

# Agrivoltisme: un double jeu gagnant- gagnant

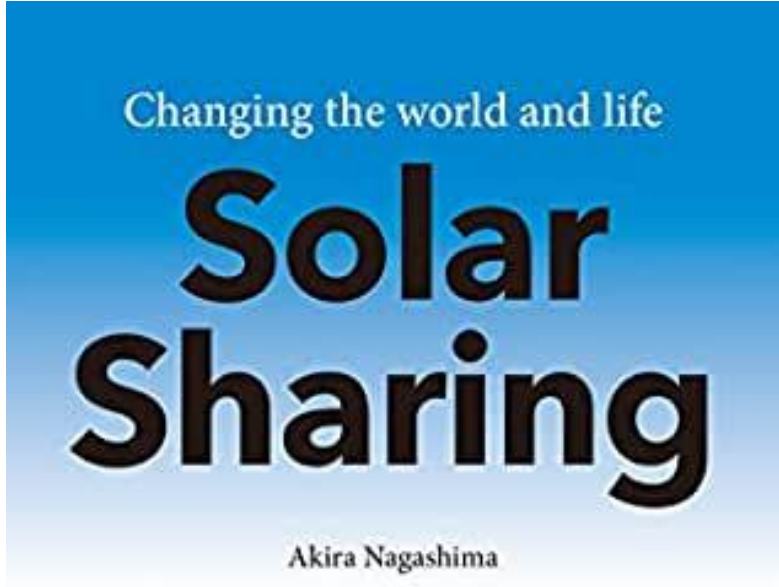
Christian DUPRAZ, INRAé, UMR Absys, Montpellier



















Revolution Energy Maker (RemTec)



## Arbres et Cultures



Agroforesterie

## Panneaux PV et cultures



AgriVoltaisme

# INRAE-Sun'R



2019

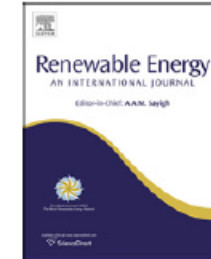




Contents lists available at ScienceDirect

## Renewable Energy

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/renene](http://www.elsevier.com/locate/renene)



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

C. Dupraz<sup>a,\*</sup>, H. Marrou<sup>a</sup>, G. Talbot<sup>a</sup>, L. Dufour<sup>a</sup>, A. Nogier<sup>b</sup>, Y. Ferard<sup>b</sup>

<sup>a</sup>INRA, UMR System, 2, Place Viala, 34060 Montpellier Cedex, France

<sup>b</sup>Sun'R SAS, 7 rue de Clichy, 75009 Paris, France

**Renewable Energy 2011. 36: 2725-2732**

# 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%

# Fortes oppositions... qui évoluent

Rappel des ordres de grandeur :

1 ha de panneaux photovoltaïques = 1 MW

1 réacteur nucléaire = 5000 ha PhotoVoltaire au sol

56 réacteurs nucléaires en France = 1% des terres cultivées avec PV au sol ou 2% en Agrivoltisme

France =

28 millions d'ha de surface agricole utile (cultures et pâtures)

1 million d'hectares aujourd'hui cultivés pour les agrocarburants

HORIZONS 28 - VENDREDI 3 FÉVRIER 2012

**FDSEA**

**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

**N**otre 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 une

# Des projets géants controversés

Exemple : Lot et Garonne, 2 000 hectares,  
1 Md€ investment, 1 000 emplois, taxes pour  
les collectivités locales

