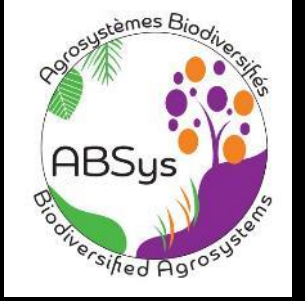




Agrivoltaïsme, définitions, état des lieux et perspectives

Aliments ou énergie ? Faut-il choisir?



23 Juin 2022, Assemblée Générale de l'ACTA

Colloque technique : « l'agrivoltaïsme : utopie ou opportunité pour l'agriculture »

Christian Dupraz

INRAe, UMR Absys, Université de Montpellier, France



Une définition en évolution constante pour restreindre les dérives

- Définition proposée par l'article fondateur (Dupraz, 2011)
 - Superposition de panneaux photovoltaïques et de cultures agricoles dans la même parcelle
- Définition de la Commission de Régulation de l'Energie (2018)
 - Les installations agrivoltaïques sont des installations permettant de coupler une production photovoltaïque **secondaire** à une production agricole principale en permettant une synergie de fonctionnement **démontrable** »
- Définition proposée par l'Ademe (27 avril 2022)
 - « Une installation photovoltaïque peut être qualifiée d'agrivoltaïque lorsque ses modules photovoltaïques sont situés sur une même surface de parcelle qu'une production agricole et qu'ils l'influencent en lui apportant directement un des **services** ci-dessous, et ce, sans induire ni dégradation importante de la production agricole (qualitative et quantitative) ni diminution des revenus issus de la production agricole.
 - - Service d'adaptation au changement climatique
 - - Service d'accès à une protection contre les aléas (météorologique ou de prédation)
 - - Service d'amélioration du bien-être animal
 - - Service agronomique précis pour les besoins des cultures (limitation des stress abiotiques etc.)

Faut-il produire de l'énergie sur les terres agricoles?

- 9 milliards de personnes à nourrir en 2050 : augmenter la production agricole de 56% entre 2010 et 2050 : « Protéger les terres agricoles ».
- Le retour au sol des sous-produits agricoles est essentiel pour la fertilité des sols : méthaniser ou brûler les sous-produits est une menace sur la durabilité
- Est-ce efficace?



Comment produire de l'énergie sur les terres agricoles? Agrocarburants ou agrivoltaïque?

- 1 ha de blé - > éthanol -> moteur thermique -> 22 500 km
- 1 ha de colza - > diester – > moteur diesel - > 21 500 km
- 1 ha de panneaux photovoltaïques - > électricité - > moteur électrique - > 3 000 000 km
- Pourquoi?
 - Rendement photosynthèse 1 à 2% + moteur thermique 20 à 40%
 - Rendement panneaux photovoltaïques 15% + moteur électrique 60 à 90%



source: PHOTON International 04/07

Le défi de la ressource en espace :

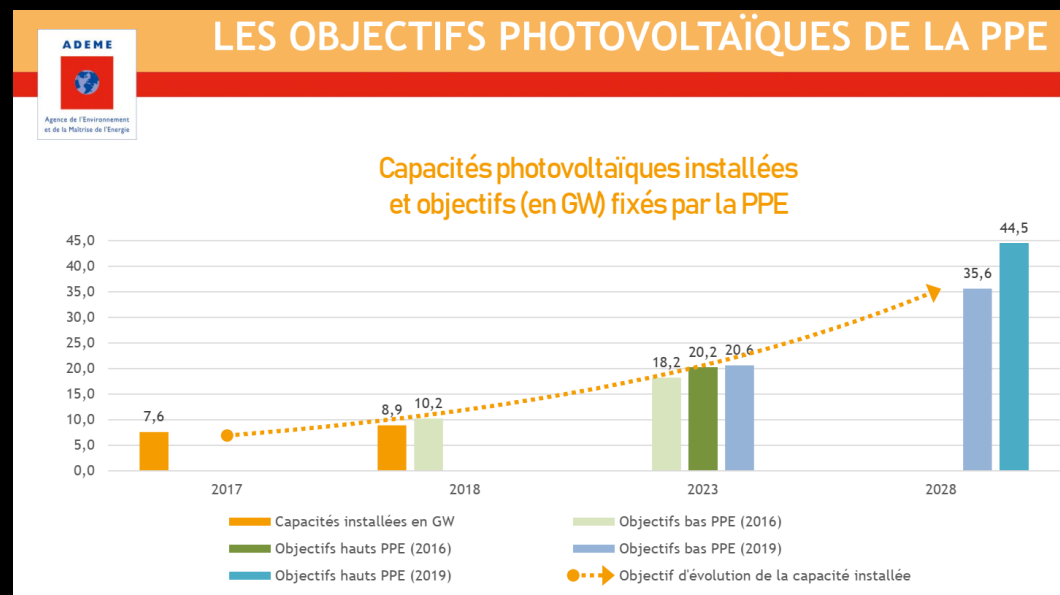
Toitures, ombrières de parking, zones polluées et friches industrielles sont des surfaces adaptées pour des centrales photovoltaïques, MAIS elles sont insuffisantes

