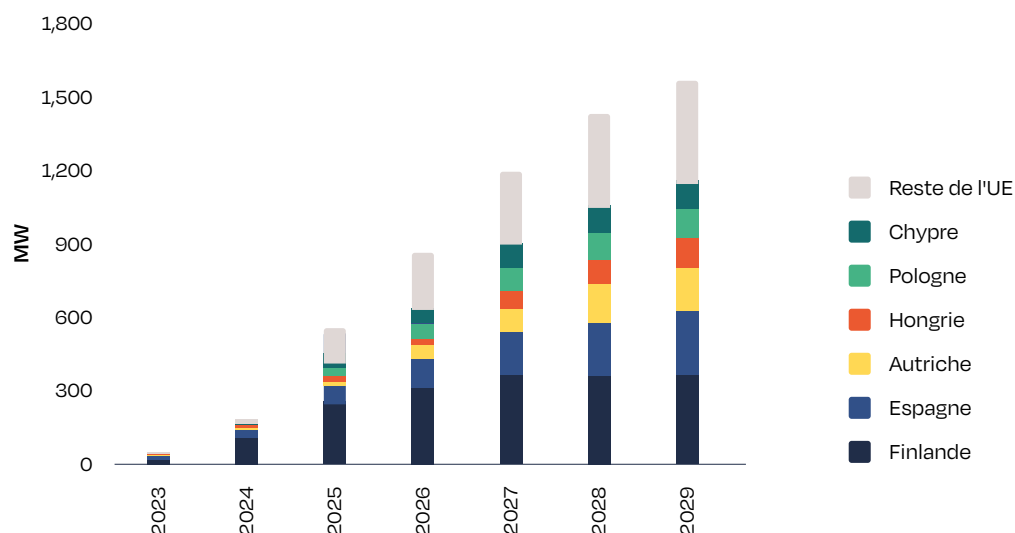
SOURCE : Commission européenne.

31 [Source.](#)

32 [Source.](#)

33 [Source.](#)

FIGURE 4 OBJECTIFS DE CAPACITÉ EN MATIÈRE D'ÉNERGIES RENOUVELABLES COMBINÉES DANS LES PLANS STRATÉGIQUES DE L'UE POUR LA PAC, 2023-2029



SOURCE : Analyse du CCR basée sur (Commission européenne, 2022b)

même, le plan néerlandais pour la PAC promeut l'agro-production et définit spécifiquement la nécessité pour les modules photovoltaïques de ne pas interférer avec l'activité agricole. Il fixe également des critères pour la répartition des modules photovoltaïques par hectare.³⁵ Le plan de la PAC slovène promeut l'agrivoltaïsme sans donner plus de détails.³⁶

L'UE devrait clarifier la définition de l'agrivoltaïsme afin de s'assurer que les États membres continuent à verser les paiements directs de la PAC aux agriculteurs qui déploient des systèmes agrivoltaïques sur leurs terres. Les subventions issues du deuxième pilier de la PAC visent à soutenir les activités agricoles tout en promouvant des pratiques durables. Comme le souligne la récente publication du CCR, c'est précisément l'objectif des installations agrivoltaïques qui associent des systèmes photovoltaïques à des activités agricoles durables. Par conséquent, il convient de maintenir les paiements directs de la PAC sur les sites agrivoltaïques quand les agriculteurs y poursuivent leur activité agricole et ne reçoivent pas de subventions par le biais de la location de terres.³⁷

Une vision à long terme pour les zones rurales de l'UE - vers des zones rurales plus fortes, connectées, résilientes et prospères d'ici 2040.

En 2021, la Commission européenne a dévoilé son plan visant à renforcer le développement rural en Europe d'ici 2040. L'objectif de cette stratégie est d'évaluer les défis et les opportunités auxquels les

zones rurales sont confrontés, ainsi que de proposer des solutions qui permettront aux régions rurales d'être plus résilientes, connectées, prospères et plus fortes.³⁸

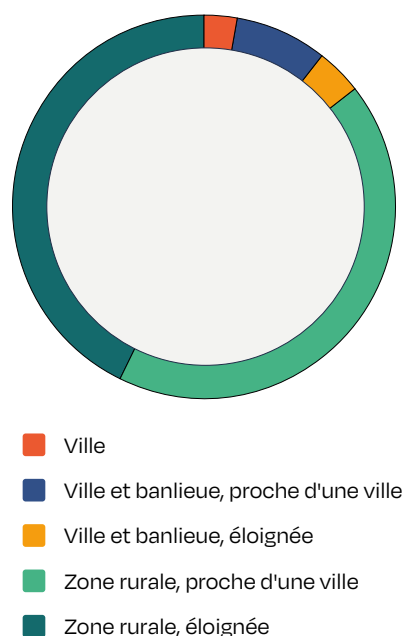
Par rapport à d'autres régions, les zones rurales ont en moyenne une population plus âgée, qui diminuera lentement au cours des prochaines décennies. Le taux de chômage des jeunes est également beaucoup plus élevé dans les zones rurales, atteignant 13,4 %. Néanmoins, les zones rurales en Europe sont vitales. Elles représentent plus de 30 % de sa population et plus de 80 % de son territoire (voir figure 5). Les zones rurales sont le socle de la société européenne, car elles soutiennent la production alimentaire, gèrent les ressources naturelles, protègent les paysages naturels et favorisent les loisirs et le tourisme.³⁹ Le vieillissement de la population, combiné à un manque d'opportunités d'emploi diversifiées, à des infrastructures et à une connectivité médiocres, crée non seulement un environnement de travail et des moyens de subsistance peu attrayants dans les zones rurales, mais pose également un risque pour l'avenir de ces dernières.

Récemment, les effets du changement climatique sont devenus plus évidents. Les conditions météorologiques extrêmes et les événements liés au climat, tels que les vagues de chaleur, les inondations

³⁴ [Source.](#)
³⁵ [Source.](#)
³⁶ [Source.](#)

³⁷ [Source.](#)
³⁸ [Source.](#)
³⁹ [Source.](#)

FIGURE 5 COUVERTURE TERRESTRE DE L'UE, 2018



SOURCE : CE-COR.

et les sécheresses, affectent de nombreuses régions d'Europe. De nombreuses parties de l'Europe ont atteint les températures les plus élevées jamais enregistrées au cours de l'été 2022. Selon les estimations des chercheurs de l'université de Graz, en Autriche, "l'Europe est en proie à la sécheresse depuis 2018".⁴⁰ Ces phénomènes météorologiques extrêmes devraient devenir plus fréquents et plus intenses dans les années à venir.⁴¹ Certaines régions d'Europe, comme l'Italie, la France et l'Espagne, sont confrontées à des problèmes d'approvisionnement en eau. D'autres sources affirment que l'été 2023 pourrait être encore plus sec que le précédent.⁴² Les impacts des conditions météorologiques extrêmes affecteront non seulement les villes et les citoyens, mais aussi le secteur agricole. Aujourd'hui, des pays comme l'Espagne et l'Italie sont directement confrontés aux conséquences des sécheresses, qui menacent leurs secteurs agricoles.⁴³

L'Agence européenne pour l'environnement (AEE) prévoit que les cultures non irriguées telles que la betterave sucrière, le maïs et le blé diminueront considérablement dans le sud de l'Europe au cours des 30 prochaines années. On estime que les cultures diminueront de 50 % en 2050. Par conséquent, le revenu agricole diminuera également de manière significative (avec des différences régionales) d'ici 2050.⁴⁴

Rôle de l'agrivoltaïsme dans le développement agricole durable

L'agrivoltaïsme a un rôle clé à jouer non seulement dans la production d'énergie renouvelable, mais aussi en soutenant les zones rurales et en garantissant des pratiques agricoles durables. L'agrivoltaïsme offre plusieurs possibilités de minimiser la pression environnementale, de fournir des avantages socio-économiques aux agriculteurs et de lutter contre le changement climatique. L'agrivoltaïsme offre des solutions pour minimiser les problèmes de pénurie de terres liés aux différents secteurs concurrents et à l'augmentation de la population mondiale. Il offre également des solutions pour limiter les problèmes de pénurie d'eau, protéger et augmenter la croissance des cultures, fournir une production d'énergie durable et soutenir les zones rurales contre les conditions météorologiques difficiles telles que les sécheresses et les inondations.

Impacts sur l'environnement

Dans une étude récente menée par M. Wagner et al., les impacts environnementaux de l'agriculture simple et des systèmes agrivoltaïques aériens ont été comparés à l'aide de l'analyse du cycle de vie (ACV).⁴⁵ Les résultats ont illustré les avantages environnementaux des systèmes agrivoltaïques installés sur des terres agricoles. Les résultats montrent les impacts environnementaux positifs dans quinze des seize catégories d'impact, y compris l'utilisation des terres, le changement climatique et l'eutrophisation.⁴⁶ En outre, les résultats indiquent que, dans certaines conditions, les systèmes agrivoltaïques peuvent contribuer à la production d'énergie renouvelable sans diminuer la production alimentaire.⁴⁷

Productivité des terres

Plusieurs rapports et études ont mis en évidence l'augmentation de la productivité des terres résultant du partage des avantages de l'agrivoltaïsme. Selon une étude menée par A. Sarr et al, les systèmes agrivoltaïques peuvent améliorer la productivité des terres de 35 à 73 %, tandis que d'autres études ont estimé que la productivité des terres pouvait augmenter de 60 à 70 %. La figure 6 illustre l'augmentation de 186 % de la productivité des terres lorsque les installations photovoltaïques sont situées

45 L'analyse du cycle de vie (ACV) est une méthodologie utilisée pour quantifier les incidences potentielles d'un produit, d'un service ou d'un système sur l'environnement et l'énergie d'un produit, d'un service ou d'un système tout au long de son cycle de vie.

40 [Source.](#)

41 [Source.](#)

42 [Source.](#)

43 [Source.](#)

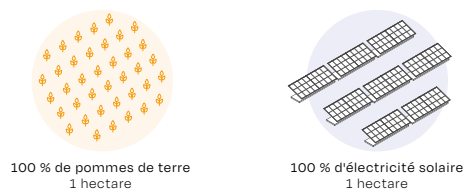
44 [Sources.](#)

46 Eutrophisation : augmentation progressive de la concentration de phosphore, d'azote et d'autres éléments nutritifs dans un écosystème aquatique vieillissant comme un lac. ([source](#)).

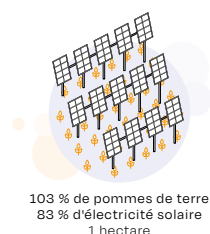
47 [Article.](#)

FIGURE 6 AUGMENTATION DE L'EFFICACITÉ DE L'UTILISATION DES TERRES DANS LA CULTURE DES POMMES DE TERRE AVEC LA CO-LOCALISATION DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIE

UTILISATION SÉPARÉE DES TERRES SUR 1 TERRAIN DE CULTURE D'HECTARE :
100 % DE POMMES DE TERRE OU 100 % D'ÉLECTRICITÉ SOLAIRE



UTILISATION COMBINÉE DES TERRES SUR 1 HECTARE DE TERRES CULTIVÉES :
186% D'EFFICACITÉ D'UTILISATION DES TERRES



en même temps que des cultures de pommes de terre.⁴⁸ De même, une augmentation de plus de 30% de la valeur économique des terres a été estimée dans une étude menée par Dinesh et Pearche.⁴⁹ Cette augmentation de la valeur économique a été obtenue en réduisant la perte de rendement des cultures due à l'ombrage des panneaux photovoltaïques sur certaines cultures.⁵⁰

On estime que la conversion de 1 % des terres arables disponibles en Europe à la culture de pommes de terre en agrivoltaïsme pourrait permettre le déploiement de 1 290 GWp supplémentaires. Le potentiel technique absolu est encore plus élevé.⁵¹

Effacité de l'eau

L'irrigation ou l'arrosage des terres agricoles représente 70 % de l'utilisation totale d'eau douce dans le monde.⁵² L'augmentation de la température atmosphérique causée par le réchauffement climatique et la multiplication des phénomènes météorologiques violents exerceront une pression supplémentaire sur les régions sujettes à la sécheresse. Pour s'adapter à ces défis mondiaux, l'efficacité et la gestion durable de l'eau seront essentielles. Il existe une forte corrélation entre l'évapotranspiration⁵³ et le rayonnement solaire. Par conséquent, la réduction de l'évapotranspiration minimisera le besoin d'irrigation. L'agrivoltaïsme peut contribuer à réduire la consommation d'eau pour l'irrigation en diminuant l'évapotranspiration grâce à

l'ombrage des modules photovoltaïques.⁵⁴ En outre, l'amélioration des conditions microclimatiques, telles que la température et l'humidité du sol, ou l'efficacité de l'utilisation de l'eau à des fins d'irrigation, peut avoir un impact positif sur les cultures dans les zones arides.

Des études similaires ont été menées pour évaluer l'humidité du sol, et les résultats ont montré une augmentation de l'humidité du sol de 14,7 % et 11,1 %, dans les installations fixes et mobiles respectivement. Une utilisation plus efficace de l'eau peut être obtenue en maintenant une humidité du sol plus élevée. Une étude menée par Adeh et al. a indiqué que l'efficacité de l'utilisation de l'eau était estimée à 328 % - une augmentation résultant de l'utilisation de panneaux agrivoltaïques.⁵⁷ Des résultats plus spécifiques ont montré que l'efficacité de l'utilisation de l'eau était estimée à 157 % pour le piment, 65 % pour les tomates et 12 % pour la laitue. En outre, une réduction d'environ 20 % de la demande en eau pour la laitue a été estimée dans une autre étude.⁵⁸

48 [Source.](#)
 49 [Source.](#)
 50 [Source.](#)
 51 [Source.](#)
 52 [Source.](#)

53 Évapotranspiration : perte d'eau du sol à la fois par évaporation de la surface du sol et par transpiration des feuilles des plantes qui y poussent ([source](#)).

54 [Source.](#)
 55 [Source.](#)
 56 [Source.](#)
 57 [Source.](#)
 58 [Source.](#)

Amélioration de la biodiversité

L'agrisolaire a un potentiel significatif pour améliorer la biodiversité sur les sites solaires. Par exemple, les sites solaires qui créent des habitats pour les pollinisateurs peuvent être bénéfiques pour la biodiversité locale et servir de mécanisme de conservation important pour les espèces menacées.⁵⁹ Une augmentation des habitats pour les pollinisateurs peut entraîner une augmentation des services de restauration des écosystèmes tels que la pollinisation des cultures et la lutte contre les parasites à proximité des zones agricoles, ce qui peut à son tour améliorer le rendement des cultures de fruits comme les fraises ou les myrtilles.⁵⁹ En outre, les sites solaires conçus et gérés de manière appropriée et placés sur des

terres agricoles dégradées ou de faible valeur peuvent restaurer les terres dégradées et même fournir des gains nets significatifs en termes de biodiversité. Ces avantages comprennent, sans s'y limiter, l'amélioration de la santé des sols, une plus grande diversité de la flore et de la faune locales et, plus généralement, le soutien à la restauration des écosystèmes.

La cohabitation de l'énergie photovoltaïque et de l'élevage est un autre concept bien connu, qui a donné d'excellents résultats en termes de productivité et de co-usage. Plusieurs études ont montré l'augmentation de l'efficacité des terres en partageant le pâturage du bétail avec la production d'énergie.⁶⁰

INFO BOX 1: EXEMPLE DE CAS - AMÉLIORATION DES POLLINISATEURS ; 3BEE

Situé en Sicile, en Italie, le projet ARCA - Francaviglia s'étend sur 5,2 hectares avec une capacité totale de 1 MW. Le projet appartient à Cubico Sustainable Investments, l'une des plus grandes sociétés privées d'énergie renouvelable au monde. Désireux de tester des actions potentielles pour améliorer la biodiversité locale, Cubico a engagé 3Bee pour concevoir une intervention sur le site afin de restaurer la biodiversité en introduisant des plantes à haute teneur en nectar sur le site.

Deux activités ont été réalisées : (i) la mise en œuvre d'un projet de régénération basé sur des plantes à haute teneur en nectar, et (ii) la mise en place d'un protocole de suivi.

Pour déterminer la sélection idéale de plantes qui maximiseraient la disponibilité de nectar dans la zone, 3Bee a utilisé Flora, un outil d'intelligence artificielle développé en collaboration avec l'Agence spatiale européenne et exploitant les données de Sentinel-II. Les plantes les plus appropriées ont été identifiées et introduites sur environ 1,6 hectare.

