
AGRIVOLTAÏQUE POUR LES ZONES CLIMATIQUES ARIDES

Transfert de technologie et enseignements tirés du Japon et de l'Allemagne



Max Trommsdorff

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

Série de webinaires internationaux sur l'agrivoltaïque en Afrique

Heure: 9:00-10:00 UTC / 18:00-19:00 JST

Jeudi 13 mai 2021

Agenda

- Introduction: Contexte, histoire et définition de l'agrivoltaïque
- Résultats de R&D d'Allemagne et expériences du Japon
- Nexus eau-énergie-nourriture et potentiel pour l'Afrique

Les défis de la transition énergétique en Allemagne

Objectifs politiques, réalité et demande

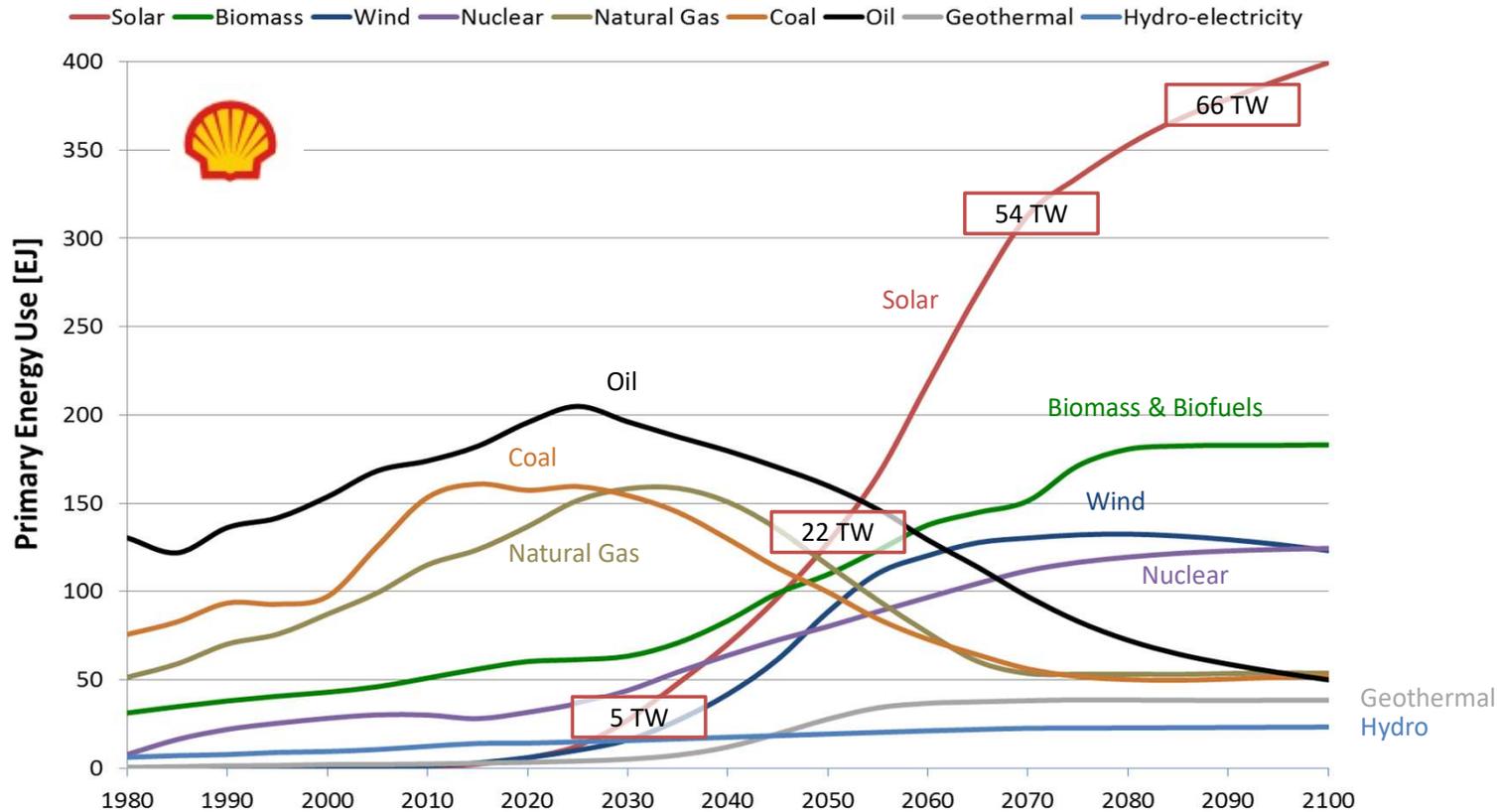
- Émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030 : -55%
- Part des énergies renouvelables dans la consommation d'électricité à l'horizon 2030: 65%
- **Demande d'électricité d'ici 2050: jusqu'à 1000 TWh**
- Objectif d'expansion photovoltaïque d'ici 2030: 98 GW
- Augmentation PV 2013-2018 en moyenne: 1,8 GW / a
- Augmentation PV 2019: 3,9 GW
- Augmentation de la demande photovoltaïque d'ici 2030: 5 à 10 GW / a
- **Augmentation de la demande PV d'ici 2050: 400-500 GW**



Cumulative installed capacity of PV and wind power for four examined scenarios, Fraunhofer ISE
Febr. 2020

Les défis de la transition énergétique - dans le monde

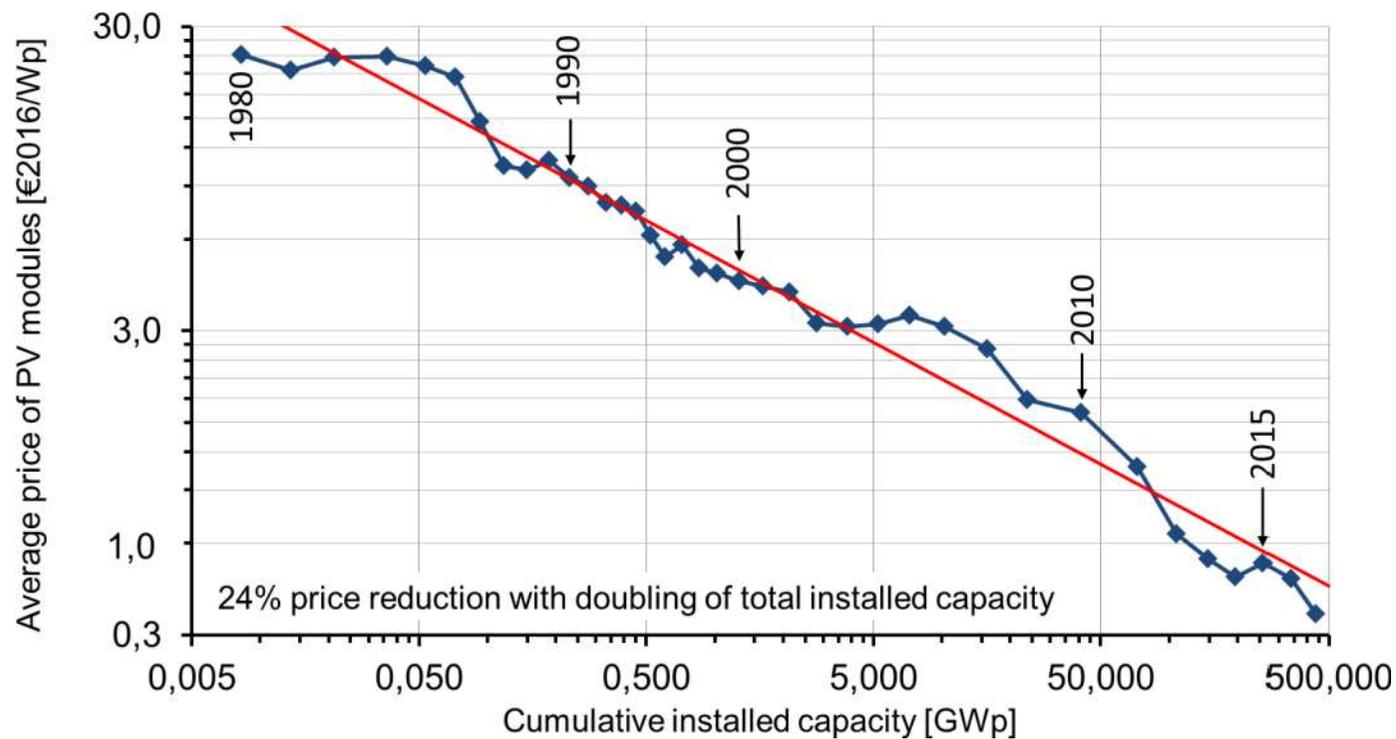
Scénario du marché de l'énergie par Shell: le photovoltaïque domine



<https://www.carbonbrief.org/in-depth-is-shells-new-climate-scenario-as-radical-as-it-says>