Ambition : 35 GWc d'ici 2028 pour 23 GWc disponibles sur ces gisements.

« plan solaire » de 30 gigawatts (GW) d'ici 2035 soit 30000 ha de photovoltaïque

Annonces Président Macron 10 février : **100 GW d'ici 2050**

Où trouver les surfaces supplémentaires ?



FONCIER La FDSEA rappelle sa position sur le développement de projets d'installations photovoltaïques au sol.

Pas de panneaux photovoltaïques au sol sur les terrains cultivables

Notre département comme bien d'autres, n'échappe pas aux projets photovoltaïques quels qu'ils soient : installations de panneaux sur des hangars agricoles ou création d'un parc photovoltaïque au sol (exemple du parc de Crucey-Villages).

la FDSEA a réaffirmé sa position.

Les sites d'implantation à privilégier

Il y a aujourd'hui suffisamment de place sur les toitures pour permettre de répondre aux enjeux du développement durable et évi-

celle de nourrir les hommes. Aussi, les projets d'implantation au sol ne devront voir le jour que sur des terrains non cultivables, tels les friches industrielles ou artisanales, les sites pollués, les anciennes carrières... Les espaces sur lesquels l'activité agricole est présente aujourd'hui ont vocation

Forte opposition sociale et politique contre les centrales photovoltaïques sur les terres agricoles
(Syndicats et fédérations agricoles, associations environnementales, société civile)

Ordres de grandeur :

1 ha de panneaux PV = 1 mégawatt (MW)

1 tranche de centrale nucléaire = 10000 ha (1GWc)



De grands projets PV au risque de neutraliser d'immenses surfaces agricoles ou forestières

Exemple : Lot et Garonne, 2 000 hectares,
1 Md€ d'investissement, 1 000 emplois, impôts
locaux pour les communes avoisinantes,

5 investisseurs : Valeco, Green Lighthouse, Neoen, Reden Solar et Amarenco Construction

5 communes : Allons, Boussès, Sauméjan, Pompogne et Houeillès



Un projet géant de centrale solaire provoque l'émotion dans les Landes

Par **Guillaume Guichard**

Publié le 12/01/2021 à 19:58, mis à jour le 12/01/2021 à 19:58



En l'absence de recours bloquant, Engie et Neoen ne prévoient pas de débuter les travaux avant 2024. Un branchement au réseau ne surviendrait pas avant fin 2025-début 2026. Un champ de panneaux solaires en Bulgarie.

243152433/diyanadimitrova - stock.adobe.com

Cette installation aussi puissante qu'un réacteur nucléaire nécessite d'abattre 1000 hectares de bois.

Que faire?

- Comment produire « en même temps » ... plus de nourriture et de l'énergie sur les terres agricoles ?
 - Pourquoi ne pas... imiter l'agroforesterie.... et combiner ?