Un protocole de surveillance a été mis en place avec les deux composantes suivantes :

- 4.0 Rucher (HiveTech) : 3Bee a établi un rucher composé de deux ruches pour surveiller les populations d'abeilles et évaluer leur réaction à l'introduction de plantes à haute teneur en nectar. Le rucher a utilisé des capteurs IoT (Internet des objets) avancés pour collecter des données en temps réel sur la santé, la productivité et le comportement des ruches.

- Surveillance des pollinisateurs sauvages (Spectrum) : En plus des abeilles, 3Bee a déployé des capteurs IoT sur le site du projet pour surveiller et suivre les populations de pollinisateurs sauvages. Ces capteurs ont collecté des données telles que la présence, l'abondance et la diversité des pollinisateurs, ce qui nous a permis d'évaluer l'impact global des espèces végétales introduites sur les pollinisateurs locaux.

Les résultats préliminaires indiquent une amélioration significative d'environ 10 % en termes de présence de pollinisateurs locaux par rapport aux niveaux prévus. Ces résultats positifs représentent un potentiel considérable pour la zone agricole environnante, car l'activité accrue des pollinisateurs contribuera à améliorer les services écosystémiques, tels que la pollinisation, au profit des exploitations agricoles locales et de leurs récoltes.



© 3Bee.

⁵⁹ [Article.](#)

⁶⁰ [Article.](#)

Réduction du plastique et circularité

Un autre avantage des systèmes agrivoltaïques est la réduction des systèmes de protection des cultures existants. Différents systèmes de protection tels que les tunnels en plastique et les filets d'ombrage sont couramment utilisés pour protéger les cultures permanentes de grande valeur. De même, dans les régions au climat plus chaud, comme la région méditerranéenne, les systèmes de protection peuvent également être utilisés pour les cultures de plein champ. L'agrivoltaïsme peut servir de système de protection et remplacer l'utilisation de tunnels en plastique. L'utilisation de ce type de plastique peut potentiellement augmenter la toxicité dans l'environnement. Par conséquent, une réduction de l'utilisation du plastique grâce aux systèmes agrivoltaïques peut avoir un impact positif sur l'environnement et l'économie circulaire.

Socio-économique

Les facteurs socio-économiques sont essentiels pour soutenir les zones rurales et leur développement. Le système agrivoltaïque peut contribuer à générer des revenus, à créer des emplois et à faciliter le soutien social. Certains des avantages socio-économiques de l'agrivoltaïsme sont énumérés ci-dessous :

- Rendement des cultures / produits alimentaires
- Éviter les pertes et réduire certains coûts, par exemple pour l'irrigation
- Revenu des agriculteurs
- Production d'énergie comme moyen de revenus supplémentaires
- Communautés d'énergie renouvelable
- Électrification du secteur agricole
- Création d'emplois et de nouvelles qualifications dans le secteur agricole

Tout d'abord, les installations agrivoltaïques protègent les cultures en atténuant les impacts des conditions météorologiques défavorables, et garantissent ainsi la performance économique dans un contexte d'aléas climatiques.

Des études montrent que les installations agrisolaire offrent une opportunité d'améliorer la performance économique et peuvent augmenter le revenu des agriculteurs.⁶¹ Il existe trois principaux modèles économiques permettant aux agriculteurs de valoriser leur exploitation.

Modèles économiques agrivoltaïques :

1. Les agriculteurs peuvent consommer leur propre production d'électricité et vendre le surplus en l'injectant dans le réseau (une solution adaptée aux zones agricoles qui consomment beaucoup d'électricité).
2. Le producteur peut vendre toute son énergie solaire avec un prix de l'énergie verte révisé tous les trimestres et garanti pendant 20 ans.

Modèle économique agrisolaire sur toiture :

3. La solution la plus courante consiste à louer un toit photovoltaïque ou une surface (en rénovant un toit ou en construisant un nouveau bâtiment cofinancé), afin de percevoir un loyer mensuel.

Le revenu de la vente de l'électricité produite par les centrales permet aux propriétaires et aux agriculteurs de recevoir un loyer annuel garanti pendant toute la durée de vie de la centrale agrivoltaïque. Cela leur permet de diversifier et de stabiliser leurs revenus, et de contribuer ainsi au développement de leur activité. L'agrivoltaïsme n'est pas seulement une technologie abordable et économiquement rentable pour les agriculteurs, c'est également considéré comme un investissement sûr⁶².

Dans un contexte où le monde agricole est fortement soumis aux aléas climatiques, il peut garantir la sécurité financière de l'exploitation. En contribuant à la revitalisation du monde agricole, l'agrivoltaïsme joue également un rôle social de revitalisation du territoire.

L'agrivoltaïsme peut également soutenir le développement rural en créant des emplois supplémentaires, en générant des revenus supplémentaires grâce à la production d'énergie et en assurant une stabilité économique globale. Cependant, certaines compétences et connaissances sont nécessaires pour accélérer le déploiement de l'agrivoltaïsme. Ces compétences et connaissances sont décrites dans le tableau 2 de la page suivante.

Par ailleurs, les tendances et l'innovation dans le secteur de l'agrivoltaïsme se sont développées ces dernières années. Grâce aux projets pilotes et aux installations de recherche, l'agrivoltaïsme peut également soutenir diverses pratiques agricoles telles que l'agroforesterie, la permaculture, l'agriculture biologique et bien d'autres encore (voir la section 5 Tendances et innovation).

⁶¹ [Article](#).

⁶² [Source](#).

TABLE 2 COMPÉTENCES ET CONNAISSANCES NÉCESSAIRES POUR ACCÉLÉRER LE DÉPLOIEMENT DE L'AGRISOLAIRE

Ingénierie des énergies renouvelables	L'ingénierie est une profession clé dans le secteur agrivoltaïque. De la conception à l'installation et à la maintenance des solutions agrivoltaïques, la compréhension de la technologie photovoltaïque, le dimensionnement du système et l'installation électrique ou l'intégration au réseau sont essentiels.
Connaissances agricoles	Une solide connaissance des pratiques agricoles est également un élément essentiel d'un projet agrivoltaïque. Les connaissances en matière de culture, d'irrigation, de gestion des sols et d'élevage permettent d'optimiser l'utilisation des terres.
Gestion du projet	Gestion de projet : Des compétences efficaces en matière de gestion de projet sont nécessaires pour coordonner et superviser les installations agrisolaïres afin de garantir une exécution dans les délais, l'affectation des ressources, la coordination des parties prenantes et le respect des normes de qualité et des exigences réglementaires.
Compétences en électricité	Des électriciens ou des ingénieurs électriciens spécialisés dans les installations solaires photovoltaïques sont nécessaires pour s'occuper des composants électriques des systèmes agrisolaïres. Leur expertise peut être utilisée pour permettre un câblage, des connexions et une mise en service corrects des panneaux solaires, des onduleurs et des systèmes électriques.
Construction et installation	Des ouvriers du bâtiment, tels que des techniciens ou des installateurs, sont nécessaires pour installer les systèmes agrivoltaïques.
Surveillance et maintenance du système	La surveillance et l'entretien continus sont essentiels pour garantir la performance optimale et la longévité des systèmes agrisolaïres. Les techniciens ou les spécialistes de la maintenance sont responsables des inspections régulières, du nettoyage des panneaux, du dépannage et de la réparation de tout problème technique.
Environnement et aménagement du territoire	Les professionnels spécialisés dans l'évaluation de l'impact sur l'environnement et l'aménagement du territoire jouent un rôle crucial dans l'évaluation des implications environnementales et sociales des projets agrisolaïres. Ces professionnels peuvent s'assurer que les exigences en matière de durabilité et de réglementation sont respectées.
Recherche et développement	Les chercheurs et les scientifiques jouent un rôle essentiel dans le développement de nouvelles technologies utiles au secteur agrisolaire. En outre, les études, l'analyse des données et les solutions innovantes contribuent à une plus grande productivité et à une meilleure intégration des solutions agrivoltaïques dans les terres et les exploitations agricoles.
Experts en politique et en réglementation	Les professionnels en matière de politique, de réglementation et d'incitations pour le développement des énergies renouvelables peuvent fournir des conseils pour mieux comprendre et naviguer dans le paysage institutionnel et réglementaire.

Référence 3 étoiles pour les projets agrisolaïres : Évolution du système

Les critères ci-dessus nous permettent de proposer un cadre indicatif pour évaluer la qualité de projets agrisolaïres spécifiques. Ce cadre pourrait prendre la forme d'un référentiel 3 étoiles qui pourrait être utilisé avant le développement du projet et tout au long de sa durée de vie. Toutefois, la proposition élaborée dans les présentes lignes directrices ne doit

pas être considérée comme un cadre d'assurance qualité à part entière ou comme une norme. Les lignes directrices ont plutôt pour but d'inspirer le développement de cadres réglementaires solides pour l'agrisolaire.

Un référentiel 3 étoiles permet d'évaluer la qualité de la conception et de l'exploitation d'un projet agrisolaire spécifique en termes de synergies agri-énergie créées et de durabilité sociale et environnementale globale.

Les synergies agri-énergie et la durabilité peuvent être représentées schématiquement dans le tableau 3.

Comment lire les critères de référence 3 étoiles

Un projet agrisolaire qui respecte les critères essentiels du CAS ("Critères obligatoires" ou « Must criteria »), tels que l'élaboration du CAS lui-même, serait qualifié de projet agrisolaire avec une note d'une étoile. Si un projet remplit des critères supplémentaires (critères souhaitables ou « Should criteria »), tels que la démonstration de synergies entre le système photovoltaïque et l'activité agricole, ou si le projet contribue à des pratiques durables sur le plan social ou environnemental, le projet se

verra attribuer une note de deux étoiles. Enfin, un projet idéal qui remplit d'autres critères « best-in-class » (critères potentiels ou "Could criteria"), qui maximisent les synergies agri-énergie ou fournissent des services écosystémiques significatifs, se verra attribuer une note de trois étoiles. Il est à noter que si le respect des critères "Must" est une condition de base pour être considéré comme agrisolaire, le respect des critères "souhaitables" et "potentiels" reste facultatif. Le fait de ne pas remplir un ou plusieurs de ces critères facultatifs n'empêchera pas un système d'obtenir une note de qualité supérieure. Il est important de noter que les critères définis dans les présentes lignes directrices ne sont pas exhaustifs et n'ont qu'une valeur indicative.

TABLEAU 3 CRITÈRES AGRISOLAIRES

	CRITÈRES OBLIGATOIRES 	CRITÈRES SOUHAITABLES 	CRITÈRES POTENTIELS 
DIMENSION 1 : Agriculture	• Dispose d'un SAC comprenant des informations générales sur l'activité agricole et le système photovoltaïque, une évaluation des besoins des parties prenantes agricoles, des informations sur le terrain du projet, le plan technique du système agrisolaire, une évaluation de l'utilisation des équipements/machines. • Répond aux besoins de l'activité agricole et produit de l'électricité verte. • Sélection des cultures appropriées : adaptation des cultures qui tolèrent l'ombrage partiel causé par les panneaux solaires afin de maximiser la productivité agricole tout en permettant la production d'énergie solaire.	• Démonstration des synergies entre l'énergie photovoltaïque et l'agriculture. • Évaluation de la distribution de la lumière et des conditions microclimatiques. • Gestion de l'eau. • Démontrer la transition vers des pratiques durables telles que la réintroduction d'arbres et d'animaux sur le site, l'introduction d'une agriculture régénératrice (lignes directrices applicables telles que les lignes directrices de la FAO⁶³ sur les pratiques d'agriculture régénératrice).	• Maximiser les synergies entre l'énergie photovoltaïque et l'agriculture. • Démontrer l'amélioration de la résilience de l'activité agricole. • Démontrer une économie nette de la consommation d'eau à la ferme. • Changer le modèle agricole pour un modèle de polyculture (abandonner les pratiques de monoculture). • Privilégier les pratiques agroécologiques (éviter les produits chimiques, l'utilisation de pesticides, etc.), afin d'enrichir les sols et de rétablir la biodiversité. • Mettre en place une irrigation efficace : installer des systèmes d'irrigation économes en eau pour les cultures agricoles afin de minimiser les pertes d'eau et d'optimiser l'utilisation des ressources en eau.
DIMENSION 2 : Environnement	• Évaluation efficace de l'impact environnemental du projet (évaluation standard de l'impact environnemental).	• Établissement de normes minimales pour la préservation des sols pendant la construction et le démantèlement. • Technique efficace, dégradabilité des structures.	• Fourniture de services écosystémiques. • Appliquer des lignes directrices environnementales telles que le "guide BNE" afin d'améliorer la biodiversité sur le site.

63 Food and Agriculture Organization of the United Nations.

TABLEAU 3 CRITÈRES AGRISOLAIRES - suite

	CRITÈRES OBLIGATOIRES 	CRITÈRES SOUHAITABLES 	CRITÈRES POTENTIELS 
DIMENSION 2 : Environnement (suite)	Évaluation des impacts sur l'érosion et l'envasement des sols, évaluation de la disponibilité de l'eau.	- Appliquer une approche fondée sur le cycle de vie. - Transition vers des pratiques agricoles durables en améliorant la flore et la faune locales. - Introduire des économies nettes d'eau. - Réduire les perturbations du sol. - Réduire la pollution des sols. - Créer des corridors écologiques : fournir des habitats à la flore et à la faune indigènes ; par exemple, incorporer des zones de végétation indigène, fournir des habitats aux insectes pollinisateurs, aux oiseaux et à d'autres espèces bénéfiques à l'écosystème agricole.	- Fournir des services de régénération des sols et de capture du carbone ; assurer le suivi des données. - Modifier les conditions microclimatiques pour s'adapter au changement climatique : dans le cadre de l'amélioration de la biodiversité, utiliser des méthodes de migration assistée pour accélérer les processus de migration des espèces. - Mettre en œuvre des mesures de boisement ou de reboisement, en particulier à l'intérieur des parcelles ou entre elles, afin de favoriser la qualité de la biodiversité. - Augmenter le couvert végétal sur le site. - Augmenter la productivité des terres. - Accueillir des projets susceptibles de contribuer à l'adaptation au changement climatique.
DIMENSION 3 : socio-économie	Évaluation des conditions de travail dans les exploitations agricoles, y compris les aspects liés à la sécurité.	- Analyse des économies financières réalisées tout au long de la vie grâce au remplacement des matériaux à courte durée de vie. - Prise en compte des incidences sur la chaîne d'approvisionnement locale.	- Plan d'action local qui intègre les communautés locales et leurs points de vue. - Mise en place d'une communauté locale de l'agriculture et des énergies renouvelables et intégration dans cette communauté. - Prise en compte des canaux de distribution locaux et économes en énergie.
DIMENSION 4 : ACV	Contrôle des performances du système.	Collecte de données sur les performances (agricoles, environnementales, énergétiques, socio-économiques).	- Fournir une évaluation détaillée de la performance des services écosystémiques et socio-économiques. - Appliquer au projet la définition d'un ensemble d'indicateurs, d'une méthodologie et d'un rapport sur les indicateurs clés de performance.

3

Meilleures études de cas existantes

© Qmbrea

Le concept d'agriculture durable offre de nombreux avantages non seulement pour l'environnement, mais aussi des avantages sociaux et économiques. Sur la base des connaissances existantes, ce chapitre se concentrera sur la présentation de divers projets agriscolaires existants à travers l'Europe. Il présentera des projets existants et en fonctionnement, tout en donnant un aperçu du processus de développement et de mise en œuvre. En outre, le chapitre s'appuiera sur

les exemples de cas de projets agriscolaires existants disposant de données de suivi sur les caractéristiques de durabilité. Ce chapitre comprendra deux exemples de cas existants en Allemagne et six exemples de cas en France, en Espagne et en Grèce. Il fournira des données d'observation sur les avantages socio-économiques, agricoles et environnementaux de ces sites de projet.