Les défis de la transition énergétique - dans le monde

Photovoltaïque: évolution des prix des modules



Exemples de photovoltaïque intégré

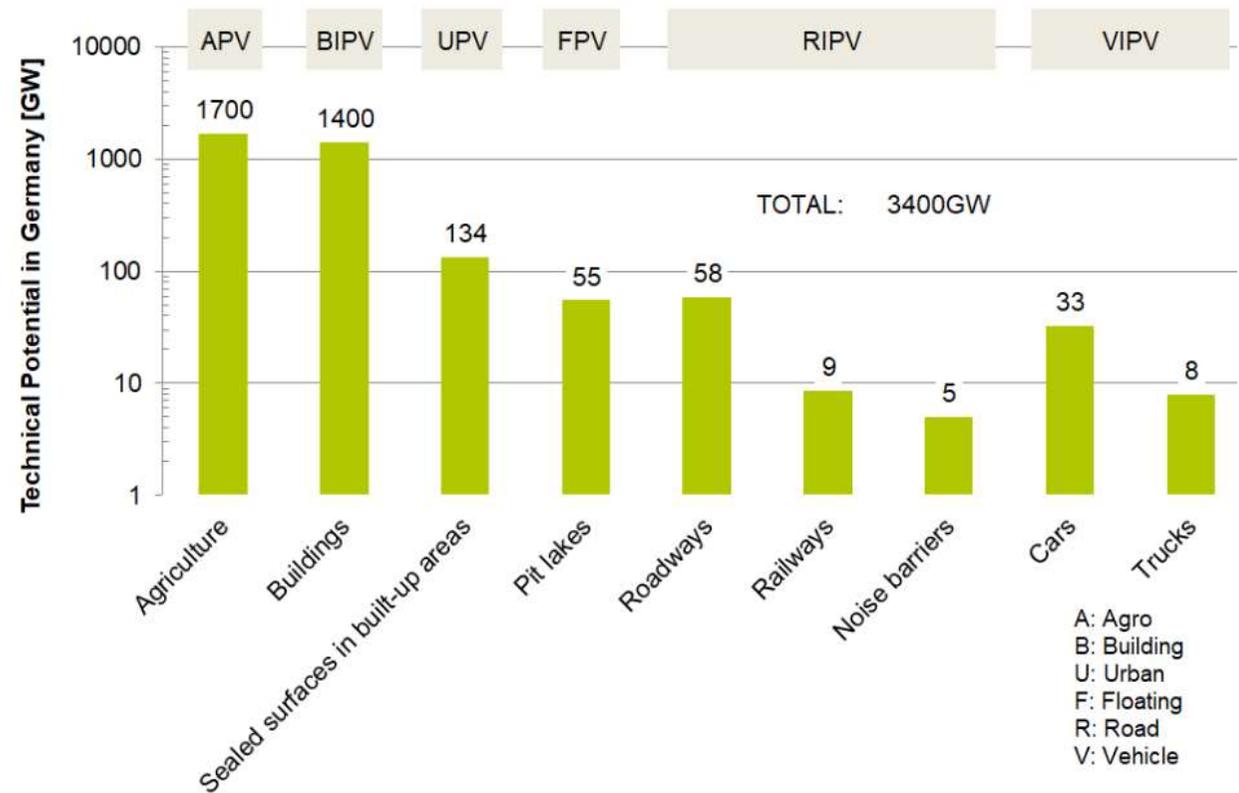


Les défis de la transition énergétique

Potentiel foncier technique en Allemagne

Potentiel technique

Prise en compte des contraintes techniques, infrastructurelles et écologiques

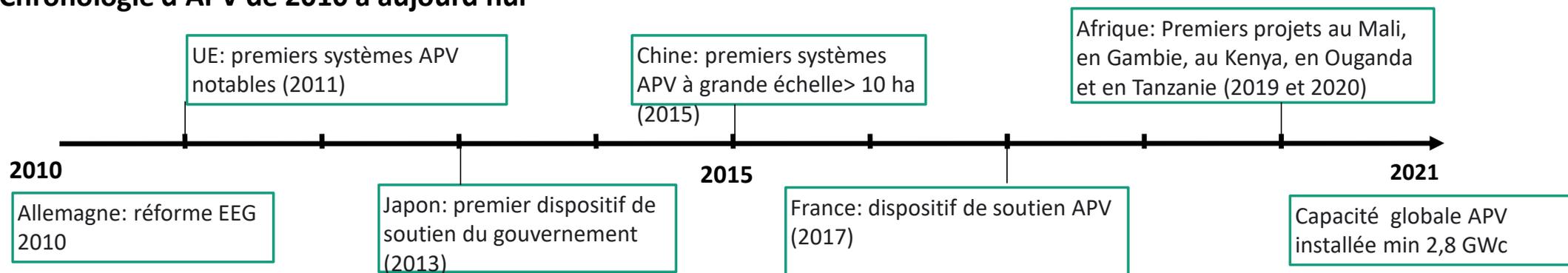


Agrivoltaïque - De l'idée à la mise en œuvre

Bref historique

- À partir de 2000 tarifs d'achat EEG pour les énergies renouvelables
- «Révolution» PV
- Premières centrales photovoltaïques à grande échelle (PV-GM)
- Réforme EEG 2010: PV-GM uniquement dans des cas exceptionnels sur des terres arables
- Le temps est venu pour les agrivoltaïques

Chronologie d'APV de 2010 à aujourd'hui



Qu'est-ce que l'agrivoltaïque?