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'émoi dans les Landes

Par **Guillaume Guichard**

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

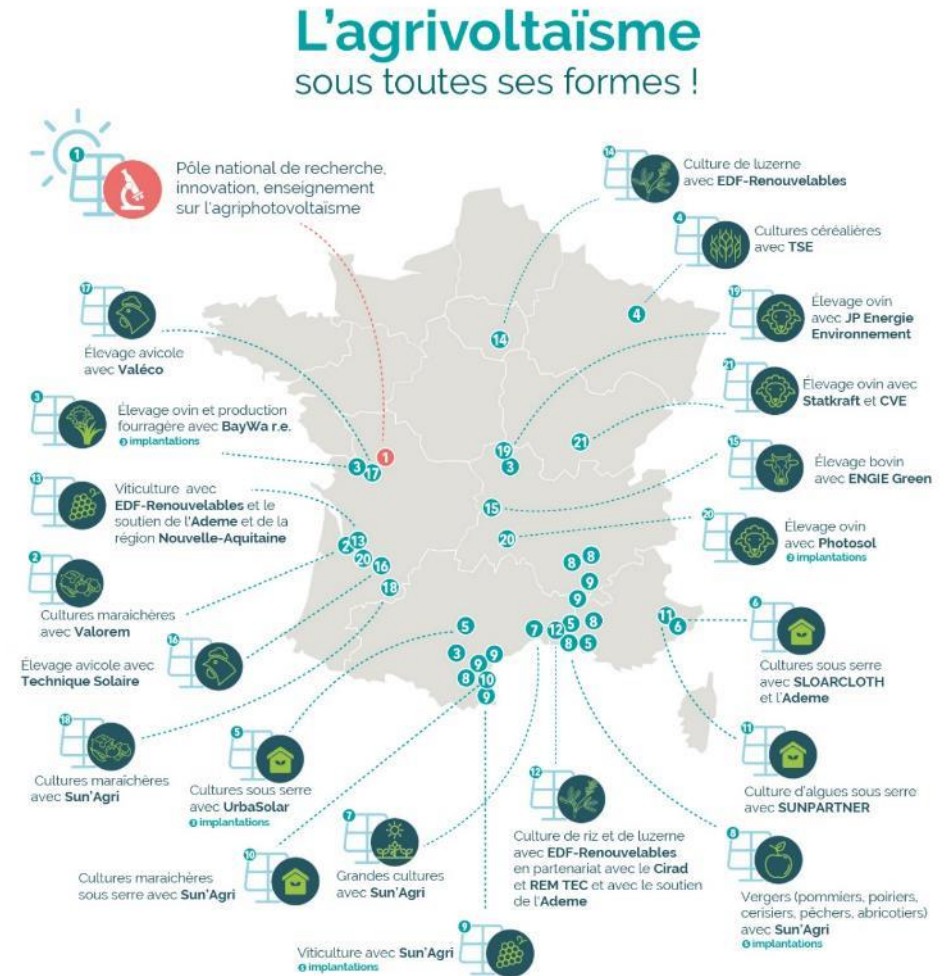


En l'absence de recours bloquant, Engie et Neoen ne prévoient pas de débuter les travaux avant 2024. Un branchement au réseau ne surviendrait pas avant fin 2025-début 2026. Un champ de panneaux solaires en Bulgarie.  
243152433/diyanadimitrova - stock.adobe.com

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

# Recherches en agrivoltaïsme en France

- 14 années (depuis 2009)
- Innovation majeure : AV dynamique (Sun'Agri/INRAE)
- Etudes agronomiques (7 thèses)
- Nombreux partenaires industriels : Sun'R, Rem Tec, EDF Renouvelables, Photosol, Engie Green, Urbasolar, Baywa.re, SunPartner, SolarTub, Valorem, Valeco, Photosol, TSE, Next2Sun, etc...





- ✓ Depuis 2019
- ✓ RemTec Technologie
- ✓ INRAE Lusignan



INRAE – ENGIE Green

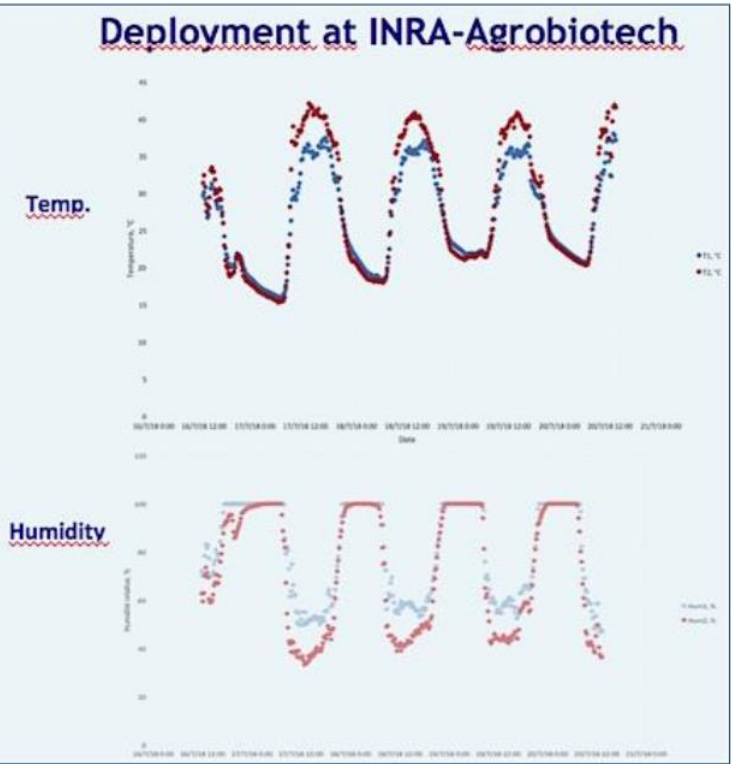
Camelia Project (start 2022):