ÉTUDE DE CAS 1 SYSTÈME AGRIVOLTAÏQUE TRACKER EN BAVIÈRE, ALLEMAGNE (SCHLETTER)

CULTURE : CÉRÉALES ET ROTATION RÉGULIÈRE DES CULTURES POUR LES TERRES AGRICOLES STANDARD

L'un des premiers projets agrivoltaïque avec système de suiveur (« tracker ») en Allemagne, d'une puissance de 1,85 MWp, a été développé en 2019 par la société DoppelErnte. Bien que ce système soit l'un des premiers de son genre, il ne sert pas seulement de preuve de concept, mais a donné des résultats fructueux pour le propriétaire lorsqu'il a été connecté au réseau en 2020. L'objectif du projet était de maintenir la production agricole à un niveau aussi proche que possible de 100 % en générant gardant un coût de l'énergie (LCOE) le plus bas possible. Aujourd'hui, 90 % des terres sont toujours exploitées activement, avec un rendement agricole légèrement inférieur les années humides, et le même rendement que l'agriculture conventionnelle les années sèches. La symbiose entre la production photovoltaïque et le rendement agricole a abouti à une extension de l'installation photovoltaïque en 2021, à l'initiative de l'agriculteur, l'exploitation et la maintenance étant assurées par le promoteur et les partenaires locaux. Grâce au soutien des autorités locales et grâce au concept économique éprouvé ne nécessitant pas de subventions, le projet a obtenu son autorisation en moins d'un an. Grâce aux changements réglementaires à venir, il pourrait même être à l'avenir possible d'obtenir des autorisations, dans certains cas d'utilisation, sous moins de trois mois.

© DoppelErnte.

Un autre avantage de ce système dynamique avec trackers est qu'il ne perturbe pas les processus de rotation des cultures agricoles standard. Par conséquent, les machines existantes peuvent être utilisées sans aucune modification. Les distances entre les trackers ont été conçues pour optimiser le rendement à la fois pour l'agriculture et pour la production d'électricité.

L'intégration de modules bifaciaux permet d'obtenir le meilleur coût de l'électricité (LCOE) possible. La distance optimisée entre les rangées permet une exposition solaire idéale pour les cultures. En cas de conditions climatiques arides, la structure photovoltaïque empêche la déshydratation du sol. L'irrigation sera analysée et optimisée grâce à des capteurs d'humidité du sol et au soutien scientifique du Fraunhofer ISE.



3 Meilleures études de cas existantes / suite

ÉTUDE DE CAS 2 : SERRES PHOTOVOLTAÏQUES POUR FRAISES À EYRARGUES, BOUCHES DU RHONE, FRANCE (AMARENCO)

CULTURE : FRAISES

Connecté au réseau en 2018, ce projet a consisté en la construction de 9 serres photovoltaïques pour produire des fraises et d'autres cultures saisonnières sur 1,1 hectare de terrain avec une capacité de production de 2 MW. Pour optimiser le rendement et la qualité de la production, les plants de fraises sont renouvelés tous les deux ans. Si les fraises sous systèmes agrivoltaïques génèrent le même revenu que les plantations de plein champ, ces dernières peuvent être récoltées plus tôt et sur une plus longue période que les autres types de fraises.

Dans une exploitation transmise de père en fille, les différentes activités agricoles ont permis d'augmenter la surface, et d'équilibrer le revenu moyen autour de 70K€/ha. L'ombrage des serres permet de réduire les besoins en eau de 20 à 30 %, grâce à la diminution de l'évaporation et à l'assèchement du sol par le mistral. Les produits sont vendus localement dans la région et à Marseille via les réseaux d'approvisionnement existants.

Focus sur les observations après 2 années supplémentaires d'activité :

Bénéfices agricoles :

- **Continuité de l'exploitation** : Succès de la transmission de l'exploitation à un membre de la famille en 2023.
- **Élevage** : L'élevage en plein air comprend des poules pondeuses, qui éloignent les parasites et les nuisibles, ce qui a un impact positif sur l'agriculture biologique, avec moins de dégâts causés par les insectes sur les cultures.

Avantages pour l'environnement :

- **Efficacité de l'eau** : L'ombrage des serres réduit les besoins en eau de 20 à 30 %. Le site dispose d'un puits avec suffisamment d'eau pour assurer la production agricole de légumes et l'élevage de poulets tout au long de l'année.
- **Résilience climatique** : Les haies de cyprès existantes protègent les cultures du mistral et servent d'ombrage aux volailles pour se rafraîchir pendant les périodes chaudes, ainsi que de garde-manger avec de nombreuses larves, graines, plantes, etc. Les oiseaux de ferme contribuent également au débroussaillage des haies, indispensable en cas de sécheresse, et à la prévention des incendies.

Avantages socio-économiques :

- **Diversification de l'activité (aviculture et polyculture)⁶⁴** : Renforcement de la résilience en cas d'inflation, le prix des fraises ayant baissé en 2022.
- **Emploi** : Création d'un poste d salarié à temps plein + et de deux postes de saisonniers pour la récolte des fraises dans 4 à 5 serres.
- **Vente sur le marché** : Les produits sont vendus dans la région et à Marseille via les réseaux d'approvisionnement existants.
- **Acceptation locale** : Aucun problème d'acceptation locale.



© Amarenco.



64 Pratique consistant à cultiver plusieurs cultures différentes ou à élever plusieurs types d'animaux différents sur une même surface ([source](#)).

ÉTUDE DE CAS 3 LÉGUMES D'HIVER CULTIVÉS DANS DES SERRES PHOTOVOLTAÏQUES À TOULOUGES, PYRÉNÉES-ORIENTALES - FRANCE (AMARENCO) CULTURE : LÉGUMES D'HIVER ; CÉLERI, FENOUIL, SUCRINE, MINI-VERGER

Connecté au réseau en 2017, le projet a déployé 21 serres photovoltaïques sur une surface de 2,1 hectares, avec une capacité de production de 2 MW. Le projet comprenait une période d'un an visant à améliorer la qualité du sol grâce à l'application de compost et à la culture d'un sorgho pour aérer le sol. En 2023, l'exploitation est en transition : l'ensemble du site est cultivé en hiver avec de la sucrine et au printemps avec des courgettes. L'objectif de cette transition est d'anticiper la baisse des prix du bio, et d'utiliser les revenus issus de la production d'électricité pour amortir la perte de revenu de l'arboriculture.⁶⁵ Cette transition vise également à maintenir un revenu moyen autour de 50~60K€/ha. En outre, des abricotiers seront plantés entre toutes les serres.

L'ombrage des serres réduit les besoins en eau de 20 à 30 % en raison de la diminution de l'évaporation et de l'assèchement du sol par la tramontane.⁶⁶ La possibilité de récupérer l'eau de pluie du toit est à l'étude. L'exploitation bénéficie d'une main-d'œuvre formée et professionnelle tout au long de l'année. L'agriculteur utilise sa main-d'œuvre en fonction des marchés et des saisons, avec un accent sur l'arboriculture à la fin du printemps/été et en automne, et un autre accent sur l'horticulture⁶⁷ au printemps.

Le site est certifié par Ecocert et toutes les cultures sont biologiques. Les très fortes gelées de la fin de l'hiver 2022 n'ont pas eu d'impact sur les cultures, ce qui constitue un avantage supplémentaire. Les produits de l'exploitation sont vendus localement.

Zoom sur les observations après plus de 2 ans d'activité :

Bénéfices agricoles :

- **Résilience climatique** : Les cultures ont été protégées d'une forte gelée survenue au cours de l'hiver 2022.
- **Bio-certification** : Cultures biologiques certifiées Ecocert.

Avantages pour l'environnement :

- **Efficacité de l'usage de la ressource en eau** : Économies d'eau de l'ordre de 20 à 30 %.
- **Santé du sol** : Utilisation de compost et culture de sorgho pour aérer le sol.

Avantages socio-économiques :

- **Stabilité économique** : Évolution des cultures pour s'adapter au marché et maintenir les performances économiques.
- **Création d'emplois** : Maintien d'une main d'œuvre qualifiée tout au long de l'année, grâce à une activité agricole continue.
- **Vente sur le marché** : Vente locale de l'ensemble de la production.
- **Acceptation locale** : Pas de problème avec le voisinage et l'opposition locale.



© Amarenco.



⁶⁵ L'étude ou la pratique de la culture des arbres et des arbustes ([source](#)).

⁶⁶ Vent fort, sec et froid venant du nord-ouest ([source](#)).

⁶⁷ L'étude ou l'activité consistant à cultiver des plantes de jardin ([source](#)).

3 Meilleures études de cas existantes / suite

ÉTUDE DE CAS 4 INTRODUCTION DE L'AGRICULTURE DANS LES CENTRALES SOLAIRES EXISTANTES EN EUROPE (ENEL GREEN POWER) CULTURE : VARIÉTÉ DE CULTURES

En janvier 2021, Enel Green Power a lancé 9 projets de démonstration agrivoltaïques à grande échelle dans trois pays différents, à savoir la Grèce, l'Espagne et l'Italie. Ces démonstrations permettent d'étudier les conditions optimales requises pour cultiver des cultures spécifiques dans des centrales photovoltaïques au sol existantes dans différentes zones climatiques.

Les projets de démonstration réalisés en Espagne et en Grèce, dans différentes conditions climatiques et configurations de centrales photovoltaïques (systèmes standard fixes ou sur trackers, équipés de modules mono ou bifaciaux), montrent des résultats très prometteurs. Les espèces cultivées dans les couloirs entre deux rangées de modules, comparées à celles des zones de contrôle - exemptes de modules - présentent une augmentation du rendement agricole comme suit :

- **Espagne** : +40% de foin ; +20% de thym ; +30% d'ail ; et +60% de poivrons. Réduction de la consommation d'eau de 15 à 20 %.
- **Grèce** : +15% d'origan ; +30% d'aubergines ; +60% de poivrons ; +18% de la production de fraises dans les couloirs et +14% de production de fraises mesurés sous les modules, atteignant +36% en utilisant le rétro-éclairage LED (spectre solaire complet) pendant les heures de lumière du jour ; la réduction de l'utilisation de l'eau est mesurée à 15-20%.

Enel Green Power a adopté une approche holistique dans le développement des tests de démonstration agrivoltaïque afin de favoriser une intégration agro-zootechne respectueuse de la biodiversité. D'autres pratiques agricoles durables ont été mises

en œuvre sur les sites de démonstration, par exemple l'utilisation de films de paillage biodégradables. Un réseau de capteurs mesurant les paramètres agricoles est installé pour évaluer l'agriculture 4.0 (le site pilote pour les cultures), ainsi que la réduction de la consommation d'eau et d'engrais. En outre, une augmentation des espèces locales auparavant en déclin est observée.

Avantages pour l'agriculture :

- Augmentation du rendement des cultures, de 15 à 60 % selon le type de culture.
- **Santé des sols** : Mise en place de capteurs pour contrôler la réduction des engrais.

Avantages pour l'environnement :

- **Efficacité de l'utilisation de la ressource en eau** : Réduction de la consommation d'eau de 15 à 20 % sur les deux sites.
- **Réduction de l'utilisation du plastique** : Utilisation de films de paillage biodégradables.
- **Amélioration de la biodiversité** : Intégration des habitats des pollinisateurs, protection des espèces menacées telles que les oiseaux des steppes et les papillons sauvages.

Avantages socio-économiques :

- **Création d'emplois** : Intégration de la communauté locale, avec des sections de formation dédiées aux étudiants, aux jeunes et aux familles.



© Enel Green Power.

INFO BOX 2 : NOUVEAU PLAN DE DEMO EN ITALIE ; ENEL GREEN POWER

Enel Green Power a mis en place un nouveau laboratoire ouvert Agri-PV en Italie, avec la technologie PV verticale. La centrale de démonstration, d'une puissance de 30 kWp, est équipée de modules bifaciaux, et la centrale

de démonstration, de 30 kWp, est équipée de modules bifaciaux. Les cultures sélectionnées sont les lentilles et le safran. Cette installation verticale Agri-PV est équipée d'un système de récupération d'eau qui réduit la consommation d'eau, augmentant ainsi la durabilité du système Agri-PV. Les résultats seront collectés en 2023.

ÉTUDE DE CAS 5 VERGER DE BELLEGARD EN OCCITANIE, FRANCE (AKUO) CULTURE : ABRICOTS

En 2015, Akuo a lancé le premier projet agrivoltaïque en France métropolitaine, situé dans la région Occitanie (Gard). D'une puissance installée de 2 MW générée par des ombrières photovoltaïques, le projet " Bellegarde " associe la production d'électricité à la culture d'abricots biologiques et à l'apiculture. La filiale agricole d'Akuo, Agriterra, en partenariat avec l'agriculteur Marc Portier, a réalisé une analyse agronomique préalable du projet. Ainsi, les cultures et la technologie ont été adaptées aux caractéristiques du territoire. Les structures d'ombrage apportent plusieurs avantages aux cultures. Les cultures sont à la fois protégées des aléas climatiques, des ravageurs et d'un ensoleillement excessif, tandis que les abricots bénéficient d'une luminosité suffisante pour s'épanouir et croître de manière robuste.

En 2022, les régions françaises ont connu des vagues de froid exceptionnelles, qui ont eu un impact sur l'ensemble des rendements agricoles. Néanmoins, le verger d'Occitanie a réussi à produire des rendements, fournissant environ 8,5 tonnes/ha.

L'apport en eau d'irrigation a été réduit de 50 % par rapport à une exploitation de verger classique. En outre, des nichoirs pour mésanges, chauves-souris et oiseaux de proie ont été installés sur le site il y a deux ans, et le taux d'occupation des nids montre des résultats prometteurs.

Avantages pour l'agriculture :

- **Rendement** : En 2022, le verger a produit environ 8,5 tonnes d'abricots par hectare.

- **Résilience climatique** : L'ombrage des panneaux permet de protéger les cultures des aléas climatiques et de la lumière directe du soleil pendant les vagues de chaleur.

Avantages pour l'environnement :

- **Amélioration de la biodiversité** : Mise en place de nids d'oiseaux sur le site.

Avantages socio-économiques :

- **Engagement des agriculteurs** : Le projet a été développé en partenariat avec un agriculteur local.



© Akuo.

3 Meilleures études de cas existantes / suite

ÉTUDE DE CAS 6 SITE VITICOLE EXPÉRIMENTAL, À RIAN, FRANCE (OMBREA)

CULTURE : VIGNE

En réponse au changement climatique et aux événements météorologiques extrêmes, Ombrea développe un système de régulation du climat sous la forme de structures d'ombrage contrôlées. L'objectif est d'assurer des conditions favorables au bon développement de la vigne en ajustant l'ombrage. En 2019, Ombrea et la SCP (Société du Canal de Provence) s'associent pour conjuguer leur vision et leur expertise en créant un site viticole expérimental à Rians, suivi par l'Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV).

Les recherches menées sur ce site ont donné des résultats positifs :

Résultats climatiques :

- Diminution des températures élevées en été : Réduction de 51 % des heures caniculaires (température supérieure à 35 °C) sous ombrage dynamique ;
- Réduction de 66 % de la température pendant les périodes d'ensoleillement excessif susceptibles d'endommager les cultures ;

- Atténuation des vagues de chaleur pouvant entraîner un stress hydrique atmosphérique : Réduction de 32 % ;
- Une température du sol systématiquement plus basse sous ombrage contrôlé.

Résultat en physiologie végétale :

- Une contrainte hydrique plus faible à l'ombre que dans les zones de contrôle non ombragées ;
- Croissance végétative : croissance végétative plus importante et plus durable tout au long de la saison.

Agronomic results:

- Rendement et teneur en sucre : une évaluation supplémentaire est nécessaire pour confirmer l'impact du système d'ombrage sur le rendement et la teneur en sucre par rapport aux vignobles ordinaires.
- Aucune différence organoleptique (odeur et goût) n'a été observée dans les vins produits au cours des millésimes 2020 et 2021.

Traitement d'ombrage dynamique - vignes.



Traitement de contrôle - vignes brûlées.



© Ombrea.

ÉTUDE DE CAS 7 SITE EXPÉRIMENTAL SUR CULTURE DE PIVOINES, À HYERES, FRANCE (OMBREA)
CULTURE : PIVOINES

Ce site expérimental a évalué des Pivoines 'Sarah Bernhardt', placées sous un système de protection par ombrage dynamique, par rapport à une exposition en plein soleil (par exemple, les sites de contrôle) dans les mêmes conditions de terrain. Le pilotage de l'ombrage dynamique a utilisé la technologie d'Ombrea pendant quatre années complètes. La température de l'air et du sol, le rayonnement photosynthétique actif et l'humidité ont été enregistrés. L'irrigation a été contrôlée et activée en fonction des besoins de la culture. Le rendement et la qualité des fleurs ont également été mesurés.