Définitions, classifications et normes d'agrivoltaïques

Diversité des agrivoltaïques



Définitions, classifications et normes d'agrivoltaïques

Diversité des agrivoltaïques



Définitions, classifications et normes d'agrivoltaïques

Diversité des agrivoltaïques



Définitions, classifications et normes d'agrivoltaïques

Diversité des agrivoltaïques



Définitions, classifications et normes d'agrivoltaïques

Diversité des agrivoltaïques



Définitions, classifications et normes d'agrivoltaïques

Diversité des agrivoltaïques



Définitions, classifications et normes d'agrivoltaïques

Diversité des agrivoltaïques

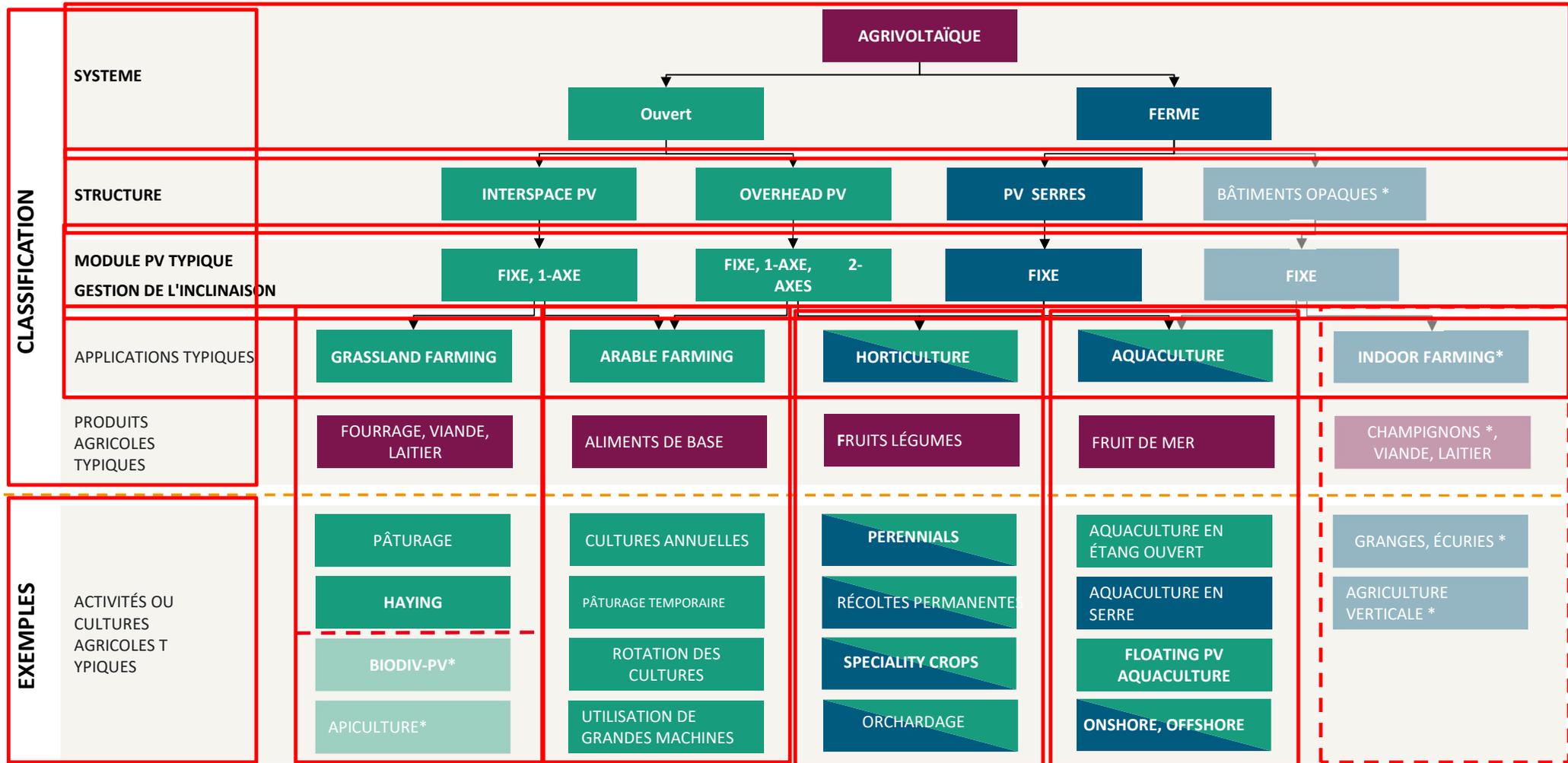


Définitions, classifications et normes d'agrivoltaïques

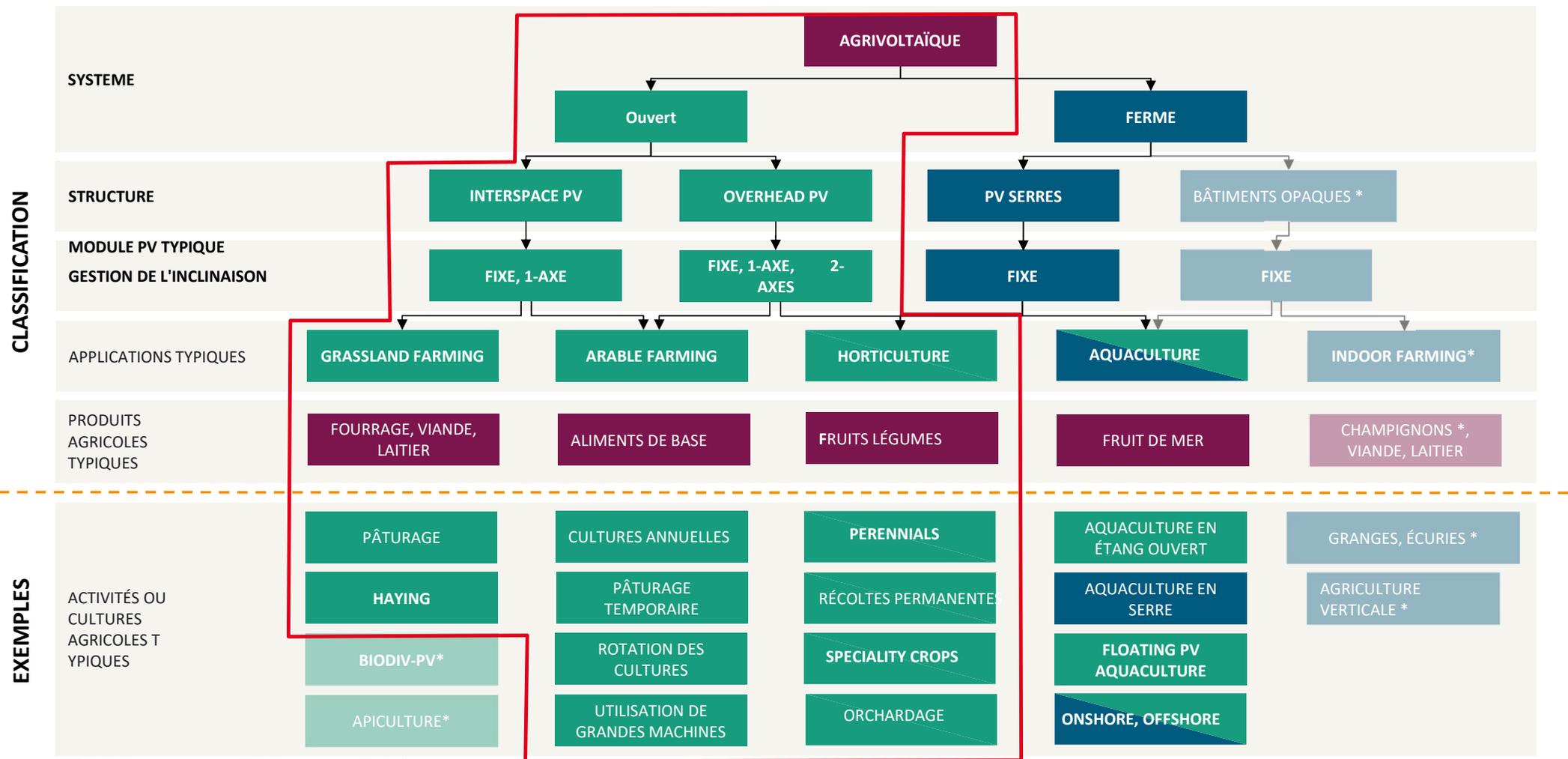
La photosynthèse comme critère d'agrivoltaïque

- Japon: le terme «partage solaire» suggère que la production agricole en agrivoltaïque repose sur une isolation solaire directe
- Fraunhofer ISE: «L'agrivoltaïque est une utilisation combinée d'une zone pour la production agricole (photosynthèse) et la production d'électricité PV (photovoltaïque).»