## Haies photovoltaïques et pâturage bovin



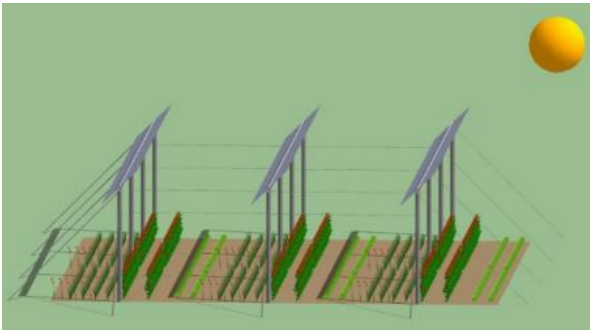


Brevet - Écran d'Ombrage PV

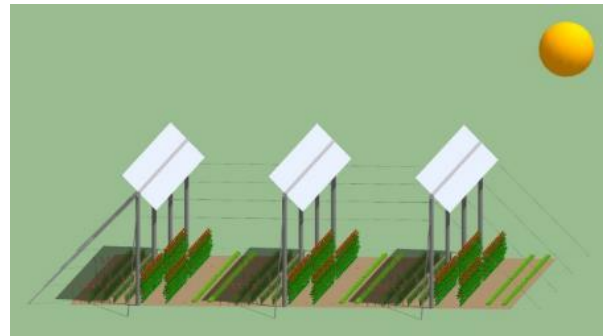


# Agrivoltaïsme dynamique: protéger les cultures

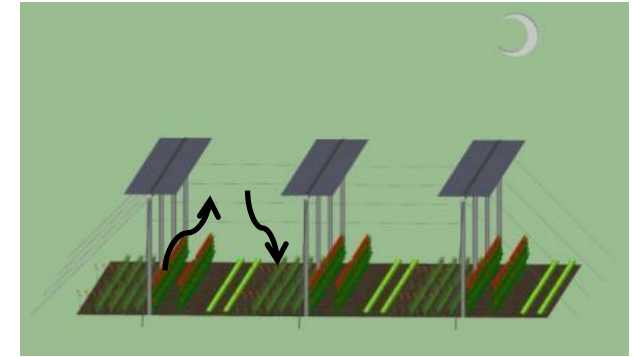
Cas 1 : La culture a besoin de beaucoup de lumière  
(effacement = tracking inversé)



Cas 2 : La culture a besoin de protection contre l'excès de rayonnement ou la chaleur  
(tracking solaire)



Cas 3 : Réduction des pertes d'énergie nocturne pour réduire les risques de gel ou réchauffer le sol



## Outil d'adaptation au changement climatique

Production électrique réduite de 30% en tracking inversé.

20% d'effacement a un effet significatif sur les cultures. Permet des densités de panneaux plus élevées



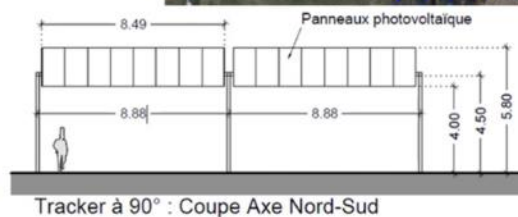
# Arboriculture fruitière en AV (Sun'Agri)

- 8 installations avec arbres fruitiers (pomme; cerise; prunes; Pêche; poire; abricot; kiwi; vignes)

## Lot 3 – Etat des démonstrateurs

### Carpentras, 84

- Structure agrivoltaïque
  - Surface : 1,25 ha (AVD) + 0,32 ha (témoin)
  - Inter-rang x inter-plant : 4,5x1,5 m
  - Densité AVD : 1480 arbres/ha
  - Taux de couverture : 39%
  - 4 zones de pilotage + témoin
- Culture
  - Cerise – 2 variétés (Nimba et Balrine)
  - Irrigation : micro-aspersion
- Suivi agro : CA84



# Serres Agrivoltaiques avec panneaux mobiles



- 50% de couverture = trop sombre pour les cultures



Thuir (66) : framboise



- Nouveaux systèmes avec panneaux mobiles sur serres ou dans les serres.