Résultats climatiques :

- La température du sol en hiver était plus basse sous le système d'ombrage dynamique ;
- La température du sol pendant les périodes plus chaudes était systématiquement plus basse (jusqu'à 6 degrés de différence) ;
- La période pendant laquelle les pivoines ont été soumises à un stress thermique a diminué de 34% ;

- Une diminution de l'excès de lumière, et donc de la photo-inhibition potentielle, a été observée ;
- Une meilleure satisfaction des besoins en froid pendant la saison hivernale a été mesurée, de 20 à 38 %.

Résultats agronomiques :

- Les mesures effectuées sur les pivoines étaient conformes à la modification des conditions pédoclimatiques.
- Dans les zones de contrôle, les plantes étaient plus exposées aux conditions climatiques, avec une augmentation de 27 % des besoins en eau pendant l'été, tandis que les brûlures dues au soleil sur les feuilles augmentaient également dans le traitement de contrôle.
- Le rendement en fleurs a été amélioré de 17% dans le système d'ombrage dynamique. Cette augmentation pourrait s'expliquer par de meilleures conditions climatiques pendant la saison végétative, ce qui pourrait conduire à un meilleur stockage du carbone et de l'azote.

Pivoines sous ombrage dynamique.



Feuilles brûlées dans les sites de contrôle par rapport à l'ombrage dynamique.



© Ombrea.



Meilleures pratiques : EPC et O&M

L'installation de systèmes agrivoltaïques nécessite des considérations uniques en matière d'ingénierie, achat et construction (EPC) et d'exploitation et de maintenance (O&M), avec des implications sur la conception, l'installation et le fonctionnement à la fois du système solaire et du processus agricole.

En fonction du type d'agriculture et de l'exploitation agricole de chaque site agrivoltaïque, les systèmes agrivoltaïques doivent être conçus, installés et exploités de manière à permettre la circulation libre et en toute sécurité des machines agricoles, des travailleurs agricoles et du bétail, tout en garantissant une transmission suffisante de la lumière et de l'eau de pluie. Pour les marchés agrivoltaïques dotés d'importantes directives techniques ou réglementations existantes, comme l'Allemagne, la mise en conformité vis-à-vis de ces exigences doivent faire l'objet d'une attention particulière et des ajustements du système agrivoltaïque doivent éventuellement être mis en œuvre.

Traditionnellement, la conception, la construction et l'installation des systèmes photovoltaïques visent à maximiser la production d'énergie. Cependant, dans les systèmes Agrivoltaïques, l'objectif principal est d'optimiser la production d'énergie et la production agricole. Pour y parvenir, les paramètres suivants sont d'une grande importance :

Ingénierie, achat et construction (EPC) des systèmes agrivoltaïques

Hauteur de la structure

La taille et la hauteur des systèmes agrivoltaïques doivent être adaptées à l'activité agricole qui sera menée sur la parcelle. Il existe certaines lignes directrices agrivoltaïques, qui définissent la hauteur, ainsi que les exigences relatives à la hauteur minimale des différents systèmes agrivoltaïques.

Quelques exemples de normes vis-à-vis de la hauteur des systèmes agrivoltaïques ci-dessous :

1. La norme allemande DIN-SPEC 91434,⁶⁸ qui définit les critères applicables aux installations agri-productives et leurs paramètres de hauteur.
2. Le document italien "Agri-PV Technical Guidelines", qui définit un critère minimum pour la hauteur de la structure agrivoltaïque.

L'installation de systèmes agrivoltaïques à une hauteur de structure appropriée est donc cruciale pour permettre l'activité agricole. Cependant, la hauteur du système peut également avoir un impact sur la production d'énergie, lorsque des panneaux photovoltaïques bifaciaux sont installés, ainsi que sur la faisabilité économique de tels projets. L'albédo⁶⁹ et le retour de la lumière vers la face arrière du panneau peuvent être affectés par le type de sol, la couverture et la hauteur du panneau.

Lors de la conception de centrales agrivoltaïques surélevées, le profil de dégagement doit être conforme à la législation en matière de santé et de sécurité au travail. Il est essentiel de veiller à ce que le système photovoltaïque ne mette pas en danger les travailleurs ou les machines.

Inclinaison du panneau

L'importance de l'inclinaison et de l'azimut⁷⁰ dans les installations agrivoltaïques est soulignée par un récent examen systématique de la recherche agrivoltaïque, qui a analysé 98 études agrivoltaïques. Les auteurs concluent :

"D'une part, l'orientation et la position de l'installation photovoltaïque influencent la production d'électricité ; d'autre part, elles influencent les taux de croissance des plantes en contrôlant la quantité d'irradiation disponible pour les cultures. Par conséquent, lors du réglage de l'inclinaison et de l'angle d'azimut des installations photovoltaïques agricoles, il convient de prendre soigneusement en compte l'irradiation disponible pour les cultures".⁷¹

⁶⁸ Source.

⁶⁹ La quantité de lumière frappant une surface qu'elle renvoie (source).

⁷⁰ Orientation est/sud (source).

⁷¹ Source.

L'inclinaison idéale du panneau dépend de l'activité agricole, de la taille du module, des conditions météorologiques typiques et des profils latéraux au vent du site du projet. Les systèmes dynamiques qui permettent de modifier l'inclinaison du panneau apporteront une flexibilité supplémentaire et des avantages tant pour les activités agricoles que pour la production d'électricité. Un récent projet de recherche en Allemagne a montré qu'avec l'utilisation de suiveurs à axe unique, les rendements électriques des systèmes agrivoltaïques ont augmenté de 22 % à 26 %.⁷²

En ce qui concerne l'activité agricole, il convient également d'accorder une attention particulière à la direction de croissance des cultures.

Les développeurs doivent assurer une protection suffisante des plantes contre les événements météorologiques et veiller à ce que les systèmes agrivoltaïques assurent une distribution homogène de l'eau précipitée vers les cultures situées sous les modules. À cet égard, l'eau de drainage des modules doit être gérée de manière appropriée.

Distance entre les rangs

La distance entre les rangs joue un rôle important dans l'ombrage et la transmission de la lumière dans les systèmes agrivoltaïques, ainsi que dans la production d'énergie et les opérations agricoles. En tant que telle, la distance entre les rangées doit être adaptée à l'activité agricole et doit être évaluée au cas par cas. Certaines lignes directrices techniques nationales prescrivent souvent un taux de couverture du sol autorisé, qui peut avoir une incidence sur la prise de décision concernant la distance entre les rangées. Dans tous les cas, les rangées doivent également offrir suffisamment d'espace pour que les travailleurs et les machines agricoles puissent effectuer leurs tâches en toute sécurité.

Pour les systèmes agrivoltaïques associés à des cultures sensibles à la lumière, l'alignement et l'espacement entre les rangées de modules doivent être conçus pour optimiser la disponibilité et l'homogénéité de la lumière, afin d'éviter d'affecter négativement la croissance des plantes.

Idéalement, la distance entre les rangées doit maximiser les synergies entre le système photovoltaïque et la culture, créées par l'ombrage et l'homogénéisation de la lumière.

L'eau

L'eau est essentielle pour pratiquement tout type d'activité agricole. Il est donc important que les installations photovoltaïques agricoles n'interfèrent pas avec les besoins en eau des exploitations. En règle générale, les développeurs de projets doivent veiller à ce que l'eau précipitée soit distribuée de manière homogène aux cultures agrivoltaïques. Cette

distribution peut se faire naturellement, auquel cas il convient d'évaluer les besoins en eau des cultures et les conditions climatiques typiques du site. Si les conditions climatiques locales ne répondent pas aux besoins en eau de la culture, un système d'irrigation doit être mis en place.

Les effets positifs des systèmes agrivoltaïques sur les cultures situées en dessous peuvent également avoir un impact sur la conception et l'installation d'un site agrivoltaïque. Des recherches récentes ont montré que l'agrivoltaïsme peut atténuer les effets de la sécheresse sur la production alimentaire à base de plantes, en particulier dans les régions où les sécheresses et les vagues de chaleur sont prononcées, comme en Europe.⁷³ Ainsi, lors de l'installation de systèmes agrivoltaïques sur des cultures tolérantes à l'ombre dans des régions chaudes et sèches, un taux de couverture du sol plus élevé peut être déployé.

Sol

L'évacuation de l'eau des modules peut entraîner la formation d'un bord d'égouttement et, par conséquent, la dispersion de l'eau du sol. Pour tous les systèmes photovoltaïques agricoles, il est possible d'utiliser des systèmes de collecte de l'eau de pluie adaptés aux cultures, des distributeurs d'eau de pluie ou des dispositifs similaires. Des mesures appropriées doivent être prises pour restaurer la structure originale du sol pendant la construction et/ou le démantèlement de l'installation. Les fondations du système agrivoltaïque doivent minimiser l'impact sur la qualité du sol. Lors de l'installation et du démantèlement des systèmes, il ne doit pas y avoir de conséquences négatives pour le sol en raison du compactage et des mouvements de terrain. À cet égard, il est recommandé de déployer le système lorsque le sol est sec, en utilisant des pneus et des machines spéciales et/ou des chenilles mobiles. Les systèmes agrivoltaïques associés à des cultures doivent être déployés en dehors de la saison de croissance.

Fondations et structures de montage

Les normes de construction locales doivent être respectées, notamment en ce qui concerne l'impact des conditions météorologiques difficiles. Afin de préserver les terres agricoles, les fondations du système agrivoltaïque doivent être conçues de manière à ce que le système soit entièrement démontable.

Il convient d'utiliser des méthodes de construction qui assurent des fondations sûres grâce à des fixations amovibles dans le sol ou dans un terrain meuble. À cet égard, il est recommandé d'utiliser une méthode de pieux et d'éviter, dans la mesure du possible, l'utilisation de béton ou de ciment. Certaines régions

⁷² [Source.](#)

⁷³ [Source.](#)

ou certains sols nécessitent l'utilisation de fondations solides et spécifiques. Les projets d'élevage doivent adapter les fondations du système en fonction des types d'animaux présents sur le site du projet. Par exemple, l'élevage de bovins nécessitera des fondations plus profondes que d'habitude.

Distribution de la lumière, modules photovoltaïques et type d'installation

Il existe plusieurs techniques permettant d'optimiser la croissance des cultures et le bien-être des animaux, tout en maximisant la production d'énergie dans les sites agrivoltaïques.

Techniques d'installation

Différents types de techniques d'installation sont utilisés, les plus courants (surélevés, verticaux et entre les rangs) sont décrits dans la figure 6 ci-dessous.

Le choix de la technique d'installation appropriée doit se faire en fonction du type d'exploitation agricole, de la situation géographique et des directives techniques (lorsqu'elles existent).

Technologie des modules PV

Différentes technologies de modules photovoltaïques peuvent être utilisées pour optimiser la transmission de la lumière dans les sites agrivoltaïques. Certaines technologies innovantes ont été utilisées pour la recherche sur l'agrivoltaïsme, comme les modules photovoltaïques à concentrateur (CPV), qui utilisent séparément les rayons solaires directs et les rayons solaires diffus pour une utilisation efficace du terrain. Le rayonnement direct est utilisé pour la production d'électricité, tandis que le rayonnement diffus est utilisé pour la photosynthèse des cultures. Cette technologie n'est pas encore produite en masse, ce qui explique que les coûts soient encore élevés. Les types de modules photovoltaïques les plus couramment utilisés dans l'agrivoltaïsme sont les panneaux semi-transparents et les panneaux bifaciaux.

Modules semi transparents

En adaptant la transparence des modules, les systèmes agrivoltaïques peuvent être adaptés pour optimiser la croissance des cultures. Bien que les panneaux plus transparents aient un rendement

FIGURE 7 DIFFÉRENTS TYPES D'INSTALLATIONS AGRIVOLTAÏQUES

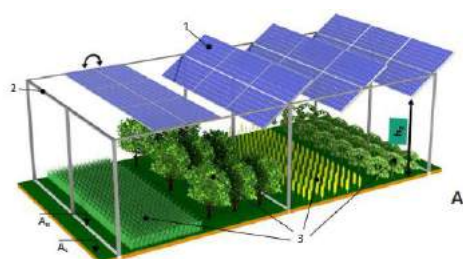


ILLUSTRATION D'UNE INSTALLATION DE CATÉGORIE I.

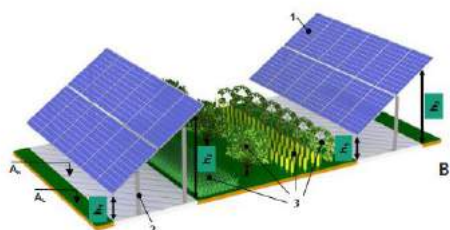


ILLUSTRATION D'UNE INSTALLATION DE CATÉGORIE II, VARIANTE 1.

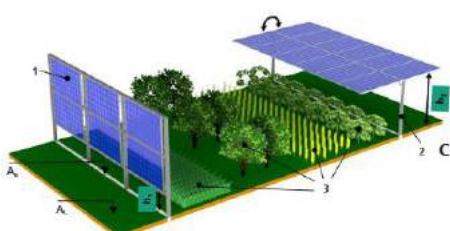


ILLUSTRATION D'UNE INSTALLATION DE CATÉGORIE II, VARIANTES 1 ET 2.

Légende

- A1 Zones agricoles cultivables
- A2 Zones agricoles non cultivables
- h1 Hauteur libre inférieure à 2,1 m
- h2 Hauteur libre supérieure à 2,1 m
- 1 Exemples de modules PV
- 2 Structure de montage
- 3 Exemples de cultures

SOURCE : Fraunhofer ISE.

énergétique plus faible, ils garantissent un ombrage idéal et offrent une protection maximale aux cultures. En outre, le rendement énergétique inférieur peut être partiellement compensé par l'effet de refroidissement de la croissance des plantes, qui peut avoir un impact sur l'efficacité énergétique des panneaux.

La transparence des panneaux doit être adaptée à chaque culture et créer les meilleures conditions possibles de croissance. Cela peut être particulièrement utile pour les cultures qui ne tolèrent pas la lumière directe du soleil. La principale limite de cette technologie est qu'elle est encore prématurée pour les installations à grande échelle en raison de son faible rendement.⁷⁴

Modules bifaciaux

L'application de la technologie double-face dans les installations agrivoltaïques offre des avantages à différents égards, car elle permet de produire de l'électricité en recevant simultanément la lumière directe du soleil et la lumière réfléchiée par le sol ou les plantes. L'efficacité des modules agrivoltaïques bifaciaux peut atteindre jusqu'à 24 %. Les panneaux bifaciaux permettent donc de relever le défi du LCOE de l'agrivoltaïsme, tout en produisant plus d'énergie dans les installations agrivoltaïques.⁷⁵

Exploitation et maintenance (O&M) des systèmes agrivoltaïques

D'une manière générale, les réglementations électrotechniques et statiques existantes, ainsi que les exigences d'essai correspondantes dans le domaine des systèmes photovoltaïques, doivent être respectées dans tous les projets agrivoltaïques.

L'exploitation et la maintenance des sites agrivoltaïques impliquent des défis supplémentaires, résultant de l'élévation des panneaux photovoltaïques, de l'accès limité des travailleurs de l'exploitation et de la maintenance à la ferme, et de la nécessité de prendre en compte l'impact que toute activité liée à l'exploitation et à la maintenance peut avoir sur la production de denrées alimentaires.

Entretien général des sites agrivoltaïques

Dans l'ensemble, les travaux d'entretien nécessaires doivent être consignés par l'installateur dans le manuel d'utilisation et observés par l'opérateur. Les paramètres vérifiés des données enregistrées doivent être conservés dans un protocole d'exploitation spécifique à l'installation.

En ce qui concerne l'aspect agricole, les cultures et les pâturages doivent être soigneusement entretenus pour éviter les risques d'incendie. Lors de phénomènes météorologiques extrêmes, comme la formation de glace et de glaçons, ainsi que de vents

et de charges de neige extrêmes, il convient, pour des raisons de sécurité, de ne pas effectuer de travaux sous l'installation. Une préparation judicieuse, comme des systèmes de distribution d'eau de pluie, peut empêcher la formation de glaçons.