Arbres et cultures



Agroforesterie

Panneaux photovoltaïques
et cultures



Agrivoltaïsme



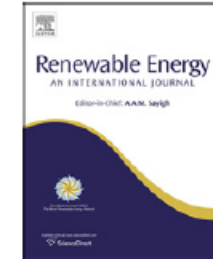
2011-2013



Contents lists available at ScienceDirect

Renewable Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/renene



Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes

C. Dupraz^{a,*}, H. Marrou^a, G. Talbot^a, L. Dufour^a, A. Nogier^b, Y. Ferard^b

^a INRA, UMR System, 2, Place Viala, 34060 Montpellier Cedex, France

^b Sun'R SAS, 7 rue de Clichy, 75009 Paris, France

Renewable Energy 2011. 36: 2725-2732

Land
Equivalent
Ratio

1.2 to 1.6

Peupliers-céréales

14 ans



Land Equivalent Ratio de l'agrivoltaïsme

1.3 à 1.7



Avec un LER de 1.5,

une exploitation agricole qui ferait 100 ha d'agrivoltaïsme

produit autant de produits agricoles et d'électricité

qu'une exploitation de 150 ha qui sépare les deux productions sur des parcelles différentes

Recherches en agrivoltaïsme : une avance française (et à l'INRAE)

- Agrivoltaïsme dynamique
- Etudes agronomiques au champ sous dispositifs réels (3 thèses soutenues + 4 thèses en cours)
- Etudes écophysiologiques en milieu contrôlé (impacts de l'ombre)
- Prototypes exclusifs
- 4 partenaires industriels au moins : Sun'R, EDF Renouvelables, Photosol, Engie Green

INRAE-Sun'R

Site historique de Montpellier



INRAE-EDF Renouvelables

- ✓ Site de La Renardière (77)
- ✓ Culture de luzerne
- ✓ Depuis septembre 2019
- ✓ Technologie REMTECH
- ✓ Equipe INRAE Lusignan



Projet Camelia :

Des haies photovoltaïques associant pâturage des bovins et production d'énergie



Piloter les panneaux au bénéfice des cultures

« Sun'Agri 3 » 2018-2022

Programme de recherche de 5 ans

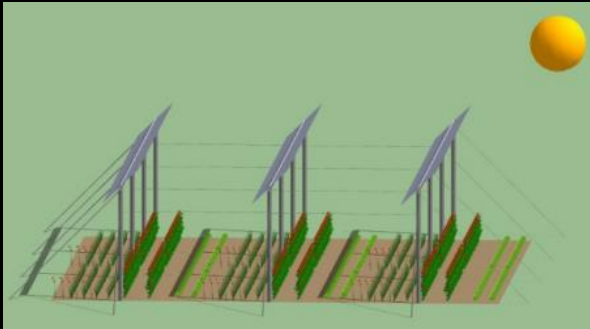


3 brevets

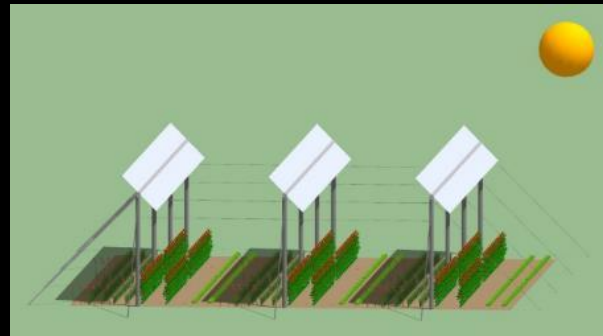


Agrivoltaïsme Dynamique (AVD) : avantages clés

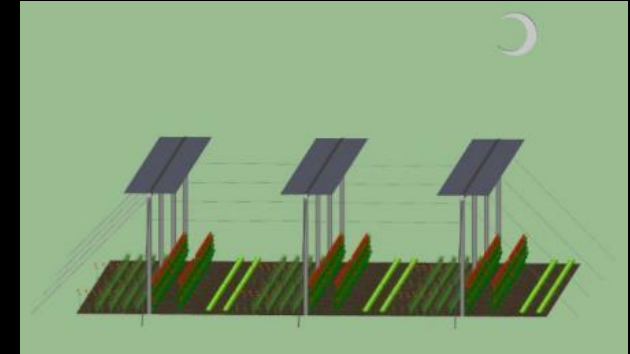
Cas 1 : la culture a besoin de toute la lumière



Cas 2 : la culture a besoin d'être protégée d'un excès de lumière ou a des besoins réduits



Cas 3 : réduction du refroidissement nocturne



Outil d'adaptation au changement climatique

Rendement électrique relatif de 30% en tracking inverse (lumière maximale pour la culture)