## Panneaux semi-transparentes et voile mobile réflecteur



# Le défi de la ressource en espace :

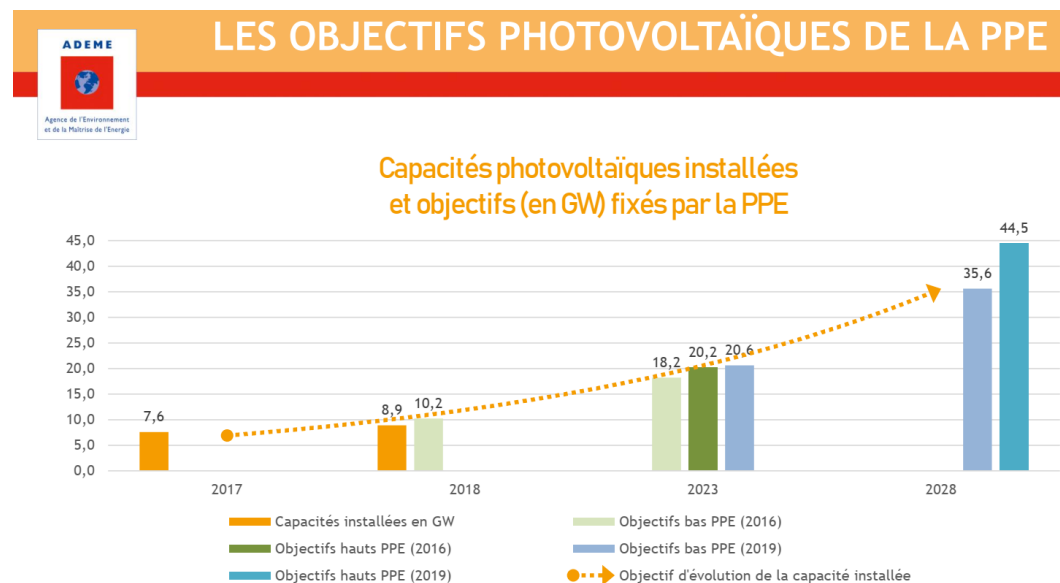
Toitures, ombrières de parking, zones polluées et friches industrielles sont des surfaces adaptées pour des centrales photovoltaïques, MAIS elles sont insuffisantes

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**

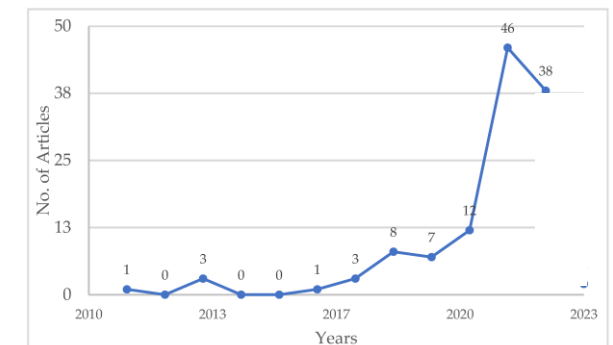
Où trouver les surfaces supplémentaires ?





# Recherches en agrivoltaïsme : une accélération mondiale récente

- Déjà quatre congrès mondiaux sur le sujet
  - 2020 : France, Perpignan, virtuel;
  - 2021 : Allemagne, virtuel
  - 2022 : Italie, présentiel
  - 2023 : Corée du sud, présentiel
- Prochain congrès mondial : Denver, USA (Juin 2024)



# Rendement placette et rendement parcelle

- Le rendement placette correspond aux zones réellement cultivées
  - Les projets AV comprennent des zones impossibles à cultiver
  - Le rendement parcelle doit en tenir compte
- 
- Une parcelle avec un rendement placette normal mais 50% de la parcelle non cultivée a un rendement parcelle de 50%