Détection des pannes et résolution des problèmes

En cas de réduction de la production d'énergie ou de problèmes dans les systèmes photovoltaïques, les agents d'exploitation et de maintenance peuvent être amenés à se rendre sur le site agrivoltaïque, donc à pénétrer dans l'exploitation et à interagir potentiellement avec les opérations agricoles. Il convient donc de faciliter une coordination claire entre les agriculteurs et les agents d'exploitation et de maintenance. La détection et la réparation des pannes sur les sites agrivoltaïques (surélevés ou entre les rangées de cultures) peuvent nécessiter des mesures supplémentaires telles que l'escalade pour atteindre les panneaux ou le travail à proximité des cultures de valeur. Un système de surveillance photovoltaïque peut être utilisé pour détecter les défauts ou les inadéquations des modules dans le système photovoltaïque, réduisant ainsi les interférences avec les activités agricoles et évitant aux agents d'exploitation et de maintenance d'entrer inutilement dans l'exploitation.

Santé et sécurité des sites agrivoltaïques

Une attention particulière est requise lors de l'entretien des systèmes agrivoltaïques, étant donné que des personnes travaillent sur le site et qu'une utilisation agricole intensive peut avoir lieu, ce qui augmente le risque de dommages et de contamination. Les agriculteurs et les travailleurs doivent être bien informés et, si possible, correctement formés sur les besoins spécifiques de maintenance ou les risques associés aux systèmes photovoltaïques.

Nettoyage des modules

L'encrassement et la poussière à la surface des modules photovoltaïques peuvent entraîner une baisse significative du rendement photovoltaïque. Sur les sites agrivoltaïques, où les panneaux photovoltaïques sont situés au-dessus ou à côté de terres agricoles, l'activité agricole, comme l'utilisation de machines, peut générer de grandes quantités de poussière, entraînant des pertes de rendement énergétique.⁷⁶ La première étude analysant l'impact de la poussière et de l'encrassement dans les installations agrivoltaïques a révélé une perte moyenne d'encrassement de 0,35 % par jour et une

⁷⁴ Source.

⁷⁵ Source.

⁷⁶ Source.

diminution du taux de rendement à des valeurs allant jusqu'à 40 % au cours des mois d'été sans précipitation ni nettoyage.⁷⁷

Les systèmes agrivoltaïques doivent donc être nettoyés périodiquement. La culture des sols agricoles et l'application de produits phytosanitaires peuvent entraîner une contamination. Il est donc recommandé de procéder à un contrôle régulier de la propreté, spécifique à la culture concernée par l'installation agrivoltaïque.

En outre, pour minimiser les pertes de rendement, le système agrivoltaïque et les modules doivent être nettoyés en cas de forte contamination. Si un détergent est utilisé, la législation relative aux denrées alimentaires, aux aliments pour animaux et aux produits pharmaceutiques doit être respectée. En général, les procédures de nettoyage ne doivent être lancées qu'en cas de nécessité absolue, afin d'éviter les charges inutiles ou les dommages accidentels au système photovoltaïque.

Le nettoyage peut s'avérer plus difficile sur les sites agrivoltaïques, en raison de la hauteur des panneaux. Les suiveurs qui permettent d'augmenter l'angle d'inclinaison et de retourner les panneaux peut réduire ce problème et faciliter le nettoyage des panneaux. L'utilisation d'un revêtement hydrophile sur la surface des panneaux photovoltaïques permet un rendement électrique optimal.

De même, certaines activités et certains traitements agricoles peuvent entraîner une altération chimique des matériaux. D'un point de vue chimique, le détergent le plus efficace dépendra du type de sol, et donc des cultures et des produits qui y sont appliqués.

Les pratiques agricoles peuvent générer des salissures ponctuelles, nécessitant un nettoyage rapide. Il arrive aussi que le nettoyage soit impossible sans nuire à l'activité agricole. L'activité agricole étant fortement dépendante des conditions météorologiques, la synchronisation avec les programmes classiques d'entretien préventif et de nettoyage est peu probable. Ces opérations doivent être réalisées en mode "pompier", comme la maintenance curative, et sont donc moins économiques. Ou bien l'agriculteur devra participer à la maintenance : par exemple, en rinçant les panneaux après certaines opérations.

Gestion des pâturages

Pour les projets pertinents, il convient de suivre une stratégie efficace de gestion des pâturages qui garantisse que les prairies disposent d'un temps suffisant pour se régénérer. Il est conseillé de diviser le site du projet en plusieurs sections et de mettre en place un cycle de rotation des pâturages.

Sécurité électrique

La sécurité doit être prise en compte très attentivement lors de la planification et de la conception de toute installation photovoltaïque, et en particulier dans le cas d'installations agrivoltaïques. Les installations photovoltaïques, comme toute installation électrique, présentent un certain potentiel de risque, tel que la survenue d'un incendie et un danger personnel dû à un choc électrique. La sécurité des installations photovoltaïques agricoles est dans l'intérêt de l'agriculteur, du développeur, de l'installateur et des équipes de maintenance, ainsi que des compagnies d'assurance, des décideurs politiques et des organismes de réglementation. En outre, les incendies et les chocs électriques pourraient nuire à la croissance et à l'acceptation par le public de l'agrivoltaïsme, en particulier dans les premières phases du marché, lorsque des normes et des réglementations contraignantes n'ont pas encore été publiées ou mises en œuvre. C'est pourquoi il convient d'étudier en détail la sécurité des centrales agrivoltaïques.

Les recherches existantes montrent que la sécurité des installations agrivoltaïques est très importante pour les décideurs politiques, les agriculteurs et les professionnels de l'industrie solaire. Par exemple, dans une étude de recherche, le risque, la sécurité et la responsabilité ont été mentionnés comme les principaux obstacles au développement de l'agrivoltaïque aux États-Unis.⁷⁸ Dans la norme allemande DIN- SPEC 91434, il est mentionné qu'"une attention particulière doit être portée à l'entretien des systèmes agrivoltaïques, car des personnes travaillent sur la zone et une utilisation agricole (intensive) peut avoir lieu, ce qui augmente le risque de dommages et de salissures".⁷⁹ Les considérations de sécurité doivent être prises en compte lors de la conception, de la construction et de l'exploitation des sites agrivoltaïques. Les deux principales considérations de sécurité dans les sites solaires sont les chocs électriques et les arcs électriques. Les sites agrivoltaïques présentent plusieurs caractéristiques uniques qui augmentent les risques de chocs électriques et d'arcs électriques.

Principales considérations de sécurité dans les systèmes solaires

a. Choc électrique

Les panneaux solaires produisent une tension électrique dès qu'ils sont exposés à la lumière du soleil. Chaque panneau produisant environ 40 volts (en moyenne), une chaîne de panneaux connectés produit une tension d'environ 400 à

⁷⁷ Source.

⁷⁸ "Intégrer l'énergie solaire dans l'agriculture : Industry perspectives on the market, community, and socio-political dimensions of Agrivoltaics", Energy Research & Social Science Magazine - Vol 75, May 2021

⁷⁹ Source.



© KU Leuven.

1500 volts (selon le type d'onduleur solaire et la longueur des chaînes). Cette tension est créée par la simple exposition des panneaux solaires au rayonnement solaire. Le fait d'éteindre l'onduleur solaire ou de déconnecter le dispositif du réseau coupe le courant qui passe par le circuit du système. Cependant, cela ne diminue pas la tension produite par l'exposition des panneaux au soleil (appelée tension continue). Une tension élevée peut constituer un risque pour la sécurité de l'installateur du système et des personnes travaillant dans les zones adjacentes. Pour abaisser la tension continue, l'ajout d'une fonction qui réduise la tension au niveau du panneau est nécessaire.

b. Arcs électriques (incendies)

Un arc électrique est créé par l'interruption d'un conducteur ou d'un connecteur. Dans un système solaire composé de nombreux points de connexion et de câbles, un arc électrique peut être créé si le câble n'est pas connecté comme il se doit ou s'il est endommagé. Les arcs électriques présentent plusieurs caractéristiques majeures : une forte lumière et une très forte chaleur. En tant que tels, les arcs électriques sont une cause fréquente d'inflammation et d'incendie dans toute installation électrique, en particulier dans une installation solaire. Les arcs électriques peuvent également "électriser" le système, y compris la construction, et mettre en danger toute personne qui le rencontre. Plus le système est ancien, plus le risque d'arc électrique est élevé en raison du vieillissement du câblage et du desserrage des connexions.

Caractéristiques uniques des sites agrivoltaïques susceptibles d'augmenter le risque d'arcs et de chocs électriques

- Sites agrivoltaïques sans clôture : Alors que les sites solaires sont généralement clôturés pour empêcher toute entrée non autorisée et garantir que seuls des professionnels de l'énergie solaire qualifiés y pénètrent, ce n'est pas toujours le cas sur les sites agrivoltaïques ; les clôtures peuvent interférer avec les activités agricoles. Dans les quelques pays où il existe une obligation générale de clôturer les sites solaires, tels qu'en Israël et au Japon, cette obligation est spécifiquement supprimée pour les installations agrivoltaïques.
- Les travailleurs agricoles, les machines agricoles et le bétail à proximité physique du système solaire : Par définition, la double utilisation des terres pour l'énergie solaire et la production alimentaire implique que les terres seront utilisées à la fois par les professionnels de l'énergie solaire et par les agriculteurs. Les agriculteurs et les travailleurs agricoles peuvent être moins conscients des risques liés aux systèmes solaires. En outre, le risque d'endommagement du câblage et de l'équipement est plus élevé que dans les systèmes photovoltaïques normaux. La présence de bétail augmente également le risque d'endommager le système photovoltaïque, qui devient alors un risque pour les opérations agricoles, les machines et les travailleurs.

Bonnes pratiques et solutions pour relever les défis en matière de sécurité dans le secteur de l'agrivoltaïsme

Les lignes directrices et les documents de bonnes pratiques existants sur les différents marchés de l'agrivoltaïque se concentrent principalement sur la sensibilisation, la sécurité électrique et le câblage, et ce afin de relever les défis en matière de sécurité dans l'agrivoltaïque :

a. Sensibilisation

Dans un premier temps, toutes les parties prenantes impliquées dans l'installation et l'exploitation des centrales agrivoltaïques doivent être conscientes des risques et des considérations relatives à la sécurité qui s'y rapportent. Cette prise de conscience est visible au sein de plusieurs bonnes pratiques et documents de lignes directrices techniques. Les bonnes pratiques clés sont les suivantes :

1. Veiller à ce que l'ensemble du personnel soit formé et instruit, et sache comment travailler et opérer au sein d'une installation électrique. Cela permettra d'éliminer les risques d'accident du travail, y compris pour les agriculteurs.
2. Mettre en place une signalétique qui indique et avertisse de la présence d'une installation de production d'électricité, et qui empêche tout accident causé par un tiers :

4 Meilleures pratiques : EPC et O&M / suite

- Ajouter des panneaux de sécurité tels que des avertissements de chocs électriques aux équipements électriques tels que les conditionneurs d'énergie et les boîtes de connexion ;
 - Ajouter un panneau de sécurité indiquant les câbles enterrés.
3. Sensibiliser les agriculteurs aux risques potentiels.
 4. Veiller à ce que les responsables de la construction (EPC) soient responsables de la communication des risques avec les agriculteurs.
- a. Électronique de puissance au niveau du module (MLPE) – Réduction de la tension continue du système et atténuation des risques liés à l'arc électrique

Comme indiqué précédemment, pour pouvoir réduire la tension du système photovoltaïque générée par l'exposition des panneaux à la lumière du soleil, il est nécessaire de réduire la tension générée au niveau des panneaux (tension continue). Cela peut être réalisé grâce à une technologie d'électronique de puissance au niveau du module (Module Level Power Electronics - MLPE). Les dispositifs MLPE sont fixés à un ou plusieurs modules photovoltaïques de la chaîne, et peuvent inclure des fonctionnalités telles que la détection des défauts de connecteur et la capacité d'abaisser la tension de sortie à un niveau de tension très bas (et sûr).

Étant donné qu'une tension continue est générée chaque fois que le panneau ou le réseau de panneaux est exposé au soleil, la solution MLPE s'attaque aux risques d'arcs électriques et de chocs électriques en réduisant activement la tension générée par les panneaux et en réduisant collectivement la tension sur le réseau à un niveau sûr lorsque cela est nécessaire ou déclenché. En outre, certaines solutions MLPE avancées sont capables de détecter à l'avance le risque d'arc électrique et de l'atténuer par une action préventive. Compte tenu de ce qui précède, il est recommandé d'appliquer l'électronique de puissance au niveau du module dans les systèmes agrivoltaïques afin de réduire les risques de chocs électriques et d'incendies. Pour des lignes directrices plus détaillées, veuillez consulter Lignes directrices japonaises pour la construction et l'installation de systèmes photovoltaïques agricoles (lien).

- b. Protection des câbles contre les dommages et l'exposition

Les câbles doivent être protégés et ne pas être exposés aux dommages causés par le bétail, les travailleurs agricoles ou les machines agricoles. Pour ce faire, il convient d'enterrer les câbles ou de les installer à une hauteur appropriée. Vous trouverez

ci-dessous quelques exemples d'exigences relatives au câblage et de lignes directrices figurant dans les documents d'orientation agrivoltaïques :

- Les câbles et les tranchées de câbles doivent être installés à une profondeur sûre, afin d'éviter tout dommage causé par les charrues et autres machines agricoles.
- Minimiser le nombre de câbles dans le sol en les dirigeant sous les toits des modules, le long de la structure de montage. Cette approche permet également de protéger le câblage de l'exposition directe à la pluie ou au soleil et d'augmenter la durée de vie du système.
- D'autres éléments comprennent l'installation de protections de béliers pour couvrir les tranchées de câbles autour des poteaux de la structure du système.
- Si l'élevage d'animaux est envisagé, la hauteur des câbles et des connecteurs doit être correctement définie pour éviter que les animaux n'endommagent les systèmes et ne se blessent en les touchant ou en les mordant. Pour la même raison, il est conseillé aux refuges d'utiliser des composants électriques tels que des onduleurs de branche ou des boîtes de jonction. (SPE Agrivoltaïque Guidelines Version 1.0).
- De nombreux sites enterrent le câblage, mais sur les sites où le câblage est en surface, des mesures de marquage et de sécurité suffisantes doivent être mises en œuvre pour garantir la sécurité des animaux et des personnes. La profondeur du câblage enterré doit être suffisante pour ne pas perturber les activités agricoles, telles que le labourage. Les câbles doivent être enterrés à une profondeur minimale conformément à la norme DIN VDE 0100-520 (VDE 0100-520), de sorte qu'ils soient à l'abri de la charrue et des autres machines agricoles (DIN-SPEC).
- La hauteur de câblage doit être de 2 mètres ou plus, afin d'éviter tout contact avec l'homme. Il est souhaitable de prendre les mêmes mesures lors de l'installation d'un système de production d'électricité dans un endroit exposé. Les câbles enterrés, tels que les câbles et les fils de terre, peuvent être accidentellement coupés par les agriculteurs lorsqu'ils creusent le sol. Il est donc nécessaire de choisir un lieu d'enfouissement qui n'interfère pas avec les travaux agricoles (DIN-SPEC).

- c. Détecteurs de défauts d'arc

Les détecteurs d'arcs électriques réduisent les risques d'arcs électriques et les risques d'incendie qui en découlent. Il est recommandé d'utiliser ces technologies dans les installations agrivoltaïques.



Tendances et innovation

L'agrivoltaïsme étant à la croisée des chemins entre le solaire photovoltaïque et l'agriculture, il doit relever de nombreux défis pour garantir et accélérer son adoption et son développement. Pour relever ces défis, la science, la recherche et l'innovation sont, et resteront, de puissants contributeurs au secteur de l'agrivoltaïsme pour les années à venir. Les chercheurs et les innovateurs sont essentiels pour améliorer la compréhension des interactions entre les systèmes énergétiques et agricoles, documenter et quantifier les impacts et les avantages afin d'élaborer des modèles commerciaux plus précis, améliorer et mettre à l'échelle la technologie (matériel ou logiciel) et développer des sites d'essai pour montrer les réalités de l'agrivoltaïsme et réduire les risques liés à son adoption.

Ce chapitre étudie les tendances actuelles en matière de recherche et d'innovation qui favorisent l'agri-production. Il mettra également en lumière des études de cas qui comportent divers aspects innovants tels que les installations technologiques, les nouvelles applications agricoles et d'autres éléments. Il sera divisé en sous-chapitres et comprendra les éléments suivants :

- Fournir une vue d'ensemble du soutien public accordé par les institutions de l'UE dans ce domaine ;
- Donner un aperçu, à l'aide d'exemples, des dernières tendances en matière de développement des options technologiques et des cas d'utilisation dans l'agriculture ;
- Présenter, à l'aide d'exemples, le dynamisme de l'écosystème des start-ups actives dans le secteur agrisolaire et les liens avec le secteur agritechnologique.