Classification des systèmes agrivoltaïques

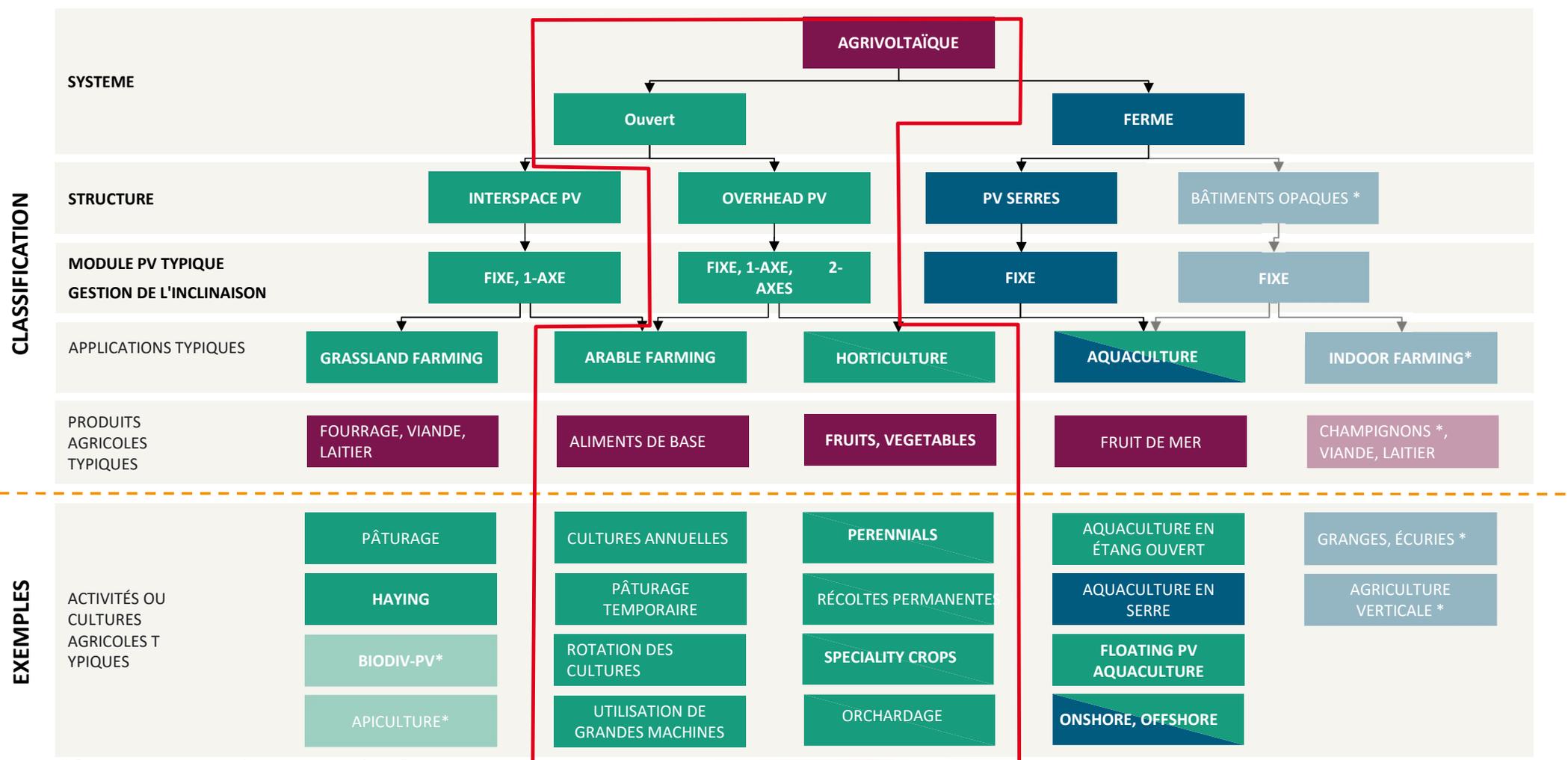


* TGénéralement non considéré comme agrivoltaïque



* Généralement non considéré comme agrivoltaïque

Classification étroite des Systèmes aériens ouverts sans aquaculture



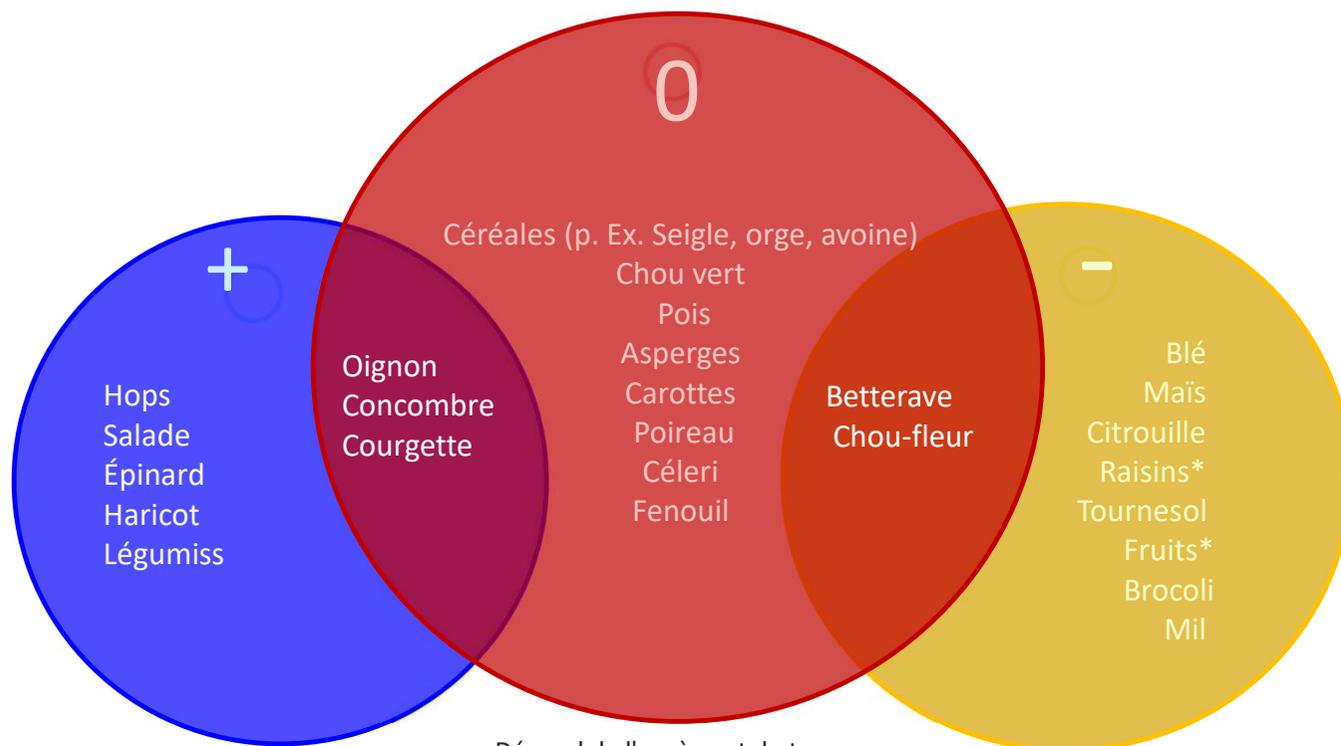
* Généralement non considéré comme agrivoltaïque

Agenda

- Introduction: Contexte, histoire et définition de l'agrivoltaïque
- **Résultats de R&D d'Allemagne et expériences du Japon**
- Nexus eau-énergie-nourriture et potentiel pour l'Afrique

Résultats de recherche d'Allemagne / APV-RESOLA

Tolérance à l'ombre: classification des cultures les plus importantes en Allemagne

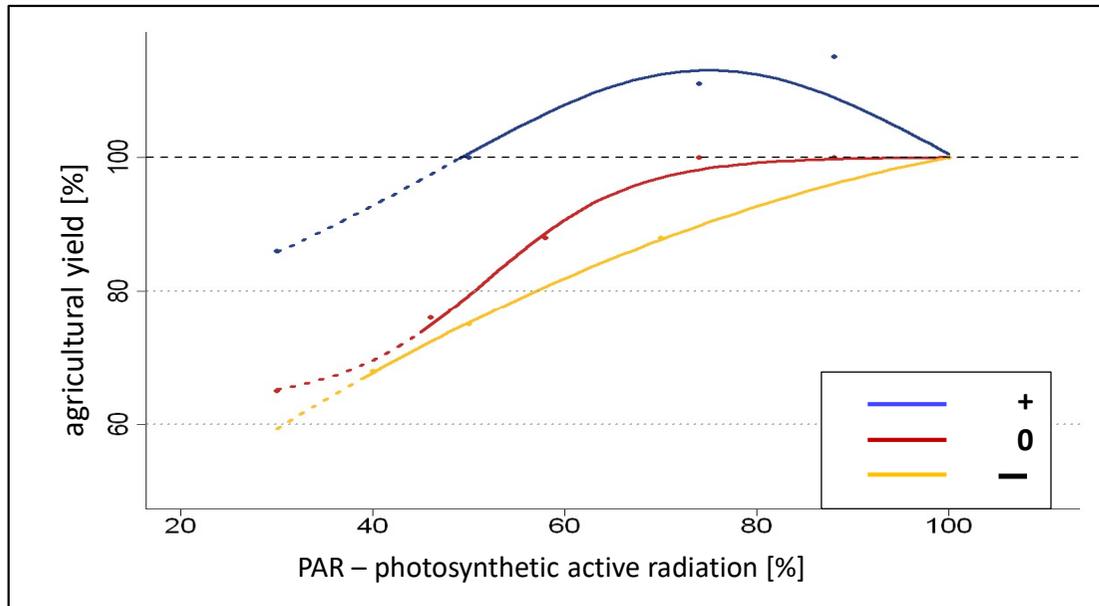


Source: Fraunhofer ISE

- Dépend de l'espèce et du type

Résultats de recherche d'Allemagne / APV-RESOLA

Sélection des «bonnes» cultures arables ou rotations des cultures



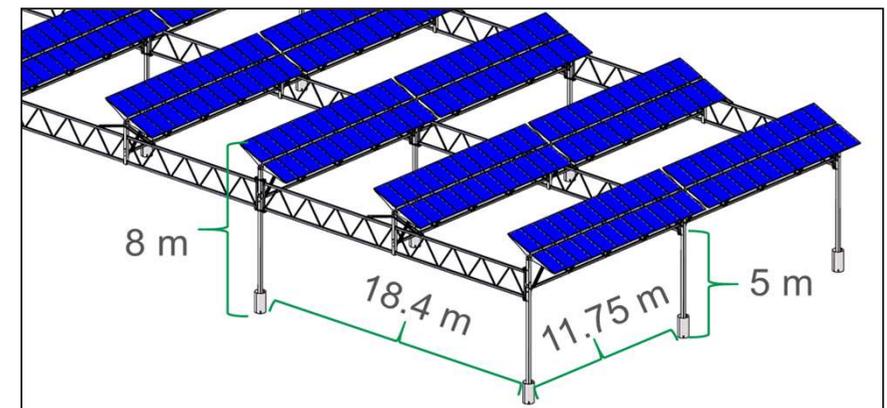
Kategorie	Referenzart
+	Berries, Leaf Vegetables
0	Rape & Barley, Potatoes
-	Corn

Source: Fraunhofer ISE

- Des cultures arables tolérantes à l'ombre existent
- De nombreuses cultures arables souffrent d'un rayonnement solaire élevé
- Augmentation du rendement et amélioration de la qualité grâce à l'ombrage possible
- Réduction des pénuries d'eau

Résultats de recherche d'Allemagne / APV-RESOLA Installation pilote de Heggelbach: faits et chiffres I

- Installé: 2016 à Heggelbach
- Région: Bodenseekreis
- Longueur: 136m
- Largeur: 25m
- Hauteur: 8m
- Superficie: ~ 1/3 ha
- Dégagement vertical: 5m
- Puissance installée: 194 kWc
- Cultures: trèfle, céleri, pommes de terre et blé d'hiver