Sun'Agri 3

4 sites de recherche



Pommiers



Vignes



Maraîchage (à venir)



*Grandes cultures
Vignes (panneaux fixes)*

1 démonstrateur de grande taille

- 4,5 hectares avec vignes et PV
- 2,1 MWc
- 3 hectares de parcelle témoin sans PV
- Suivi agronomique et microclimatique en temps réel



Centrales classiques au sol

L'agriculture est symbolique
(ex : apiculture, pâturage)



Ref : actu-environnement

--

Centrales sur-élevées à double production

PV Statique ou dynamique
standard sans adaptation
au profit des cultures



Japan (Ministry of
Agriculture, Akira
Nagashima)

+

Serres solaires

Serres fermées avec des
panneaux PV fixes



Ref : Ténergie

--

Agrivoltaïsme Dynamique

Panneaux mobiles avec
contrôle adaptatif
favorisant les cultures



Ref : Sun'R/ Tresserre

+++

Recherches en agrivoltaïsme : une accélération mondiale récente

- Déjà trois congrès mondiaux sur le sujet
 - 2020 : France, Perpignan, virtuel;
 - 2021 : Allemagne, virtuel
 - 2022 : Italie, présentiel
- Prochain congrès mondial : Corée en 2023, USA en 2024...



Un foisonnement d'innovations étonnantes

- Systèmes pliables
- Des systèmes mobiles sur luges
- Systèmes verticaux bi-faciaux
- Des designs de serres asymétriques
- Photovoltaïque tubulaire
- Photovoltaïques organique auto-désintégrants
- Et tant d'autres ...







Des impacts agronomiques originaux à évaluer

- Avec les cultures
 - Intérêt du compartimentage avec des panneaux verticaux sur la propagation des maladies des plantes
 - Réduction du rendement des panneaux bifaciaux verticaux par les cultures hautes
 - Réduction des stress hydriques et thermiques des plantes sous les panneaux
 - Conséquences de la modification des températures du sol (minéralisation, faune du sol)
- Avec les animaux
 - Risques électriques en présence d'animaux (électro-sensibilité, électrocution)
 - Réduction des besoins en eau d'abreuvement



Qui aime l'ombre? La querelle des framboises et des épinards

- Le gang des framboises... (thé, goji, prairies, et bien d'autres) aime l'ombre
- La tribu de l'épinard (soja, riz, maïs...) est moins enthousiaste
- Certains hésitent ... c'est le clan de la pomme (olives, tomates...)
- Les tomates indiennes et européennes ne semblent pas d'accord entre elles



La magie des chiffres... 23.... 30... 50... 84...

- Quel % d'ombre acceptable par les cultures?
 - Cultures et animaux ont des points de vue bien différents.
 - Comment faire avec les systèmes dynamiques où ce ratio est variable?
- Avec une densité relative de panneaux de 50%, on assure un éclairage relatif d'au moins 75%, **ce qui assure des rendements quasi normaux pour la plupart des cultures.**



Bref tour du monde agrivoltaïque

Agrivoltaics2022



Agrivoltaics 2022

- 488 participants, 37 pays, forte expansion
- Projets dans de très nombreux nouveaux pays (Inde, Colombie, Australie, Suède...)
- Prochains congrès : 2023 Corée du sud, 2024 USA

Europe	354	72.5%
Asia	52	10.7%
Australia	1	0.2%
North America	42	8.6%
South and Middle America	7	1.4%
Middle East	25	5.1%
Africa	7	1.4%