En Europe, il existe divers financements publics et privés visant à soutenir la recherche et l'innovation dans tous les secteurs. Il s'agit notamment de fonds publics tels que Horizon Europe,⁸⁰ Recovery and Resilience Facility,⁸¹ etc. La recherche et l'innovation financées par des fonds publics sont essentielles et doivent être mises en avant pour garantir des avancées dans le domaine de l'agri-production. Dans le cadre d'Horizon Europe (HE), plusieurs projets de recherche liés à l'agrivoltaïsme ont été financés. L'objectif de ces financements publics de la recherche est de promouvoir l'excellence scientifique et de faciliter le partage des connaissances et les développements technologiques.

Projets financés par l'UE pour l'agrivoltaïsme

Actuellement, trois projets financés par l'enseignement supérieur se concentrent sur la recherche dans le domaine d'agrivoltaïque :

- Symbiosyst
- REGACE
- PV4plants

Cette section fournit une brève description de ces trois projets d'enseignement supérieur, y compris le contexte et les objectifs du projet, les résultats et les enseignements tirés à ce jour.

⁸⁰ "Un programme de financement essentiel pour la recherche et l'innovation, la lutte contre le changement climatique, la réalisation des objectifs de développement durable des Nations unies et le renforcement de la compétitivité et de la croissance de l'UE" (source).

⁸¹ "La facilité est un instrument de relance temporaire. Il permet à la Commission de lever des fonds pour aider les États membres à mettre en œuvre des réformes et des investissements qui sont conformes aux priorités de l'UE et qui répondent aux défis identifiés dans les recommandations spécifiques à chaque pays dans le cadre du Semestre européen de coordination des politiques économiques et sociales" (source).

5 Tendances et innovations / suite

SYMBIOSYST

Le projet SYMBIOSYST, lancé début 2023, introduira l'innovation en adaptant des solutions standardisées et rentables en termes de modules photovoltaïques, de structures de montage et de pratiques d'exploitation et de maintenance aux besoins spécifiques de diverses cultures dans différents climats et paysages. Le projet vise ainsi à trouver des solutions rentables, tout en proposant des solutions esthétiques pouvant être fabriquées en masse et intégrées dans le paysage, tout en conservant l'objectif premier de l'agriculture. Le projet SYMBIOSYST exploitera pleinement la synergie entre la terre et la culture, ainsi que les systèmes agrivoltaïques ouverts ou fermés. Dans cette optique, le projet utilisera l'agrivoltaïsme pour développer :

- (i) le verger du futur
- (ii) Une intégration symbiotique du photovoltaïque solaire dans l'horticulture en plein champ
- (ii) Des serres à consommation d'énergie quasi nulle.

L'ambition du projet est de créer une solution entièrement intégrée, de la conception à la phase de mise en œuvre, une symbiose où le photovoltaïque et l'agriculture peuvent avoir une relation mutuellement bénéfique, avec des impacts écologiques positifs sur le paysage.



REGACE

Le projet REGACE, financé par l'Union européenne, développe et valide une technologie innovante qui fera de l'Agri-PV un contributeur majeur au portefeuille d'énergie propre de l'UE.

La solution REGACE sera compétitive par rapport à d'autres solutions, car elle répond aux objectifs de production d'énergie propre et abordable. Le système démontré dans ce projet sera également rentable dans les zones moins ensoleillées.

La technologie de base est un système de suivi réactif monté dans la serre et piloté par un contrôleur PLC qui modifie l'angle du système de suivi en fonction des besoins de la plante.

Outre l'impact économique, cela aura également un effet positif significatif sur la durabilité écologique et environnementale, et réduira l'empreinte écologique grâce à l'entretien et à l'exploitation pendant toute la durée de vie de l'installation.



PV4PLANTS

PV4Plants stimule la synergie énergie-agriculture des technologies agrivoltaïques afin d'améliorer les conditions de croissance et d'accroître l'efficacité de l'utilisation des terres, le rendement des cultures et la production d'énergie renouvelable. Ce résultat est obtenu en optimisant la transmission de la lumière des panneaux photovoltaïques grâce à la pulvérisation de nanoparticules de pointe sur la surface du verre photovoltaïque. Le système PV4Plants est spécialement conçu pour répondre aux besoins d'une récolte saine et pour s'adapter à différentes conditions climatiques et variétés de cultures. La démonstration sera faite sur trois sites de démonstration hautement reproductibles en Turquie, en Espagne et au Danemark.

La recyclabilité et la réutilisation des composants et des matériaux, tant pour la fabrication que pour la fin de vie du système PV4Plants, constituent un aspect central du projet. Le système PV4Plants sera certifié par le biais de la déclaration environnementale de produit (EPD), de la conformité à la norme ISO 14021 et du label d'excellence en matière de durabilité décerné par l'UNEF.

PV4Plants renforcera sa pénétration du marché et son adoption par le biais des éléments suivants :

- Des stratégies innovantes d'engagement des agriculteurs pour améliorer leur acceptation et leur confiance dans les systèmes agrivoltaïques innovants ;
- De nouveaux schémas de financement et modèles d'entreprises pour améliorer la performance des investissements ;
- La création d'un nouveau mécanisme destiné à accélérer l'adoption des systèmes agrivoltaïques en Europe, grâce à un ensemble de recommandations politiques qui seront élaborées en collaboration avec les autorités publiques.



5 Tendances et innovations / suite

Examen de nouveaux projets pilotes et démonstrateurs

Le système agrivoltaïque connaît une croissance exponentielle et arrive à maturité à l'échelle mondiale. Il s'agit d'une solution innovante à la fois pour les pratiques agricoles et pour le développement de l'énergie solaire photovoltaïque. Ce chapitre passe en revue les dernières tendances (voir tableau 4) et donne un aperçu des différents cas d'utilisation testés, reproduits et mis à l'échelle à ce jour.

Les activités de pâturage sont celles qui ont le plus adopté l'agrivoltaïsme, les cultures et autres formes d'agriculture végétale ayant été testées et reproduites en conséquence. Toutefois, leur adoption et leur développement à grande échelle sont encore en cours. La faisabilité technique est généralement démontrée et validée, et le passage à grande échelle dépend maintenant des besoins d'innovation liés à l'adoption du marché, tels que la compétitivité des coûts, une réglementation adaptée ou l'adhésion des clients.

Voir l'aperçu des projets pilotes et des démonstrateurs innovants dans les études de cas suivantes.

TABLE 4 UN APERÇU DES DIFFÉRENTS CAS D'UTILISATION TESTÉS, REPRODUITS ET MIS À L'ÉCHELLE

Maturité	Sylviculture et agroforesterie		Pastorales		Cultures				Aquaculture
	Foresterie	Agroforesterie	Intensification des pâturages	Pâturage tournant	Cultures annuelles		Cultures pérennes		Étang ouvert
					Céréales/ grains	Maraîchage frais	Vergers	Vignobles	
Cas uniques	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Cas reproduits			X	X	X	X	X	X	
A l'échelle			X	X					

ÉTUDE DE CAS 8 SOLUTION AGRIVOLTAÏQUE DYNAMIQUE INSOLAGRIN À CONTHEY, SUISSE (INSOLIGHT) CULTURE : FRAISES ET FRAMBOISES

La société suisse Insolight a développé la solution dynamique agrivoltaïque Insolagrín : une transmission réglable de la lumière du soleil et une protection statique des cultures. Au cours des deux dernières années, Insolight s'est associée à Agroscope, Romande Energie et CSEM pour développer un site pilote à Conthey (Suisse).

Le démonstrateur de la solution industrielle et commerciale Insolagrín a été installé en 2022, en utilisant des composants qualifiés. La solution dynamique Agrivoltaïque d'Insolight est basée sur trois éléments principaux :

1. Des panneaux semi-transparents statiques assurent la protection physique des cultures tout en laissant passer la lumière.
2. Une couche optique pilotable, composée d'un écran agricole réfléchissant qui peut être déployé pour protéger les cultures contre les vagues de chaleur, les coups de soleil et le gel nocturne.
3. Un logiciel de gestion de la lumière qui contrôle le déploiement de l'écran en fonction de paramètres spécifiques aux cultures et de la censure microclimatique.

Insolagrín est conçu pour fournir la bonne quantité de lumière solaire aux cultures, pour convertir l'excès de lumière en électricité et pour améliorer la résistance au réchauffement climatique et aux événements climatiques extrêmes. Lorsque l'écran est déployé, il réfléchit la lumière vers les cellules bifaciales pour augmenter la production d'énergie jusqu'à 30 % : une augmentation du rendement spécifique par rapport à un système statique de même transparence.

Des essais agronomiques sont en cours à Conthey sur des cultures de framboises et de fraises pour valider la solution, notamment le pilotage de l'algorithme et des paramètres. Les premiers résultats recueillis au cours des années 2021 et 2022 indiquent :

1. Les framboises cultivées avec Insolagrín ont eu le même rendement et la même qualité de fruits que celles cultivées à l'intérieur d'une serre plastique à travées multiples.
2. L'Insolagrín permet une réduction de la température des feuilles jusqu'à 8°C pendant les journées chaudes et une augmentation de la température du sol jusqu'à 7°C pendant les nuits froides.



© Insolight.

ÉTUDE DE CAS 9 PROJETS PILOTES AGRIVOLTAÏQUES « OVERHEAD » AUX PAYS-BAS, EN ALLEMAGNE ET EN AUTRICHE (BAYWA R.E.) CULTURE : FRUITS À NOYAU ET À POMME

En 2022, BayWa r.e. a lancé quatre projets pilotes agrivoltaïques dans toute l'Europe, dont un dans le Bade-Wurtemberg au sud-ouest de l'Allemagne, un dans l'État de Styrie en Autriche et deux dans le centre des Pays-Bas. D'ici fin 2022, cela porte à 15 le nombre total de projets agrivoltaïques de BayWa r.e. dans l'Union Européenne.

En Allemagne, dans la ville d'Oedheim, un modèle aérien "en damier" de 115 kWc a été appliqué sur un pilote d'essai de framboises. Grâce à l'intercalation de panneaux transparents et de panneaux photovoltaïques qui, combinés, permettent une transmission de la lumière de 70 %, la conception du système devient étanche à la pluie. En collaboration avec l'Institut national d'enseignement de la viticulture et de la pomologie de Weinsberg (LVWO), les effets de ce système sur l'agriculture seront surveillés.

En Autriche, près de la ville de Graz, en coopération avec sa filiale ECOWind et le centre de recherche Haidegg, BayWa r.e. a achevé un essai pilote de 340 kWp pour les fruits à noyaux et à pépins.

Aux Pays-Bas, en coopération avec sa filiale GroenLeven et avec l'aide financière du gouvernement néerlandais, BayWa r.e. a construit deux projets pilotes agrivoltaïques dans les communautés d'Enspijk et de Randwijk. Le projet d'Enspijk, un pilote de 105 kWp pour les cerises, a été développé en tandem avec Fruit Tech Campus, une organisation locale réunissant des entreprises, des établissements d'enseignement et le gouvernement pour innover dans le domaine de l'agrotechnologie. Randwijk, un projet pilote de 125 kWp pour les poires, a été construit dans le cadre d'une collaboration similaire avec l'université et la recherche de Wageningen.

En 2023, de nouveaux projets pilotes sont prévus pour tester les effets des systèmes agrivoltaïques "Rangevoltaic", où les moutons et les vaches peuvent paître sous les systèmes agrivoltaïques. Les premiers résultats montrent que la capacité à réduire le stress thermique est prometteuse et que l'introduction du bétail présente des avantages écologiques directs.



© ECOWind/David Griessler/Haidegg 1.

ÉTUDE DE CAS 10 PROJET PILOTE D'AGROFORESTERIE EXPÉRIMENTALE ET D'AGRIVOLTAÏSME EN RÉPUBLIQUE TCHÈQUE CULTURE : ARBRES À CROISSANCE RAPIDE, AUTRES CULTURES

Le système expérimental agroforestier et agrivoltaïque est situé sur le terrain de VÚKOZ (Institut de recherche Silva Tarouca pour l'horticulture paysagère et ornementale) à Průhonice, près de Prague, en République tchèque. Il s'agit d'un lieu de travail expérimental où l'on étudie l'efficacité de l'utilisation des systèmes photovoltaïques dans l'agroforesterie et l'interaction mutuelle entre la technologie photovoltaïque et la culture des plantes et des arbres.

Le système se compose d'un total de 24 modules répartis en trois chaînes de 8 modules chacune. La puissance totale installée du système est de 6,72 kWp. Les modules sont installés sur des structures rotatives (moitié verticale, moitié inclinée) dans des rangées d'arbres. Les systèmes photovoltaïques verticaux et inclinés se composent de trois technologies différentes : PERC, PERC bifacial et CIGS, toutes installées par SolarEdge Technology.

La recherche se concentrera sur l'évaluation de l'humidité et de la température du sol autour du système PV, en comparaison avec le site sans modules PV.



© VÚKOZ..

ÉTUDE DE CAS 11 SERRE ARBORICOLE DE 100 KWP - REPRODUCTION D'UNE CANOPÉE AVEC DES MODULES SEMI-TRANSPARENTS ET UN OMBRAGE PROGRESSIF, À AILLAS, GIRONDE, SUD-OUEST DE LA FRANCE (AMARENCO)

CULTURE : ARBRES TROPICAUX

Amarenco conçoit, sur une surface de 1000m², une serre arboricole agrivoltaïque de 100 kWc en Aquitaine, prévue pour être opérationnelle en 2024.

Ce projet agrivoltaïque a été initié par l'exploitant du site en fonction de son propre projet agricole et de ses plans, qui comprenaient une serre non chauffée couverte de modules photovoltaïques opaques et semi-transparents.

Dans ce projet innovant, la couverture photovoltaïque permet :

1. Un concept bioclimatique avec du soleil et de l'ombre tout au long de l'année, et permettant un concept agroforestier avec une stratification des cultures, en fonction de leurs besoins en lumière ou en ombre.
2. Une structure de type "canopée" fournissant de l'ombre et reproduisant les conditions d'une clairière. La serre a été dimensionnée - 5 mètres de haut - avec une vision à long terme pour pouvoir accueillir des arbres plus grands tels que des

avocats et des papayers. Elle est également conçue pour assurer et maintenir des conditions climatiques et pédoclimatiques optimales, qui sont cruciales pour le succès de ces cultures. Plusieurs facteurs ont été pris en compte tels que les façades en polycarbonate, la densité et la stratification de la végétation, la gestion de l'hygrométrie et le stockage de l'eau.

La serre sera gérée en partenariat avec des organismes de recherche et équipée d'outils de mesure. Les bénéfices attendus en termes de microclimat sont une augmentation de la température de 5,5°C par rapport aux sites de contrôle.

En travaillant avec la couverture des arbres, ce projet agrivoltaïque innovant devrait contribuer à la santé et à la structuration du sol grâce à leurs racines fines qui augmentent l'activité biologique du sol, la qualité de la faune du sol et le stockage de l'eau.



© Amarenco.

ÉTUDE DE CAS 12 SITE AGRIVOLTAÏQUE EXPÉRIMENTAL LOVENJOEL / TRANSFARM (KU LEUVEN)
CULTURE : BLÉ ET AUTRES LÉGUMES DE PLEIN CHAMP

Le site pilote Lovenjoel de la KU Leuven est situé dans les locaux de TRANSfarm. TRANSfarm est un centre de recherche de l'Université de Louvain qui vise à faciliter la recherche scientifique à l'échelle pilote dans le vaste domaine de la bioéconomie circulaire durable et de la recherche biomédicale translationnelle. Cette recherche est soutenue par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne, HyPERFarm.

La structure est constituée d'une conception surélevée simple, atteignant une hauteur de 5 m et s'étendant sur 13 m par section. Pour limiter la taille de la structure en acier, les panneaux sont placés sur un toit incliné à 12°. Dans cette configuration, le taux de couverture du sol peut être ajusté annuellement ou saisonnièrement pour affiner l'ombrage des cultures concernées à ce moment-là (450-1500 kWp/ha), indépendamment des machines. Un ajustement annuel du taux de couverture du sol est souhaitable, en particulier dans le cas d'une rotation des cultures où des cultures différentes sont cultivées chaque année.