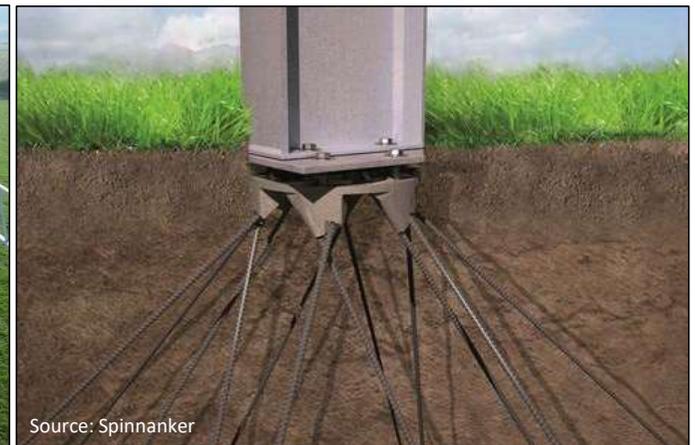


Source: Hilber Solar

Résultats de recherche d'Allemagne / APV-RESOLA

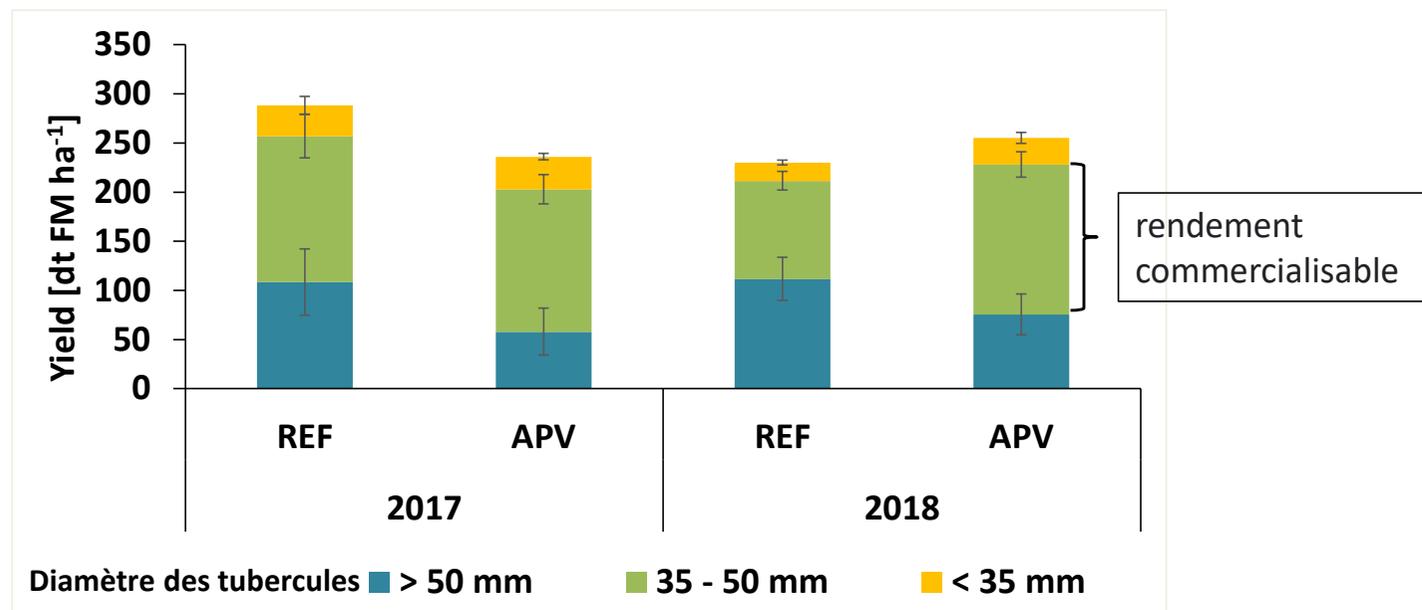
Installation pilote de Heggelbach: faits et chiffres II

- Gestion de la lumière
- Inclinaison fixe vers le sud-ouest
- Modules PV bifaciaux en verre / verre
- Surveillance du rendement
- Passage pour machines agricoles
- Distribution d'eau de pluie
- Fondements de Spinnanker
- Protection c
- Pas de clôture
- Conformité croisée: durabilité environnementale élevée



Résultats de recherche d'Allemagne / APV-RESOLA

Agriculture: exemple de pommes de terre



Source: Universität Hohenheim

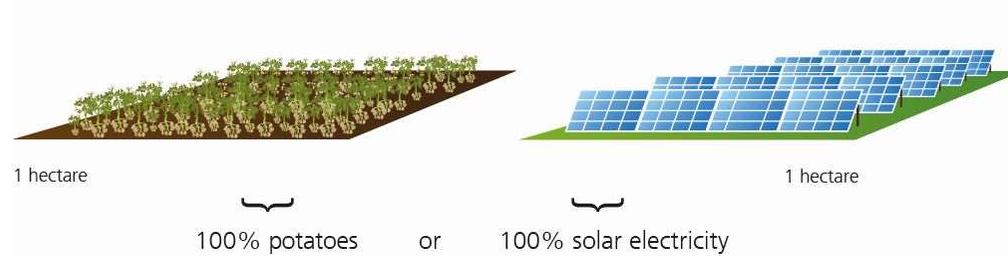
- 2017: Rendement sous agrivoltaïque réduit de 18%
- 2018: Rendement sous agrivoltaïque en hausse de 11%
- Part plus élevée de tubercules de diamètre 35 - 50 mm en agrivoltaïque dans les deux récoltes



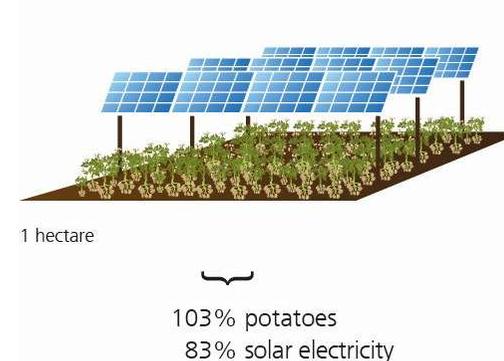
Résultats de recherche d'Allemagne / APV-RESOLA

LER: Rendement des pommes de terre 2018

Separate Land Use on 1 Hectare Cropland: 100% Potatoes or 100% Solar Electricity



Combined Land Use on 1 Hectare Cropland: 186% Land Use Efficiency



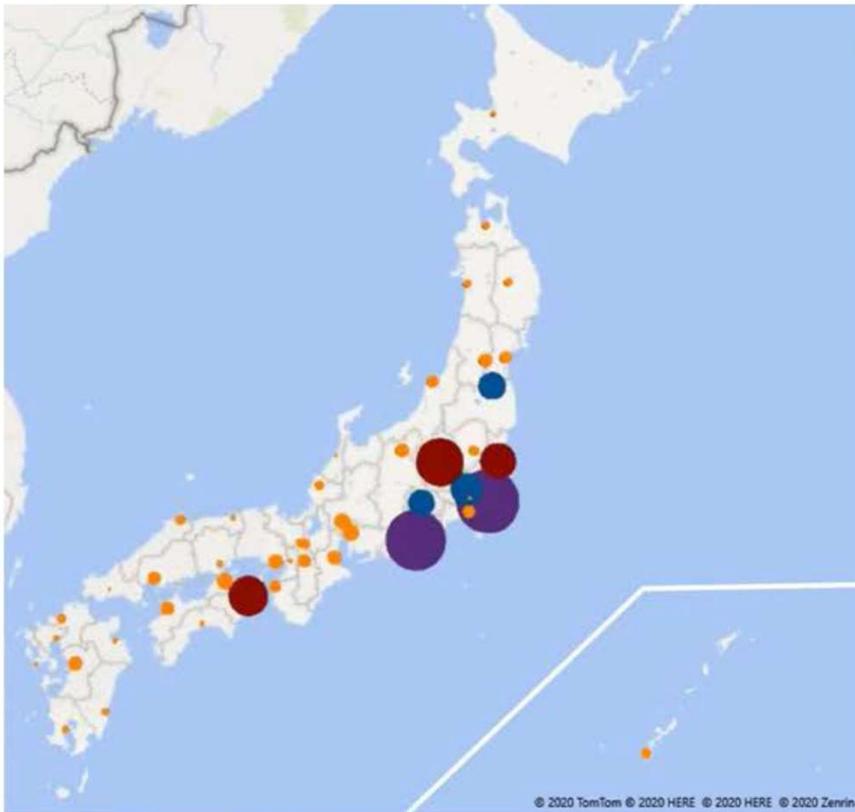
■ Culture: pommes de terre

$$\text{LER 2018} = \frac{255,26 \frac{dt}{ha} (duel)}{230,02 \frac{dt}{ha} (mono)} + \frac{249.857 \frac{kWh}{a} (duel)}{301.032 \frac{kWh}{a} (mono)} - 0,083 = 1,86$$

- Extension de la zone PV potentielle sans conflits d'utilisation des terres
- Amélioration de l'efficacité d'utilisation des sols entre 60 et 90% possible en Allemagne
- Grand potentiel dans les régions à rareté des terres et dans les zones climatiques arides / semi-arides

L'agrivoltaïque au Japon

Développement et distribution de systèmes agrivoltaïques (2019)



Over **1,992 farms** in all 47 prefectures but Toyama

	Prefecture	# farms
●	Chiba	298
	Shizuoka	264
●	Gunma	196
	Tokushima	131
	Ibaraki	111
●	Saitama	100
	Fukushima	75
	Yamanashi	67
●	38 other prefectures	< 50

Source: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, About the permission record to install agrivoltaic facilities (as of the end of March 2019), 2019.