## De la difficulté d'obtenir des rendements parcellaires « normaux »



Lizuka, Sosa, Chiba, Japan

Blé

Distance entre les rangées de poteaux : 4 m

Surface cultivée : 75 %

GCR : 33%



Sasaya, Nihonmatzu, Fukushima, Japan

Blé

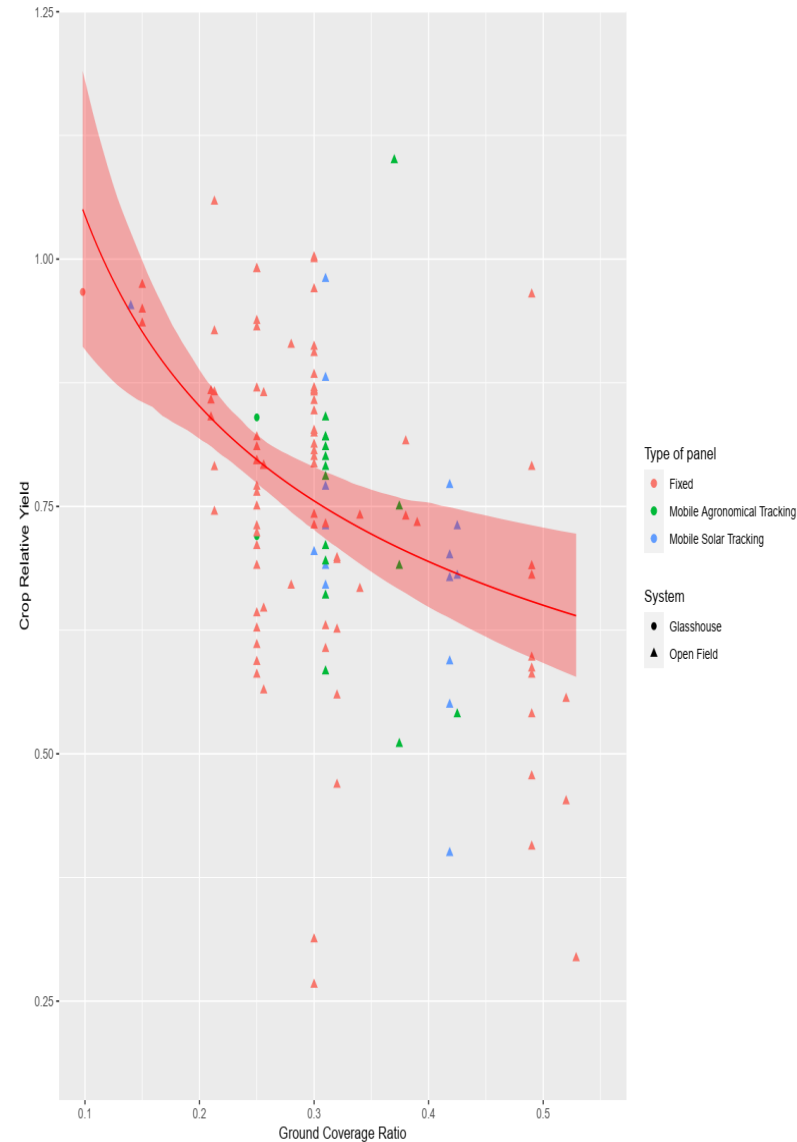
Distance entre les rangées de poteaux : 2 m