Dans ce champ expérimental, nous comparons différentes cultures avec les conditions de culture habituelles dans l'agriculture conventionnelle afin

de déterminer les synergies obtenues. Au centre, une rotation avec du blé est combinée avec d'autres légumes de plein champ. Le projet se concentre sur la facilité de gestion des cultures et leurs avantages pour les performances photovoltaïques. Pour ce faire, un contrôle approfondi des paramètres environnementaux et des conditions des modules est mis en place. Les résultats sont attendus pour le troisième trimestre 2023.



© KU Leuven.

5 Tendances et innovations / suite

ÉTUDE DE CAS 13 INSTALLATION DE DÉMONSTRATION AGRIVOLTAÏQUE DE HYPERFARM À STRASSKIRCHEN, BAVIERE (FRAUNHOFER ISE) CROP: POTATOS, WHEAT, BARLEY AND CABBAGE

Dans ce centre de recherche innovant situé en Bavière, une équipe multidisciplinaire de chercheurs examine non seulement la viabilité des systèmes agrivoltaïques sur les terres arables, mais surveille également de près les modifications du microclimat et les impacts sur les cultures à l'aide d'un réseau de capteurs. D'autres éléments sont évalués : l'application de biochar à base de résidus pour remplacer l'engrais et le stockage sur batterie sur site pour maximiser l'autoconsommation de l'électricité générée. Au cours des quatre années du projet, de 2020 à 2024, l'impact du système agrivoltaïque sera évalué, notamment en ce qui concerne la croissance et la santé des cultures typiques de cette région, à savoir les pommes de terre, le blé, l'orge et les choux. L'installation agrivoltaïque

de 302 kWc a été mise en place par Krinner Carport GmbH à Straßkirchen, en Bavière, en 2022. Krinner Carport GmbH a démontré, grâce à sa sous-structure innovante à vis et à une structure de montage soutenue par des câbles, que les nouveaux systèmes agrivoltaïques peuvent être construits en réduisant considérablement la consommation de matériaux. En outre, pendant le processus de construction, l'accent a été mis sur la minimisation de l'impact sur le sol. Le projet HyPERFarm est financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne.



© Krinner Carport GmbH.

ÉTUDE DE CAS 14 AGRIVOLTAÏSME DYNAMIQUE SUR L'ARBORICULTURE FRUITIÈRE EN AUVERGNE-RHÔNE-ALPES, FRANCE (SUN'AGRI & SEFRA)

Une fois que l'agriculteur a défini ses objectifs de production et identifié la protection qu'il souhaite, Sun'Agri développe, construit et pilote le projet agrivoltaïque pour un investisseur tiers qui sera le producteur d'électricité.

La technologie dynamique agrivoltaïque de Sun'Agri se compose des éléments suivants :

- Un réseau de capteurs pour collecter des données météorologiques (température, humidité, répartition solaire, vent) et agroclimatiques (évapotranspiration, humidité des feuilles, température des feuilles).
- Une intelligence artificielle pour piloter le microclimat (simulation des conditions agronomiques et climatiques, et prévisions météorologiques).
- Une structure physique composée de panneaux photovoltaïques bifaciaux mis en rotation par des trackers, et de filets de protection contre la grêle.

Sun'Agri et le SEFRA, une ferme fruitière expérimentale de la région Auvergne-Rhône-Alpes, se sont associés pour mener des expériences avec cette technologie dynamique.

Agrivoltaïsme sur l'arboriculture fruitière, fortement impactée par le changement climatique. Le projet Etoile-sur-Rhône est né de la nécessité de protéger les cultures du changement climatique et des aléas météorologiques, d'optimiser la production et la qualité de la production, et d'établir des références technico-économiques en arboriculture fruitière. Deux sites ont été construits dans le cadre du projet Etoile-sur-Rhône :

- Un site expérimental de 100 kW a été construit en 2021 sur des pêchers existants ;
- Et un démonstrateur de 1,9 MW a été construit en 2022 avec des arbres (abricotier, nectarinier, cerisier) plantés après la construction de la structure agrivoltaïque.

Le SEFRA suit les performances agronomiques en termes de qualité et de quantité (taux de fructification, rendements), la croissance des arbres, les stades phénologiques des différentes variétés, le développement des maladies, des ravageurs et des auxiliaires, la consommation d'eau et d'engrais.

Les premiers résultats ont montré que la structure agrivoltaïque réduit significativement l'impact d'un épisode de gel sur les pêchers, avec seulement 9% de perte de fleurs sous les volets contre 35% dans la zone de contrôle.



© Sun'Agri & Sefra.



ÉTUDE DE CAS 15 SOLUTION AGRIVOLTAÏQUE VERTICALE DOUBLE-FACÉE DANS LA RÉGION AUVERGNE, FRANCE (ENGIE) CULTURE : CULTURES DIVERSES OU ÉLEVAGE

Camelia est une solution agrivoltaïque verticale biface flexible déployée par Engie, compatible avec diverses activités agricoles, de l'élevage de vaches aux cultures de céréales et de choux. Système de montage conçu par Engie R&I (CRIGEN & Laborelec), Engie Green France et des partenaires externes en 2021, le premier projet pilote de 90 kWc de Camelia est situé sur une parcelle d'un hectare de prairie appartenant à l'INRAE, premier institut public de recherche en agronomie en France.²⁷ La construction a été achevée en mai 2023.

Ce projet se compose de 9 rangées Nord-Sud de modules photovoltaïques bifaciaux montés verticalement. Chaque rangée mesure environ 3 m de haut et se compose de deux lignes de modules en orientation paysage. Des distances inter-rangées de 12 et 18 m ont été choisies, avec l'INRAE, pour s'adapter aux pratiques agricoles et permettre le fonctionnement des machines agricoles existantes. Des recherches sont menées sur :

- Les nouveaux microclimats causés par la protection partielle contre le vent et l'ombrage sur l'écosystème de la prairie (par exemple, l'humidité et la croissance de la végétation) ;
- la biodiversité ;
- le comportement et le bien-être des vaches.

Ces recherches se poursuivront pendant au moins les trois prochaines années, au cours desquelles diverses stratégies de pâturage seront testées. Laborelec a installé un système de surveillance avancé pour obtenir une perspective granulaire de la production d'électricité, des albédos et des nouveaux profils de puissance quotidiens et saisonniers.

L'électricité produite dans le cadre du projet pilote Camelia sera utilisée par le producteur local de lait et de fromage.



© Engie.

²⁷ Institut national de la recherche agronomique et environnementale.

ÉTUDE DE CAS 16 PROJET SYMBIZON : AGRICULTURE ÉCOLOGIQUE EN BANDES COMBINÉE À DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES BIFACIAUX : ALMERE, PAYS-BAS (VATTENFALL)



Symbizon est le premier projet dans lequel des suiveurs à axe unique sont combinés à une agriculture écologique en bandes. Il s'agit d'un projet récent, mis en service au premier trimestre 2023, d'une puissance de 0,7 MWp. L'objectif principal du projet pilote est d'évaluer la croissance des cultures et le rendement des modules bifaciaux.

Dans le cadre du projet, les développeurs vérifient les avantages exacts des panneaux bifaciaux (en testant des rangées avec et sans modules bifaciaux). En outre, le projet tente d'optimiser l'algorithme de suivi, afin d'optimiser la symbiose entre l'agriculture et la production d'électricité. Pour ce projet, Vattenfall travaille en coopération avec l'institut de recherche TNO, l'université AERES, ERF/HEMUS (expert en agriculture en bandes) et RVB (propriétaire foncier

gouvernemental). Le projet se concentre également sur la croissance des cultures. En dessous du projet pilote, il y aura un champ de référence sans modules, afin de vérifier exactement comment l'ombre influence la croissance des cultures. Une évaluation de deux largeurs de rangées différentes - 9 et 15 m d'un poteau à l'autre - sera effectuée.

Une grande variété de cultures sera semée. Comme dans le cas de l'agriculture en bandes, un type de culture différent sera semé tous les 6 mètres, afin d'accroître la biodiversité. Au cours du projet, la croissance et les rendements des différentes cultures seront évalués afin de trouver un cycle de culture qui pousse bien, qui soit rentable pour l'agriculteur et dont la demande sur le marché soit suffisante pour permettre un déploiement à grande échelle.



© Vattenfall.

5 Tendances et innovations / suite

ÉTUDE DE CAS 17 WINESOLAR ET LE PROGRAMME CONVIVE, TOLEDO, ESPAGNE (IBERDROLA)

CULTURE : VIGNES

En Espagne, Iberdrola développe plusieurs initiatives liées à l'agrivoltaïsme, avec deux projets phares dans ce domaine : Winesolar et le programme Convive. Iberdrola a lancé, par l'intermédiaire de son programme international de démarrage PERSEO, un défi visant à trouver des solutions pour combiner les installations photovoltaïques avec des utilisations agricoles et d'élevage. Un consortium formé par Viñedos del Rio Tajo (Grupo Emperador), ESGEO et PV Hardware a remporté ce défi avec son projet Winesolar. Un projet pilote de 41 kWc a été construit dans une cave à haute performance appartenant à Viñedos del Rio Tajo à Tolède (Espagne). Dans cette région, les vignobles subissent déjà les effets du changement climatique.

Les vignobles font l'objet d'une surveillance intensive ; les capteurs enregistrent les données relatives à :

- le rayonnement solaire
- l'humidité du sol
- les conditions de vent
- l'épaisseur du tronc de la vigne, entre autres.

L'objectif du projet est de protéger les vignobles en générant de l'ombre grâce à un tracker intelligent. Trois trackers ont été installés tous les quatre rangs de vigne. Un algorithme d'intelligence artificielle est en cours de développement pour contrôler ces trackers et les adapter aux besoins physiologiques des vignes, ainsi que pour optimiser la production photovoltaïque.



© Iberdrola.

INFO BOX 3 : PROGRAMME CONVIVE, IBERDROLA

Le **programme Convive** a été créé dans le but d'être un programme d'amélioration continue, qui intègre toutes les initiatives et les alliances pour la coexistence entre les énergies renouvelables et leur contribution au développement socio-économique et à la conservation de la biodiversité.

Ce programme intègre des actions spécifiques à chaque projet et à son emplacement, ainsi que des actions globales. Il existe trois domaines d'action principaux :

1. **Développement socio-économique** : Initiatives qui permettent aux projets de contribuer au développement économique et social au niveau local et national ;
2. **Protection et amélioration de la biodiversité** : Actions qui contribuent à l'intégration des installations dans le territoire et le paysage, en améliorant leur contribution à la biodiversité ;

3. **Apprendre des experts** : Améliorer l'impact des énergies renouvelables et l'acceptation sociale de la transition énergétique grâce à des partenariats avec des tiers.

En voici quelques exemples :

- Activités d'intégration dans les projets : pâturage, horticulture, apiculture, etc ;
- Engagement en faveur de l'emploi local, en faisant appel à des fournisseurs locaux à différents stades des projets ;
- Installation de communautés énergétiques et soutien aux municipalités pour la définition et la mise en œuvre de plans de développement ;
- Recherche et innovation dans les nouvelles technologies (par exemple, Agri-PV).

INFO BOX 4 : ÉTUDE DE CAS ECOVOLTAÏQUE, SOLTEC

Soltec s'engage fortement en faveur du développement durable et intègre donc une nouvelle norme appelée Ecovoltaïque. Dans le cadre de cette approche, Soltec crée des centrales photovoltaïques dont l'impact sur l'environnement est le plus faible possible et dont les bénéfices sociaux sont les plus importants. Un concept basé sur la réalisation de 50 actions pour l'amélioration de la biodiversité,

l'excellence socio-économique, l'économie circulaire et la compensation des émissions de carbone, afin que les centrales solaires photovoltaïques répondent à la norme 17 Objectifs de développement durable des Nations unies. L'entreprise construit actuellement la première centrale pilote 100% photovoltaïque dans le sud-est de l'Espagne. Ce projet mettra en œuvre des activités photovoltaïques agricoles, qui constituent l'un des fondements de l'écovoltaïque.

Systèmes de soutien et innovation en matière de systèmes de suivi

ÉTUDE DE CAS 18 SYSTÈME DE SUIVI AGRIVOLTAÏQUE INNOVANT : SHARING THE SUN (SOLTEC)

Parallèlement, Soltec a lancé un portefeuille d'outils et de fonctionnalités dans son catalogue de produits PV trackers afin d'optimiser les cultures, le bétail et les activités de production d'énergie. Soltec a développé un algorithme pour les suiveurs PV appelé Sharing the Sun qui empêche les cultures de projeter de l'ombre sur les panneaux, tout en conservant un rendement énergétique acceptable. Cet algorithme est accompagné d'un ensemble de modes spéciaux pour l'opérateur dans les cas où la machine agricole travaille sur le champ, ou lorsque des activités de récolte sont nécessaires entre les rangées de panneaux solaires.

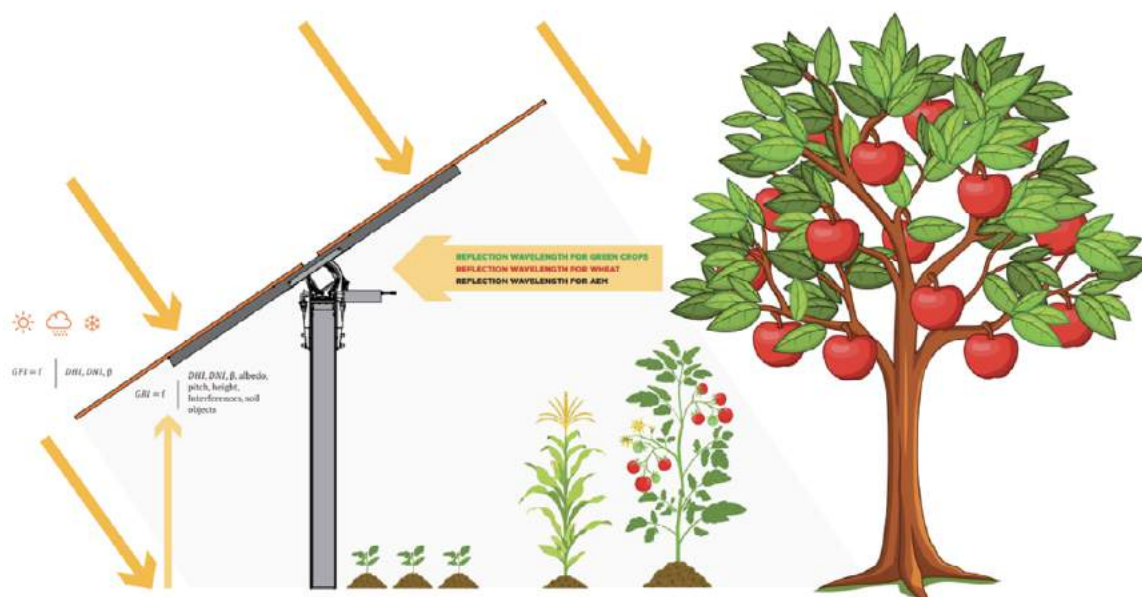
Les innovations en matière de suivi couvrent :

- les systèmes d'irrigation
- la surveillance du bétail ;
- les modules d'acquisition de données ;
- les algorithmes améliorés.

Il est prévu de tester ces innovations dans un certain nombre de projets en Espagne et en France en 2023 et 2024.

Innovation dans les matériaux renforçant l'albédo

En outre, dans les vignobles de la région viticole de Jumilla, située dans le sud-est de l'Espagne, Soltec a installé un projet pilote qui utilise des matériaux améliorant l'albédo dans une centrale photovoltaïque bifaciale. Après plusieurs mois, les données recueillies montrent une augmentation de l'irradiation sur la face arrière des panneaux photovoltaïques, ce qui permet d'obtenir une augmentation de 2,6 % du rendement énergétique. Soltec a également testé l'algorithme d'optimisation d'un panneau bifaciale, qui a permis d'obtenir un gain de 0,3 % en rendement énergétique. Cet algorithme utilise la position optimale du suiveur solaire dans une installation photovoltaïque bifaciale, en tenant compte de la quantité totale de rayonnement avant et arrière. Avec ces résultats positifs, il est possible d'extrapoler cette expérience à l'agrivoltaïsme, étant donné que la culture de plantes dans le même champ qu'un système photovoltaïque bifacial a un impact négligeable sur le rendement énergétique.