L'agrivoltaïque au Japon

Principales cultures dans les systèmes agrivoltaïques

Agrivoltaic Crops						
Common name	<i>mioga</i> ginger	Japanese cleyera	paddy rice	shiitake mushroom	blueberry	<i>fuki</i> / butterbur
Scientific name	<i>Zingiber mioga</i> Rosc.	<i>Cleyera japonica</i>	<i>Oryza sativa</i>	<i>Lentinula edodes</i>	<i>Cyanococcus</i> spp.	<i>Petasites japonicus</i> (Siebold et Zucc.) Maxim.
No. of AV farms	65	41	35	31	20	18
Average shading rate (%)	60.2	65.9	35.1	73.4	35.9	(shade tolerant)
Crop conversion rate (%)	86	81	15	69	58	89

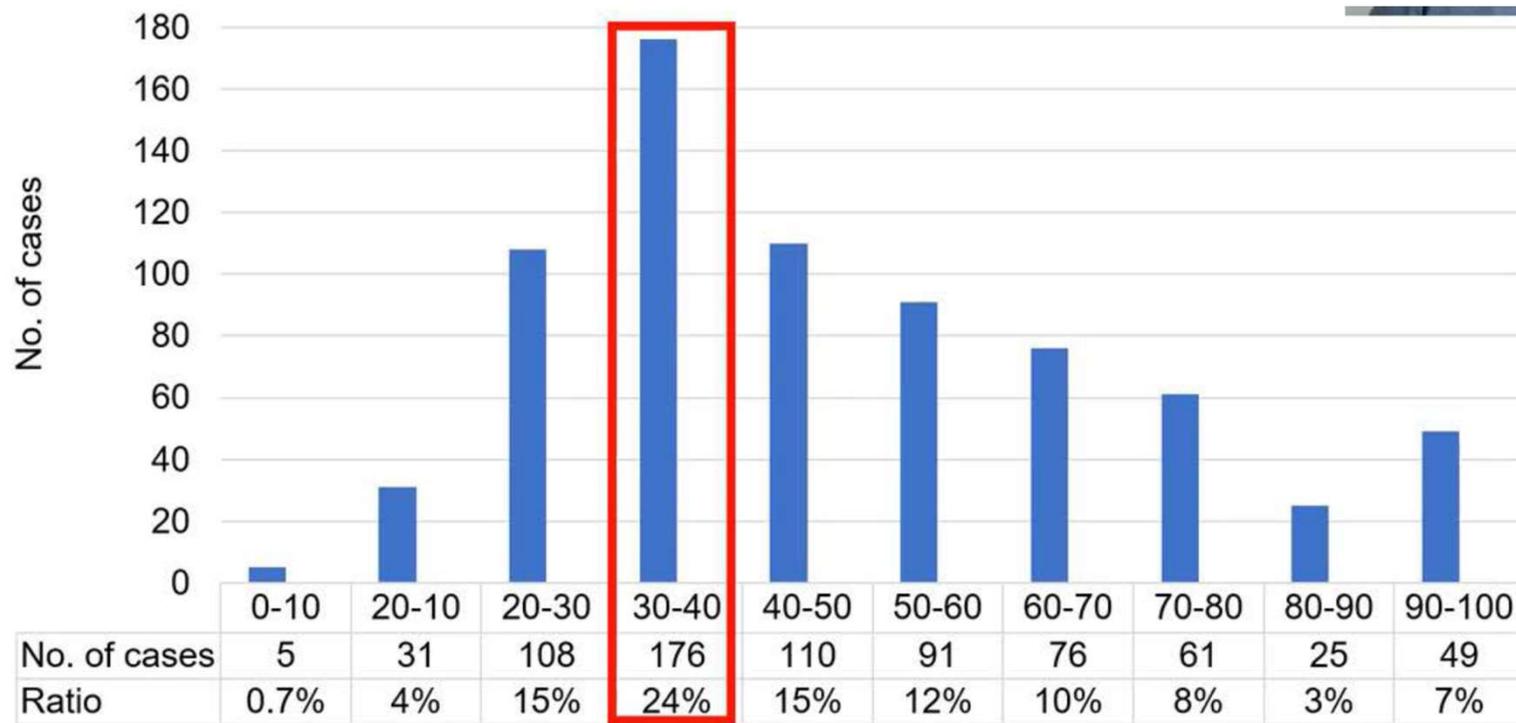
Source: Chiba University Kurasaka Laboratory and NPO Regional Sustainability Research Institute, Report on the results of nationwide survey on solar sharing, 2019.

H. Kurasaka, Journal of Japan Solar Energy Society 45 (6), 14-18 (2019).

Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Current status of agrivoltaic facilities, 2018.

L'agrivoltaïque au Japon

Principales cultures dans les systèmes agrivoltaïques



Source: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Current status of agrivoltaic facilities, 2018.

Agenda

- Introduction: Contexte, histoire et définition de l'agrivoltaïque
- Résultats de R&D d'Allemagne et expériences du Japon
- **Nexus eau-énergie-nourriture et potentiel pour l'Afrique**

Nexus eau-énergie-nourriture

Synergies et potentiels

Avantages les plus élevés dans les régions arides et semi-arides chaudes et ensoleillées

- Insolation élevée tout au long de l'année
- L'ombrage entraîne moins de besoins en eau pour les cultures, moins de stress thermique
- Amélioration des conditions de travail grâce à l'observation
- Mesure efficace contre la désertification



Nexus eau-énergie-nourriture

Synergies et potentiels

- ❑ Faible évaporation (environ 20%)
- ❑ Double utilisation de l'eau pour le nettoyage et l'irrigation des modules
- ❑ Intégration de dispositifs d'irrigation dans la sous-structure
- ❑ Disponibilité de l'électricité pour Pompes à eau (bonne adéquation entre la production et la consommation)

Dessalement / traitement de l'eau

- ❑ Récolte des eaux pluviales
- ❑ Revégétalisation du désert



Nexus nourriture-énergie-eau

Une troisième récolte: l'eau de pluie

Concept

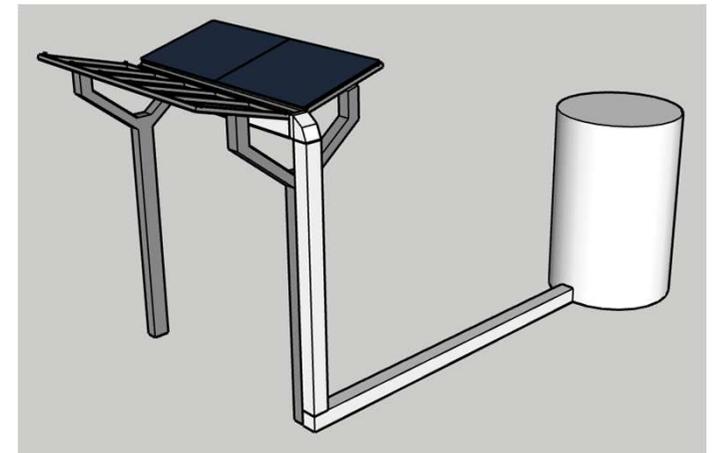
Récupération des eaux pluviales (RWH) intégrées dans la structure de montage agrivoltaïque

Recherche

Simulations - capacité de récupération des eaux pluviales, effet de la conception en forme de V sur le rendement électrique et l'irradiation solaire sous les modules PV

Résultats et avantages

- Des modules photovoltaïques opposés peuvent entraîner une plus grande quantité d'eau de pluie collectée
- La forme en V a un impact minimal sur le rendement électrique, en particulier dans les zones équatoriales
- Faible impact sur la transmission de la lumière aux cultures
- Économies de coûts de matériaux