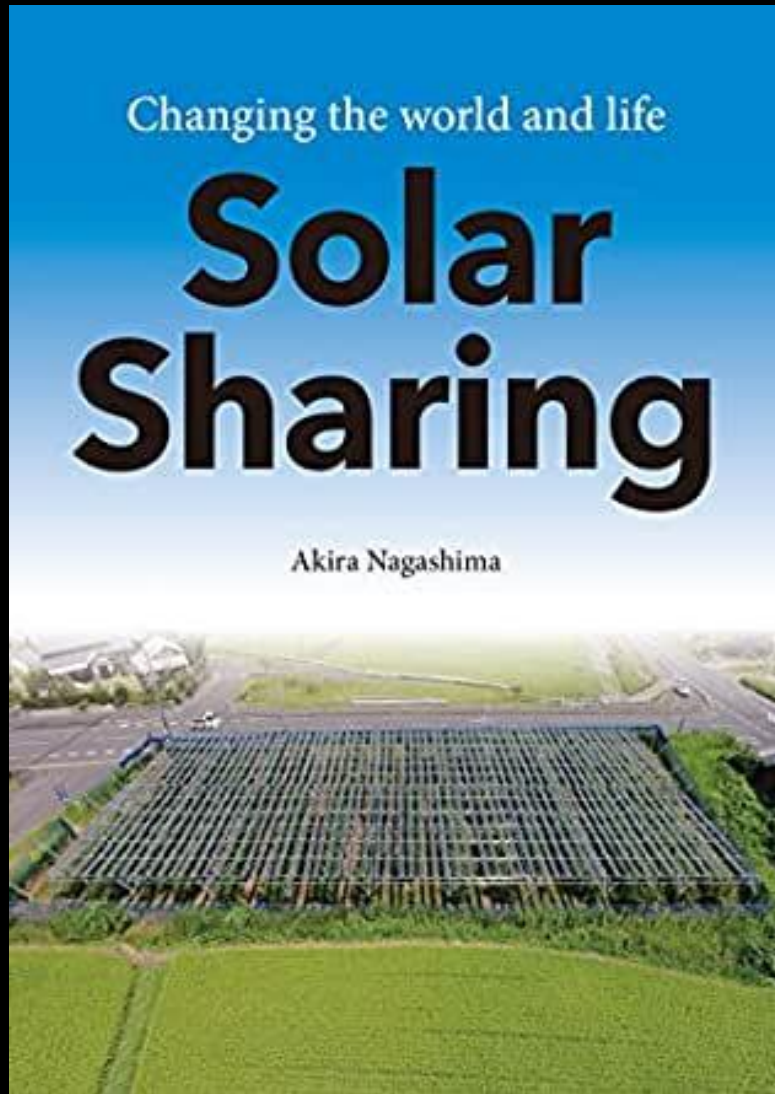
AgriVoltaics2022

Conference & Exhibition

15-17 June Piacenza, Italy & Online

- **AgriVoltaics systems:**
 - System assessment and performance indicators
 - System models and simulation
 - Decision support systems
 - Multi objective optimization methods
-
- **The management of agriculture production under photovoltaic panels:**
 - Plant and crop physiology (Shade tolerance, crop adaptation to agrivoltaics systems)
 - Crop growth models (to simulate crop response to agrivoltaic environments)
 - Selection of species and varieties (and crop rotations) suitable for agrivoltaics
 - Plant response to biotic and abiotic stress under PV panels
 - Management and protection of soil
 - Water management, rain harvest, water storage and irrigation
 - Genotype x Management x Environment interaction in agrivoltaics
 - Livestock management
-
- **Technical aspects:**
 - Data sharing and analytics
 - PV panels for agrivoltaics (bifacial, thin-film, organic PV, lead-free perovskite, spectral splitting, CPV...)