Surface cultivée : 50%

GCR : 25%

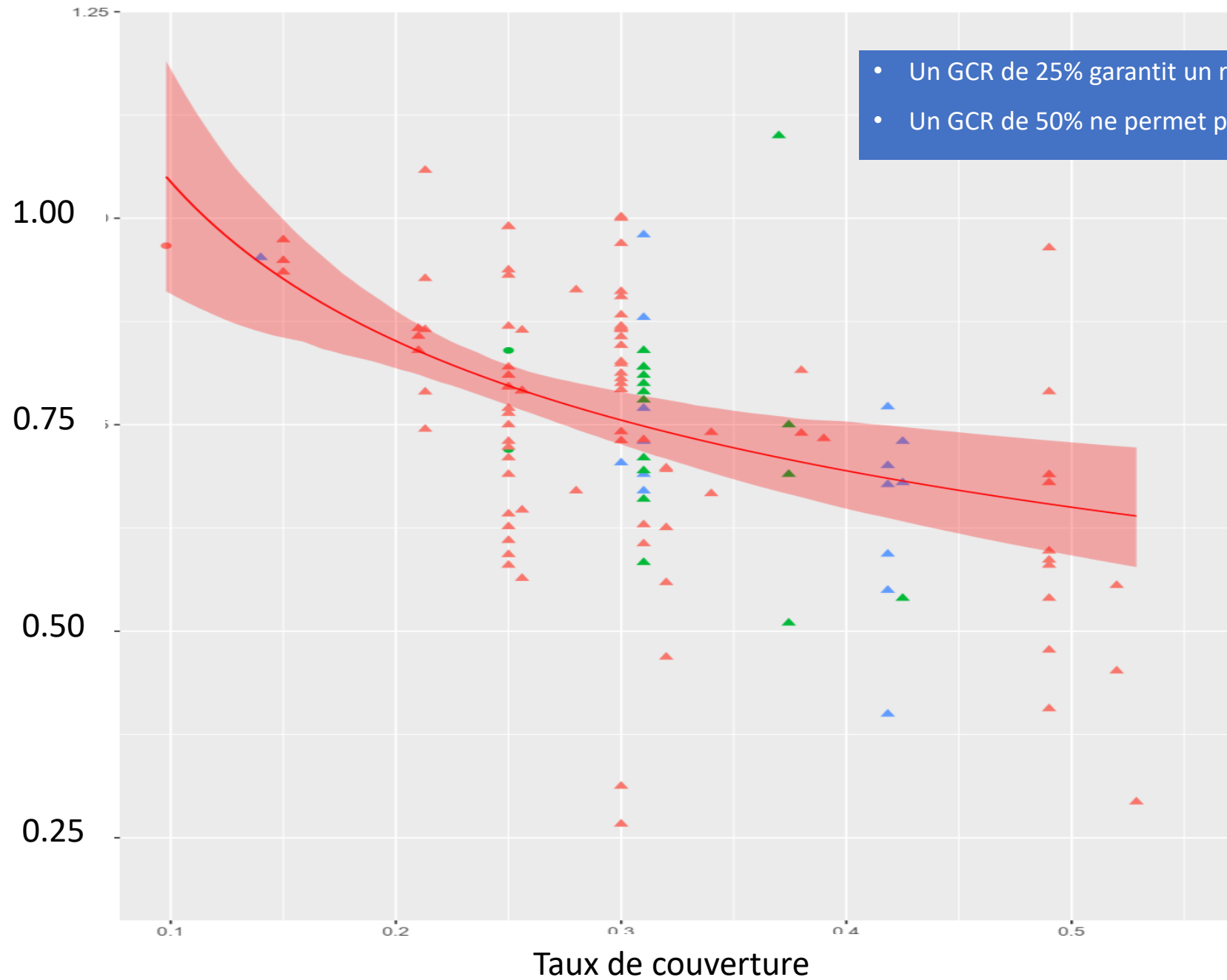
Deux exemples de sites AV japonais où il est impossible de respecter la contrainte réglementaire d'un rendement relatif parcellaire de 80%

# Le débat : quelle couverture maximale de panneaux pour obtenir des rendements agricoles acceptables?



Decrease of annual crop yields in agrivoltaic systems as a function of the Ground Coverage Ratio of the system (Dupraz, 2023, Agroforestry Systems)

# Rendement relatif



- Un GCR de 25% garantit un rendement d'au moins 80%
- Un GCR de 50% ne permet pas de maintenir un rendement de plus de 60%

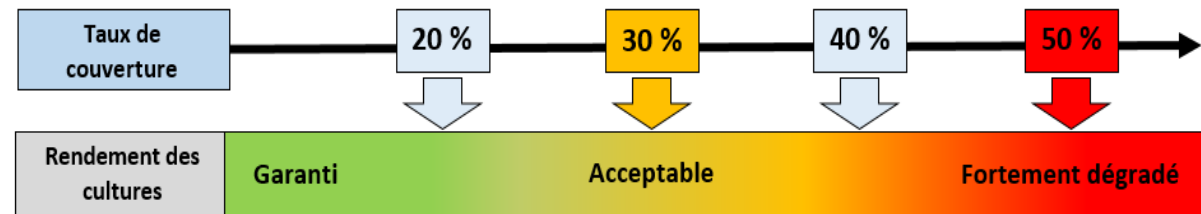
**Type of panel**

- Fixed
- Mobile Agronomical Tracking
- Mobile Solar Tracking

**System**

- Glasshouse
- Open Field

- On ne peut pas garder les densités de panneaux des centrales classiques en agrivoltaïsme
- Rendement préservé -> surface illimitée : Un système AV avec deux fois moins de panneaux mais répartis sur deux fois plus de surface produit autant qu'une centrale classique sans pénaliser la production agricole
- Les plantes pérennes (arbres fruitiers, vignes, fourrages, petits fruits rouges) pourraient tolérer plus d'ombre, mais ce n'est pas évident