Conceptual design of rainwater harvesting APV with storage

Nexus nourriture-énergie-eau

Potentiel de RWH: étude de cas en Inde



Précipitations historiques
Akola/Maharashtra

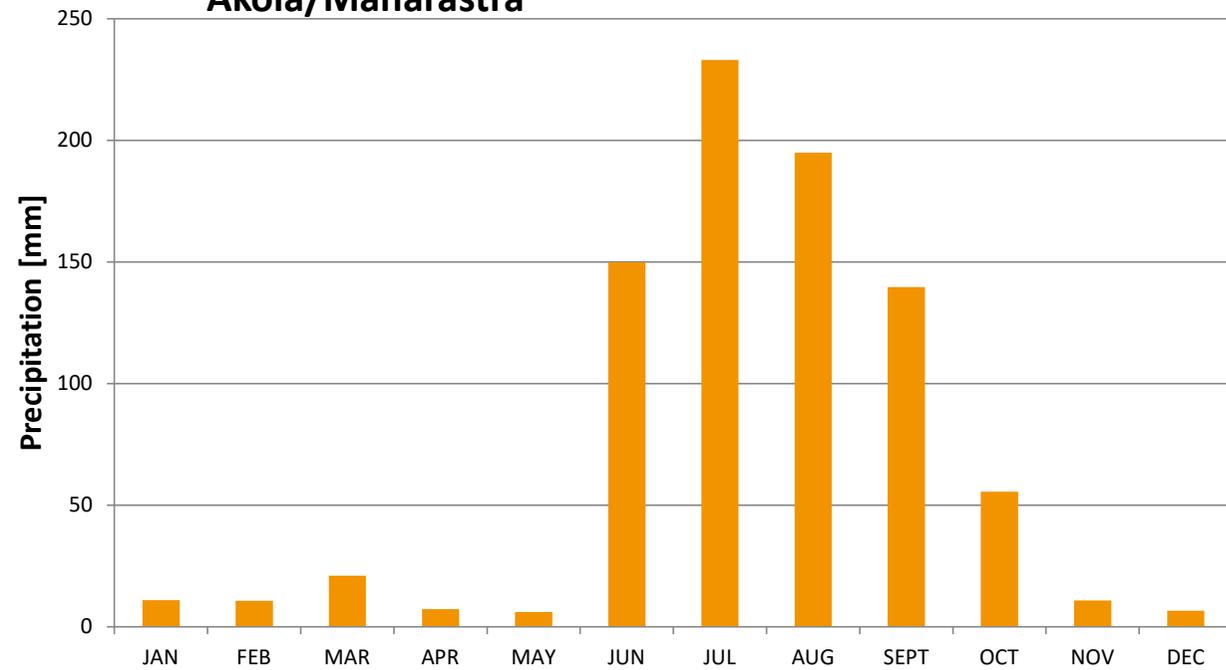


Illustration: Fraunhofer ISE

Nexus eau-énergie-nourriture

Potentiel de RWH: étude de cas en Inde

Redistribution of available rainwater via water storage

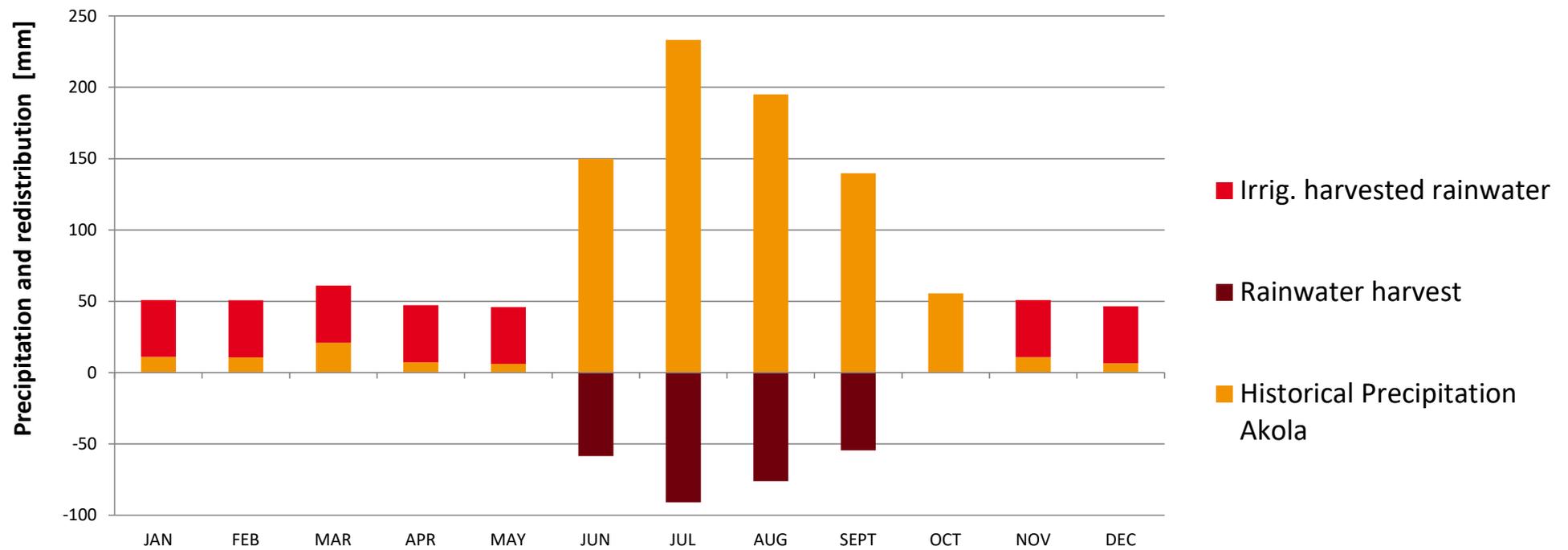
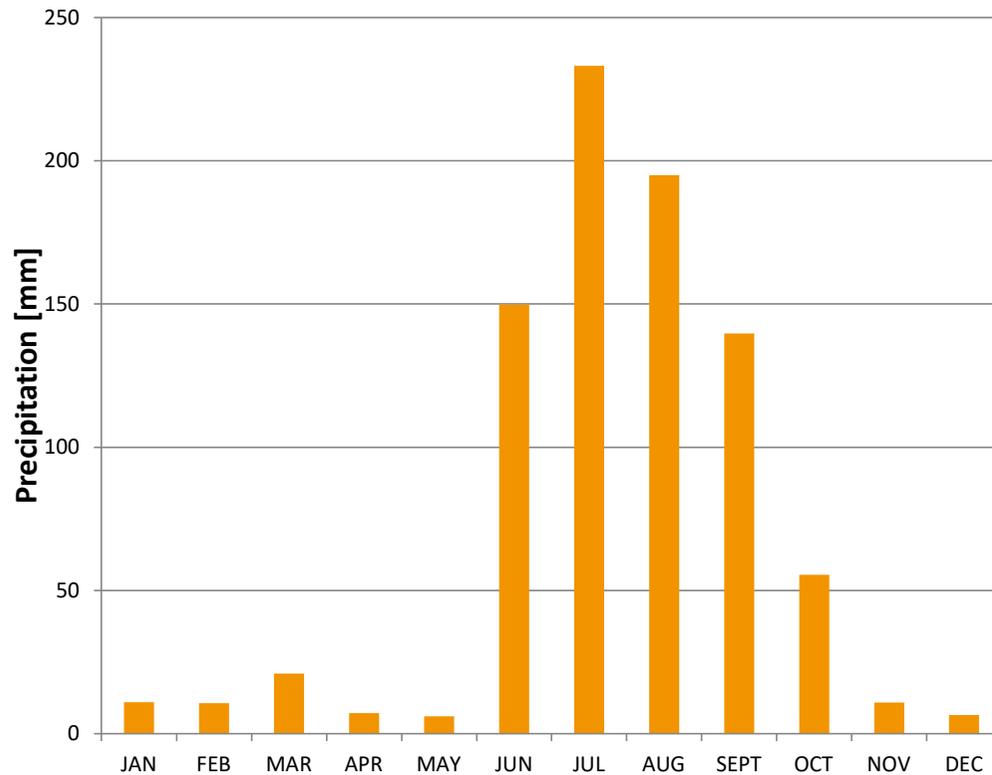


Illustration: Fraunhofer ISE

Nexus eau-énergie-nourriture

Potentiel de RWH: étude de cas en Inde

Précipitations historiques



Précipitations «disponibles» (sans tenir compte des pertes)

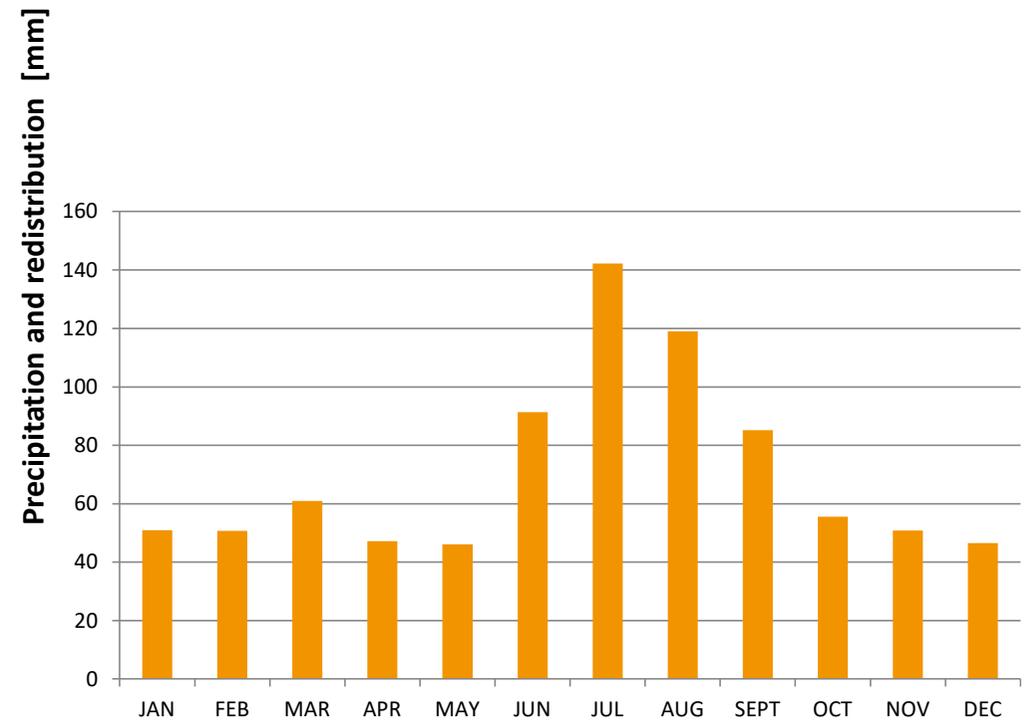
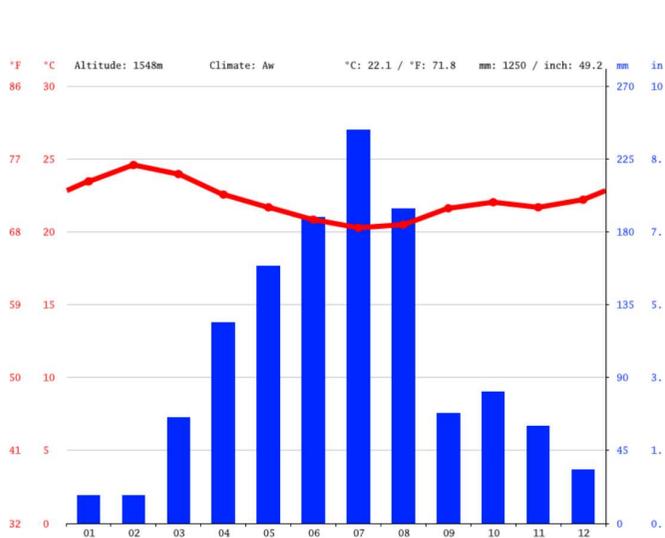