Japon





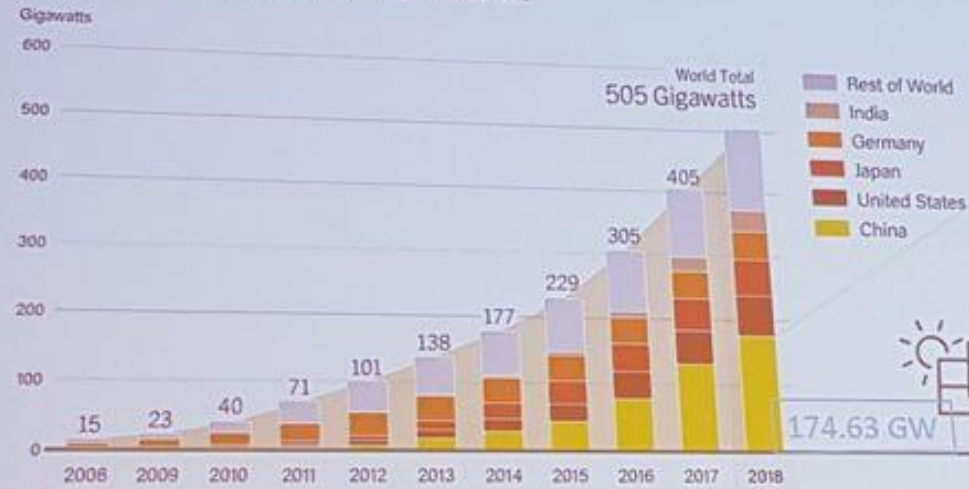
Matsuoka,
Japon



China

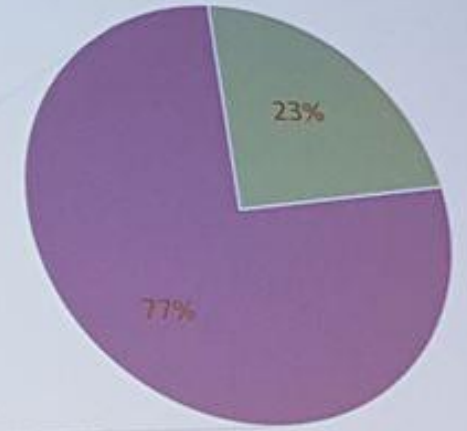
Overview of APV development in China

Solar PV Global Capacity, by Country and Region, 2008-2018



Note: Data are provided in direct current (DC).

- The PV installations with additional agricultural land use in China is more than 40 GW by 2018.



■ PV installations with additional agricultural land use ■ Other

s with additional agricultural land use is at least 64 GW by Sep. 2021.

Source: REN21, modified by author based on the data from AMAPV

Fraunhofer

Distribution of APV types

PV + Desertification Control and Ecological Restoration



©Jiang He

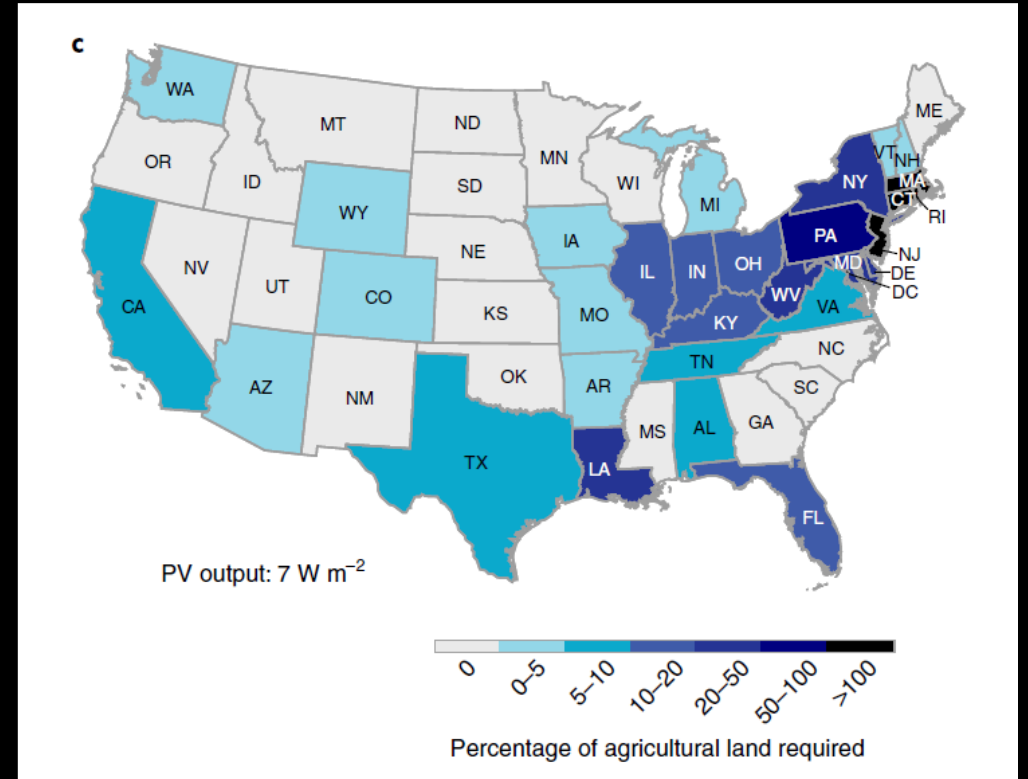


©Jiang He



USA « Aglectric » farming

- Passer à une économie entièrement solaire dans un contexte de « full » earth
- Impossible de passer à une économie 100% électrique sans utiliser des terres agricoles
- Centrales agrivoltaïques à toutes les aires d'autoroute