# Le rôle clef des structuristes

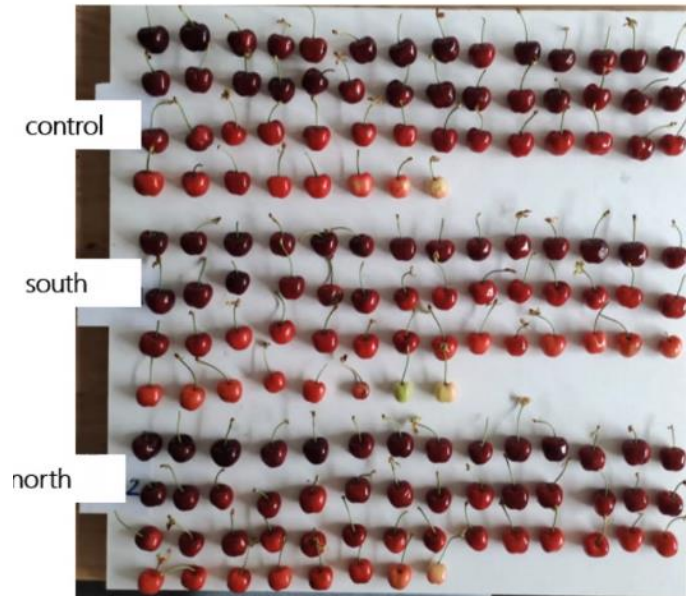


# Impact sur la qualité des produits

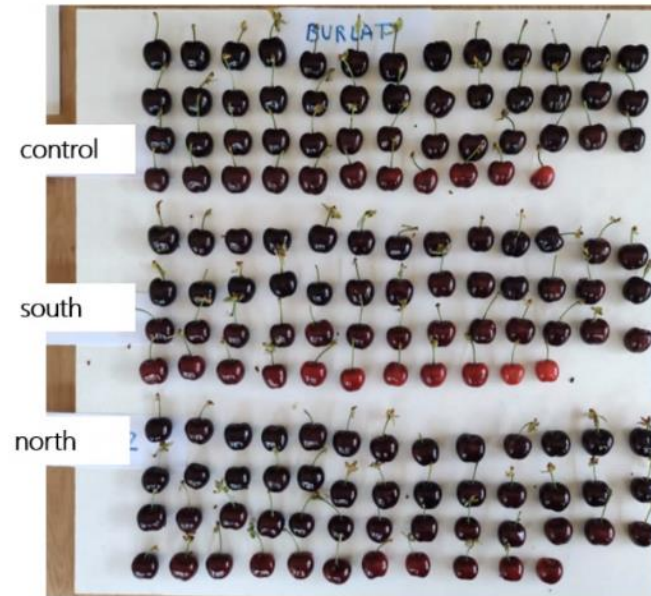
- Nombreuses études en cours sur arbres fruitiers, vigne
- Effets ténus, parfois positifs (degré alcoolique diminué en vigne), parfois négatifs (coloration fruits), mais à très faible impact sur valeur commerciale
- Effet spectaculaire lors de la canicule de août 2023 sur raisin de cuve



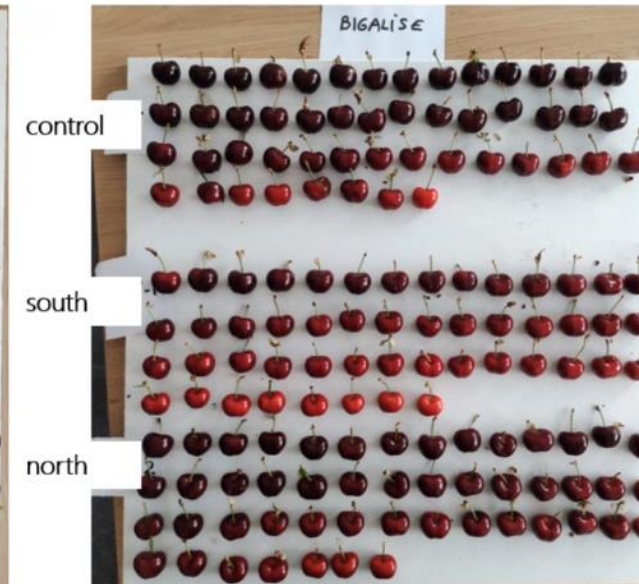
Primulat



Burlat



Bigalise





# Impact écologique des centrales Agrivoltaiques

- Neutre vis-à-vis de la grande majorité des taxons
- Adaptation rapide de certaines espèces d'oiseaux (hirondelles)
- Favorables à certains insectes (papillons)
- Transparents vis-à-vis de la grande faune (au contraire des centrales au sol clôturées)
- Gênent la chasse des rapaces
- Les chauve-souris ne vont pas beaucoup au centre des centrales