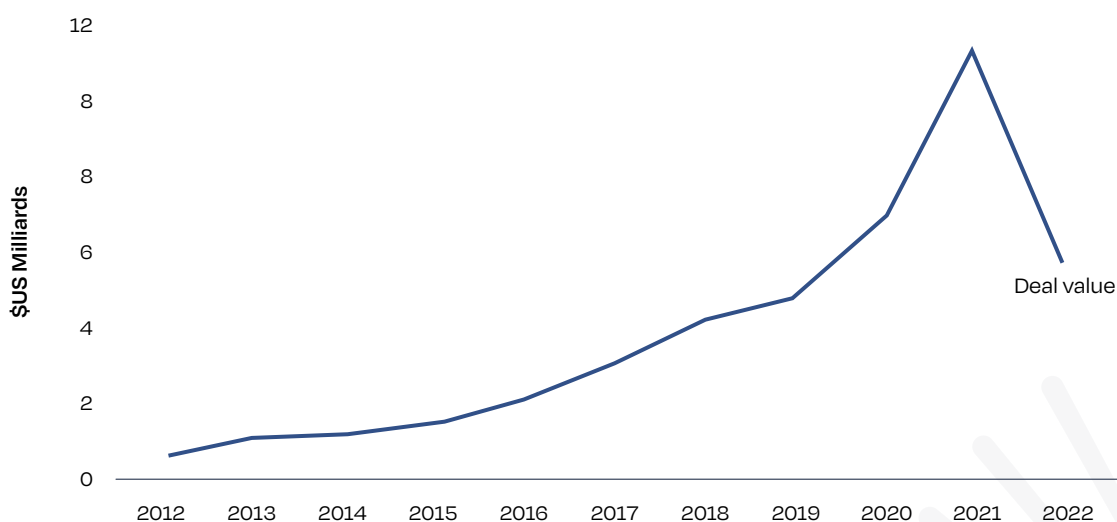
© Soltec.

L'innovation agronomique

Au-delà de l'évolution naturelle des développeurs solaires vers les activités agrivoltaïques, comme indiqué précédemment, les tendances en matière d'innovation sont également encadrées par de nouvelles applications et de nouveaux cas d'utilisation provenant de l'écosystème des start-ups ou rendus possibles par ce dernier. De même, une tendance aux solutions agritechologiques (agritech) s'est développée en Europe et au-delà. L'activité étendue

dans le domaine de l'agritech a connu un essor au cours des dernières années, comme le montre l'activité de capital-risque dans ce domaine (voir figure 7). Le développement de l'agritech montre comment des solutions innovantes sont apportées au secteur agricole. Cela montre une tendance de l'agriculture à devenir plus technique et plus innovante, avec des technologies adoptées à un rythme plus rapide, ce qui peut également être observé dans d'autres secteurs.

FIGURE 8 APERÇU DES INVESTISSEMENTS DANS L'AGRITECH ENTRE LES PÉRIODES 2012 ET 2022



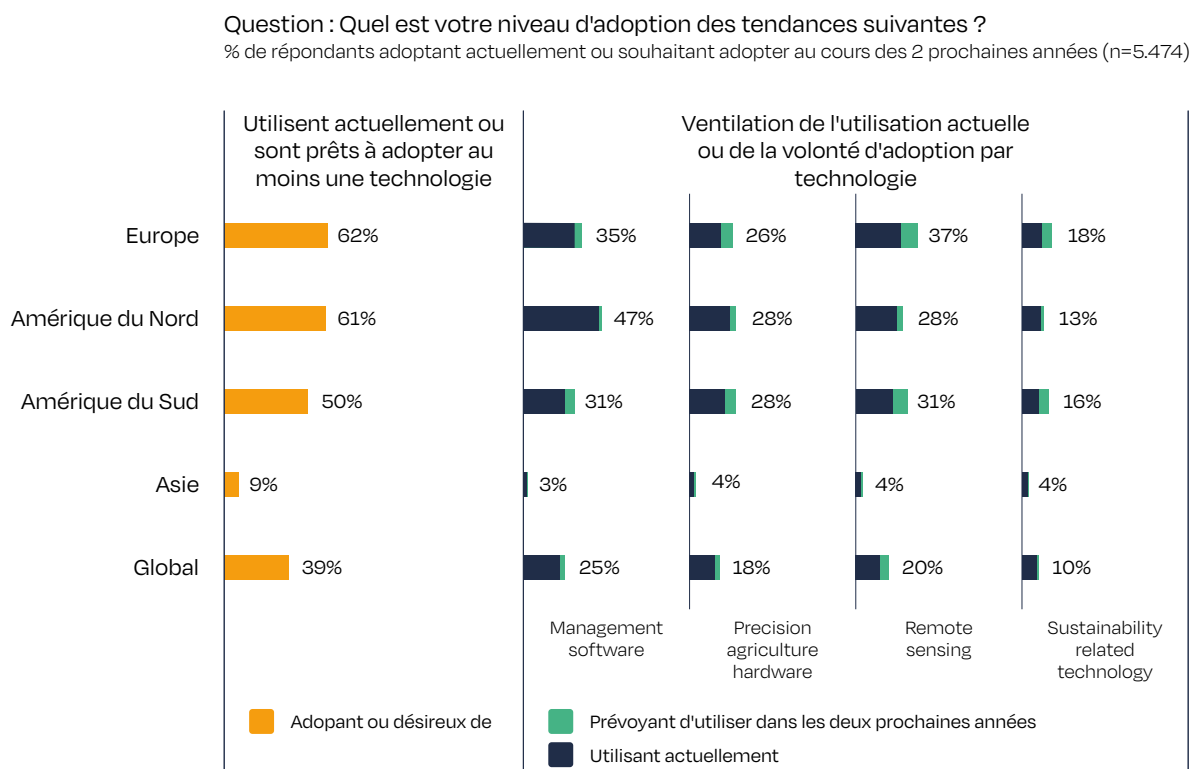
SOURCE : PitchBook.

5 Tendances et innovations / suite

L'agritech et l'agrivoltaïsme pourraient être les deux faces d'une même pièce, car ils comportent de nombreuses synergies. D'une part, l'agrivoltaïsme apporte des structures, des communications, de l'énergie, des données et de nouvelles capacités aux zones agricoles traditionnelles. Ces éléments sont des catalyseurs essentiels pour les principaux types de technologies de l'agritech, l'acquisition de données, les capteurs et l'innovation matérielle.

D'autre part, l'agritech crée une dynamique d'adoption des technologies dans l'agriculture qui pourrait faire tomber les barrières pour l'expansion des cas d'utilisation et des projets agrivoltaïques. Comme le montre McKinsey & Company (figure 8), les agriculteurs européens et nord-américains seront plus enclins à envisager l'adoption de technologies dans les années à venir.

FIGURE 9 VUE D'ENSEMBLE DE L'ADOPTION ET DE LA VOLONTÉ D'ADOPTION DES TECHNOLOGIES AGRICOLES AU NIVEAU MONDIAL



SOURCE : McKinsey & Company, Global Farmer Insight 2022.

Nouveaux cas d'utilisation et applications Agri-PV

EXEMPLE DE CAS CAPTEURS INTELLIGENTS POUR LES POLLINISATEURS (3BEE)

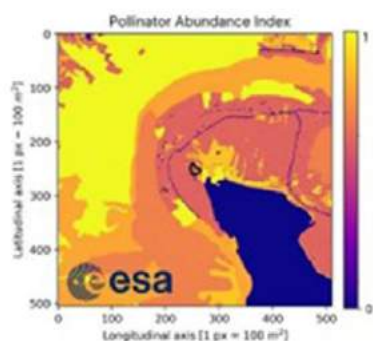
Le déclin rapide de la biodiversité dans le monde est très préoccupant. Face à ce problème pressant, 3Bee Technology a fait figure de pionnier en développant une série de technologies dédiées à la conception et à la surveillance de la biodiversité sur terre. L'approche de 3Bee repose sur trois technologies de pointe :

- Flora, une solution innovante développée avec l'Agence spatiale européenne, qui utilise l'imagerie satellite pour observer et quantifier l'adéquation des sites pour les pollinisateurs, en veillant à ce que leurs habitats naturels soient préservés et nourris.
- Spectrum, un capteur IoT, qui est perpétuellement à l'écoute de l'environnement, détectant la présence de pollinisateurs, fournissant ainsi une évaluation complète de leurs populations.
- HiveTech, un capteur IoT spécialement conçu pour les ruches, qui donne un aperçu de l'état de santé de la ruche et de la production de miel. Indirectement, cela permet d'obtenir une image globale de l'état environnemental du site et de la santé de l'écosystème.

Les avantages de ce service sont les suivants :

- Il facilite l'accès à des données quantitatives claires, permettant d'évaluer les performances en termes de biodiversité des pollinisateurs, ce qui crée de la transparence.
- Ces données peuvent guider la conception des opérations sur le site et la planification des mesures d'atténuation pour améliorer la biodiversité, garantissant ainsi la préservation et la croissance de diverses espèces.
- Elles fournissent également des données qui permettent une communication claire avec les parties prenantes et contribuent à l'établissement de rapports ESG complets, atténuant ainsi le risque d'écoblanchiment (greenwashing).

Aujourd'hui, 3Bee compte plus de 5 000 capteurs installés et plus de 2,5 millions d'hectares de terres. En ce qui concerne les centrales photovoltaïques, la technologie et les services de 3Bee ont été intégrés de manière transparente dans plus de cinq centrales agrivoltaïques à travers l'Europe, contribuant ainsi à l'intégration de l'agriculture, de l'apiculture et de la biodiversité dans la production d'énergie renouvelable.



(i)



(ii)



(iii)

© 3Bee.

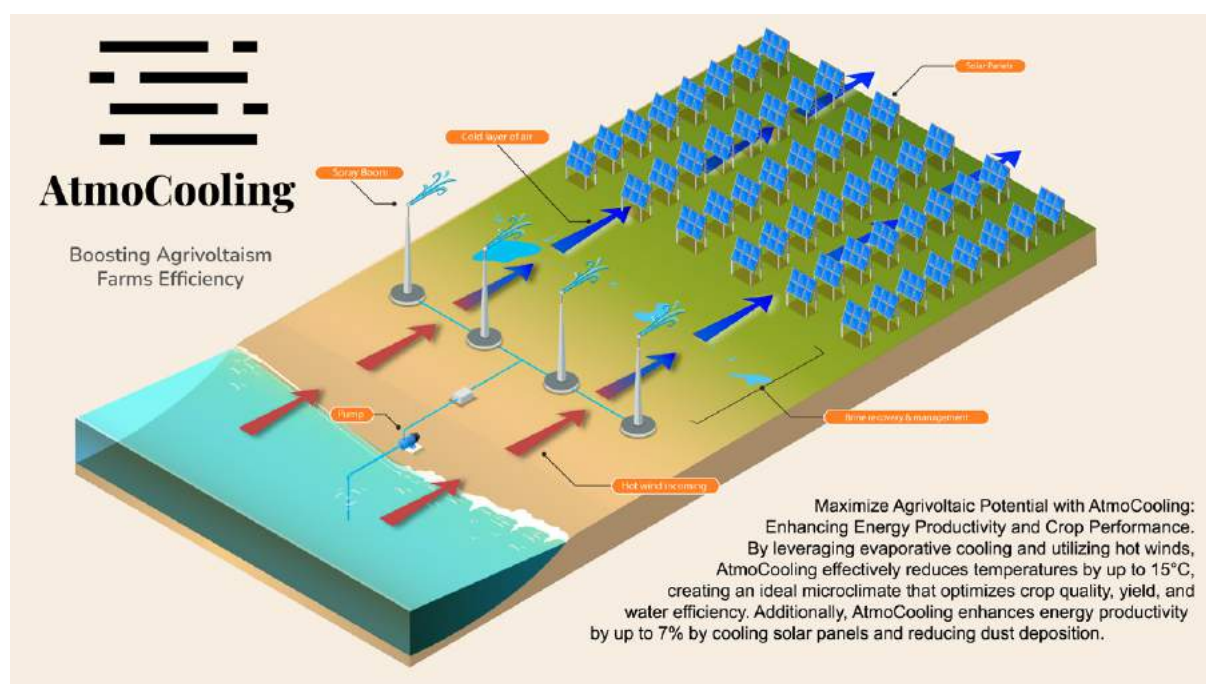
4 Meilleures pratiques / suite

EXEMPLE DE CAS ATMOCOOLING - STIMULER L'EFFICACITÉ DES FERMES AGRIVOLTAÏQUES

En utilisant des ressources en eau abondantes telles que l'eau de mer ou certaines rivières, l'AtmoCooling génère une couche d'air frais près du sol grâce à l'évaporation.

Cette zone de microclimat frais devient plus productive pour les cultures vivrières, les pâturages pour le bétail ou l'efficacité des fermes solaires.

Atmocooling recueille et analyse les données météorologiques entrantes afin de faire fonctionner dynamiquement son système pour contrôler les liquides et solides sur des distances limitées et optimiser son efficacité de refroidissement.



© AtmoCooling.

**EXEMPLE DE CAS UNE SOLUTION RÉVOLUTIONNAIRE POUR UNE AGRICULTURE PLUS DURABLE (SOLAQUA) ;
COMMUNAUTÉ D'IRRIGANTS : ALICANTE, ESPAGNE**

Les factures d'énergie représentent jusqu'à 50 % des coûts de production des agriculteurs en Europe, un coût qui a été multiplié par 12 au cours de la dernière décennie. L'utilisation de l'énergie solaire pour l'irrigation peut représenter la meilleure alternative pour réduire ces coûts énergétiques. La technologie Solaqua est à l'origine d'une nouvelle génération de systèmes photovoltaïques pour l'irrigation qui peuvent fonctionner isolés du réseau, sans avoir besoin d'un système de secours :

- Ce qui permet d'éviter les coups de bélier et la dégradation précoce du système de pompage ;
- Permet de réduire jusqu'à 70 % les coûts énergétiques (terme énergétique + terme fixe), pour tous les types de systèmes d'irrigation ;
- Permet de fournir de l'énergie en tant que service, en éliminant les coûts initiaux pour l'agriculteur et en garantissant la fourniture d'énergie ;
- Permet de garantir une qualité maximale de l'installation en appliquant des procédures avancées d'assurance qualité ;
- Projets prêts à être mis en œuvre : aucun risque pour l'agriculteur ;
- Approche à 360° : Solaqua gère le développement, l'EPC, le financement, l'O&M et la surveillance des performances du système.

Exemple à Alicante Puissance : 360 kW Résultats des performances :

- 5 ans de fonctionnement
- +99% de disponibilité
- 79% d'économies



© Solaqua.

4 Meilleures pratiques / suite

EXEMPLE DE CAS ANIMOB MAFRA

Animob est une startup Agritech en phase de pré-amorçage qui fournit des services dans les secteurs de la gestion de la végétation, avec une solution pratique pour la gestion des terres, la valorisation de la production locale et l'atténuation des effets du changement climatique.

Animob développe une plateforme numérique de mise en relation entre éleveurs et propriétaires terriens, intégrée à un service de gestion régénératrice des terres grâce à la mobilité des animaux. Il s'agit d'un service de pâturage organisé numériquement, qui définit les règles de gouvernance nécessaires pour mettre en relation les propriétaires fonciers et les éleveurs sur la plateforme en ligne ("jumelage en ligne"), puis permet la gestion du bétail et des terres ("jumelage sur place") d'une manière régénératrice. Les conditions commerciales, juridiques, de sécurité, de logistique et de bien-être des animaux sont ainsi garanties. Le service offert aux propriétaires et aux agriculteurs permet à ces derniers de réduire l'impact environnemental et les risques liés aux opérations de gestion de la végétation (contrôle des biocarburants et des espèces indésirables, amélioration des caractéristiques chimiques, physiques et biologiques du sol). Le service d'Animob permet aux agriculteurs d'accéder à de nouvelles zones et à de nouveaux aliments pour leur bétail, ce qui se traduira par une réduction des coûts d'exploitation et une amélioration



© Animob.



de la qualité de la viande. Ensemble, toutes les parties prenantes contribuent à la capture du carbone dans le sol, à la lutte contre la désertification et à la prévention de la perte de biodiversité.



**SolarPower
Europe**

SolarPower Europe - Leading the Energy Transition
Rond-Point Robert Schuman 3, 1040 Brussels, Belgium
T +32 2 709 55 20 / F +32 2 725 32 50
info@solarpowereurope.org / www.solarpowereurope.org



ISBN NUMBER 9789464669053