Sustainable co-production of food and solar power to relax land-use constraints

Caleb K. Miskin, Yiru Li, Allison Perna, Ryan G. Ellis, Elizabeth K. Grubbs, Peter Bermel and Rakesh Agrawal

2019, Nature sustainability

Italie



Revolution Energy
Maker (REM)



Allemagne

Fraunhofer

Panneaux fixes avec déviation par rapport à l'orientation standard
(brevet déposé et contesté)



Corée du sud

- Plusieurs projets depuis 2016 avec suivi du rendement agricole : riz, chou, pomme de terre, ail et sésame
- Korea Agrivoltaic Association :
- Présentation et certification de standards pour les installations combinant agriculture et photovoltaïque



Inde



AgriVoltaics2022
giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

igof Indo-German
Energy Forum



Evaluation of Agrivoltaic System in Thar Desert of India

*Surendra Poonia and ¹Priyabrata Santra
ICAR-Central Arid Zone Research Institute
Jodhpur-342 003, Rajasthan, India

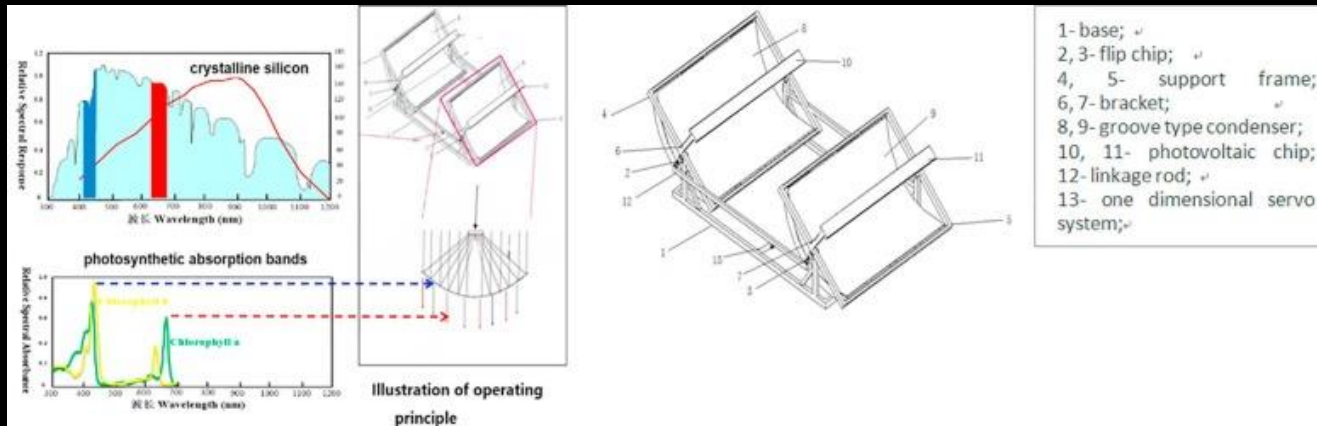
*Corresponding author (surendra.poonia@icar.gov.in)

¹Presenter (priyabrata.santra@icar.gov.in)

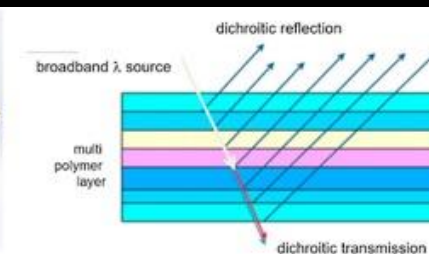


A novel agricultural photovoltaic system based on solar spectrum separation

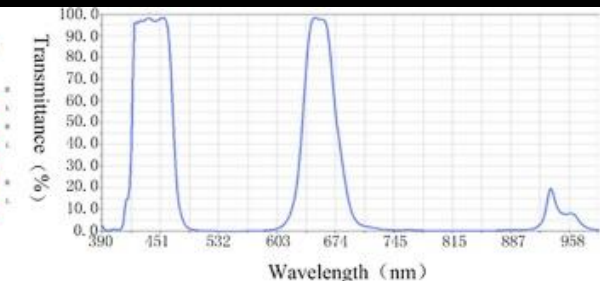
Wen Liu ^{a, b}, Luqing Liu ^{a, b} ✉, Chenggang Guan ^c, Fangxin Zhang ^{a, b}, Ming Li ^b, Hui Lv ^d, Peijun Yao ^a, Jan Ingenhoff ^b