## Suivi écologique en phase exploitation – Tresserre (66)

❖ 1<sup>ers</sup> résultats qualitatifs sur 3 années – 2020 à 2022 : 

Taxons	Nombre d'espèces	Observation
Rhopalocères	18	- Richesse spécifique faible mais cohérente - Repos sous ombrage
Odonates	2	- Habitat peu favorable - Individus en transit
Orthoptères	4	- Habitat peu favorable - Espèces thermophiles
Chiroptères	16	- Utilisation pour les déplacements (Grand Rhinolophe) - Chasse active sur l'ensemble du site - Activité plus faible sous AVD



Machaon



Criquet égyptien



Gomphe à forceps méridional



Grand Rhinolophe



Jeremy ROSCHÉ (Esternat)



**France**  
**Agrivoltaïsme**

**Association Nationale créée le 9 Juin 2022**

**Défend une régulation**

**Contre-Association**

**Souhaite le moins d'encadrement possible**

**« Priorité à l'agilité »**



Fédération Française des Producteurs Agrivoltaïques

- Label AFNOR Agrivoltaïsme sur culture
- Label Agrivoltaïsme élevage en préparation
- Pour éviter les faux projets



# Loi sur l'accélération des énergies renouvelables (10 mars 2023)

- Interdit le PV au sol en zone agricole et forestière (sauf friches de « longue » durée repérées dans un document-cadre)
- Définit l'agrivoltaïsme comme un outil au service de l'agriculture pour faire face au changement climatique
- Donne un pouvoir décisif aux CDPENAF (Avis conforme) et embarrassant aux maires (seuil de puissance 500 KWc)

# Préparation des décrets d'application de la loi en cours

- S'oriente vers un contrôle du rendement agricole
- Extraits provisoires :
  - L'amélioration du potentiel et de l'impact agronomiques consiste en une amélioration des qualités agronomiques du sol et une augmentation du rendement de la production agricole - à défaut d'une augmentation, le maintien voire la réduction d'une baisse tendancielle observée au niveau local suffit
  - Toute installation agrivoltaïque d'une puissance supérieure à [500 kWc] doit comporter une zone témoin.
  - La production agricole est considérée comme significative lorsque le rendement par hectare observé sur la parcelle agricole sur laquelle est située l'installation agrivoltaïque n'est pas inférieur de plus de [10%] au rendement par hectare observé sur la zone témoin.
  - Une diminution plus importante peut être autorisée si et seulement si l'installation agrivoltaïque permet une amélioration significative et démontrable de la qualité d'une production agricole, par comparaison avec des références antérieures dans le cas d'une production agricole préexistante, ou par comparaison avec la zone témoin en cas de nouvelle production.

# Les systèmes agrivoltaiques sont désormais regroupés avec les ombrières de parkings (systèmes surélevés)

- Pour les appels d'offre de la CRE
- Pour tenir compte de leur coût de production électrique (LCOE) plus élevé du au coût de la structure élévatrice.



# Potentiel agrivoltaique français

- 28 Millions ha de SAU
- **15% de la SAU non mobilisable** (Cœur de Parc National, Natura2000, ZNIEFF 1, arrêtés de protection biotope, réserves naturelles régionales et nationales, terrains des conservatoires des espaces naturels, réserve de biosphère (aire centrale), périmètre de 500 mètres autour des monuments historiques, loi littoral, Sites Patrimoniaux Remarquables, Zone rouge des PPI)
- Pentes supérieures à 20% non mobilisables (3.4 Millions ha)
- 19 Millions ha adaptés
- En 2022 : 167 centrales AV en France (1.3 GW sur environ 1500 ha) mais beaucoup sont de faux systèmes agrivoltaïques avec des rendements très dégradés

# Quel avenir pour l'agrivoltaïsme en France?

- Cible cohérente avec les objectifs de la transition énergétique :
  - Pas trop peu : > 10 000 ha
  - Pas trop : < 1 Mha
  - 100 000 ha est un objectif réaliste
  - A comparer aux 1 000 000 ha consacrés aujourd'hui aux agrocarburants
- Limiter la taille des projets pour répartir les bénéfices?
- Eviter la spéculation foncière en encadrant les loyers payés au propriétaire?
- 2% de la SAU française suffiraient pour produire autant d'électricité que les 56 réacteurs nucléaires français et cela sans réduire significativement la production agricole