(a)



(b)



(c)

L'AV intéresse désormais les leaders de l'énergie



La France Agricole @FranceAgricole · 3 Apr 2020

@InstitutElevage et @EleveursOvins développent avec Neoen une cellule de recherche pour répondre à une demande forte de données agronomiques et zootechniques sur le pâturage d'ovins sous des panneaux photovoltaïques.

Business

L'agrivoltaïsme : « escroquerie verte » ou vrais « énergiculteurs » ?

ÉNERGIE

Sun'Agri, Engie, Total... L'agrivoltaïsme progresse en France, y compris chez les géants de l'énergie

signent une
me

Le gouvernement a désigné le 1er avril une salve de 288 projets dans les énergies renouvelables. C'est également l'un des premiers appels d'offres pour l'agrivoltaïsme, une filière qui intéresse de plus en plus de gros acteurs de l'énergie comme Total..

développement de solutions agrivoltaïques.

L'agrivoltaïsme est une approche innovante qui associe une production d'électricité photovoltaïque et une production agricole sur une même surface. Elle aide à valoriser des terres peu productives, très caillouteuses, sur des plateaux venteux ou encore trop exposées au soleil, rendant possible la diversification vers de nouveaux types de cultures, tout en produisant de l'énergie photovoltaïque. La démarche peut également faciliter la création d'emplois grâce à une augmentation de la productivité des exploitations.

Total Quadran et InVivo mutualisent leurs expertises via trois engagements :

- La mise en place d'une cellule recherche et développement sur l'évolution de l'agrivoltaïsme.

Sun'Agri et Engie Green s'associent pour le déploiement de l'agrivoltaïsme

À la une > ÉNERGIE



EDF et Rem Tec ont installé dans le département de la Seine-et-Marne, des panneaux photovoltaïques au-dessus d'un champ de luzerne. © Michael Ayach/Rem Tec

Pour conclure

- Aliment et énergie peuvent être produits ensemble
- La production électrique peut être au service de la culture
- Le défi de l'agrivoltaïsme est de trouver sa place dans les esprits et les stratégies d'exploitations
- Comment ne pas réserver cette opportunité à une élite?
- Une centrale PV optimale est incompatible avec une production agricole normale (sauf exceptions à prouver)
- Il faut donc accepter un sacrifice à la conception de la composante PV (densité de panneaux, pilotage des trackers)
- Il faut absolument éviter tout effet spéculatif sur les terres agricoles
 - Encadrer les loyers aux propriétaires du terrain

- Programmation de l'agrivoltaïsme cohérente avec les objectifs de la transition énergétique :
 - Ni trop faible : > 10 000 ha
 - Ni trop élevée : < 300 000 ha (260 000 ha = +/- toute l'électricité française actuelle)
- Favoriser une juste répartition de la rente agrivoltaïque en limitant la surface des projets?
- Agrivoltaïsme cité dans la stratégie nationale énergétique présentée par le Président Macron le 10 février.

Renversement de paradigme

- Si la production agricole est conservée, et si les projets sont entièrement réversibles, il n'y a plus de raison objective liée à la fonction de production agricole de refuser les projets agrivoltaïques sur terres agricoles
- Avec des projets ayant une densité de panneaux inférieure à 25%, le rendement des cultures est normal.
- Au lieu de faire une centrale PV sur un hectare, il est donc largement préférable de faire une centrale AV sur 2 ha. On garde la production agricole, et on ajoute la production électrique
 - La LCOE de ces centrales est plus élevée que celle des centrales au sol normales (hauteur de la structure, faible densité de panneaux).
 - L'espace ne devient plus limitant pour les projets AV

Merci
pour votre attention