Illustration: Fraunhofer ISE

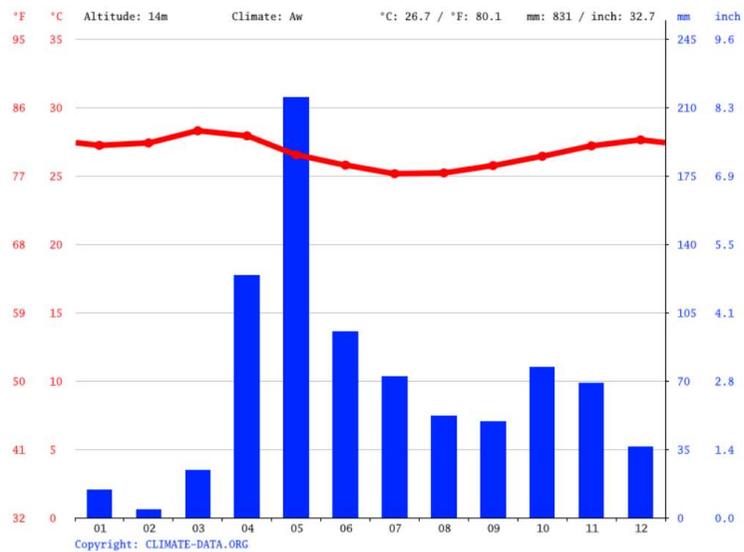
Nexus eau-énergie-nourriture

Modèles de précipitations historiques en Afrique de l'Est

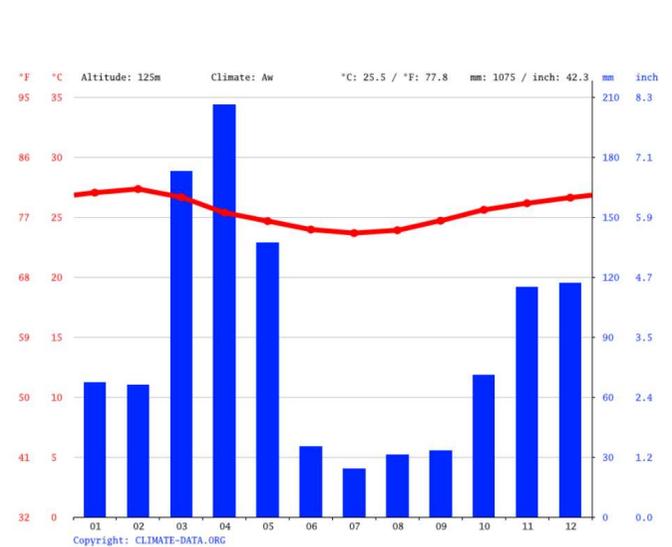
Kaabong, Nord de l'Ouganda



Shela, Est du Kenya



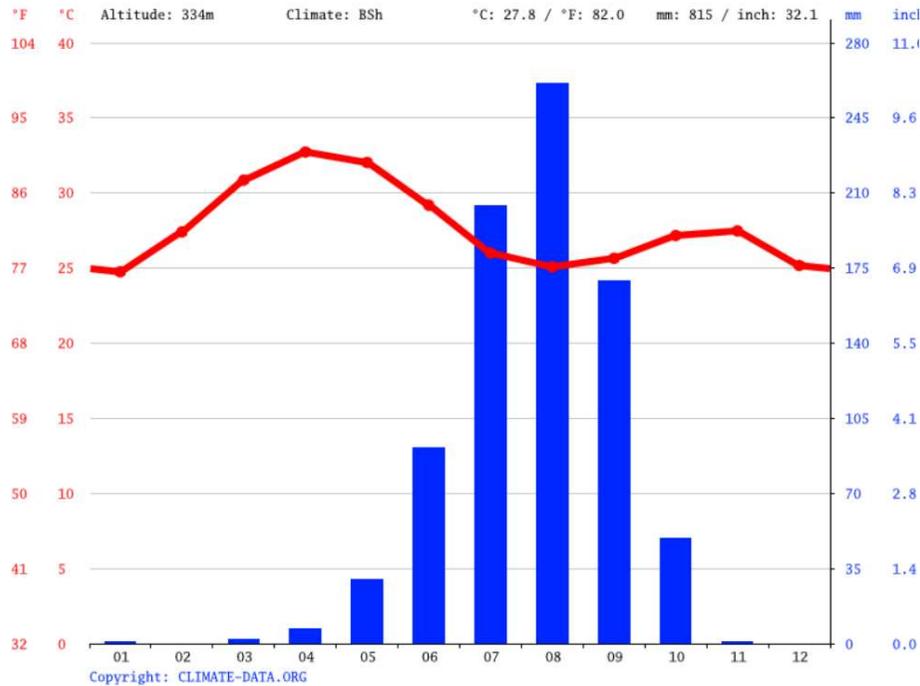
Kibaha, Est de la Tanzanie



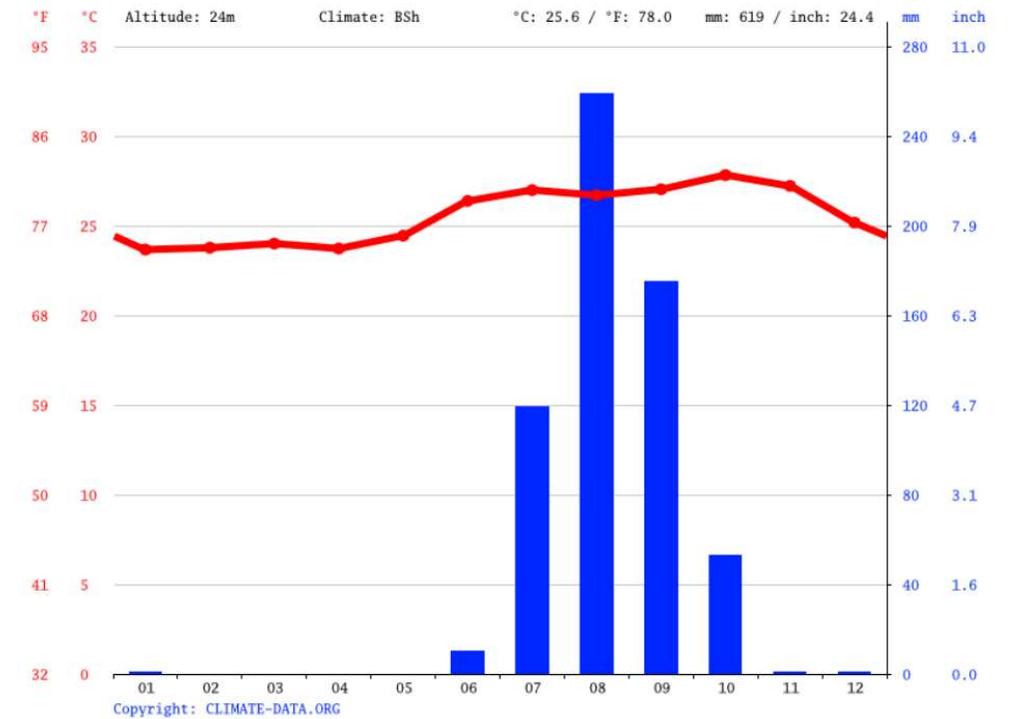
Nexus eau-énergie-nourriture

Modèles de précipitations historiques en Afrique de l'Ouest

Bamako, Mali



Sukuta, Gambie



WATERMED4.0 Contexte

- Durée: juin 2019 - mai 2022
- Autorités / sponsors: programme PRIMA (Partenariat pour la recherche et l'innovation dans la région méditerranéenne) soutenu dans le cadre d'Horizon 2020, le programme-cadre de l'Union européenne pour la recherche et l'innovation.
- Partenaires du projet: Université de Murcie; Conseil central des utilisateurs du bassin de Vinalopó, Alacantí et consortium de l'eau de Low Marina; Agence nationale espagnole de recherche CEBAS –CSIC; Université d'Oran1, Ahmed Ben Bella. Laboratoire LAPECI; Université de Djilali Bounaama Khemis Miliana. Laboratoire de recherche sur la production agricole et le développement durable des ressources naturelles; Arvum Agriculture & Technological Services S.L .; Institut turc de l'eau SUEN

WATERMED 4.0 - Utilisation et gestion efficaces des ressources en eau conventionnelles et non conventionnelles grâce à des technologies intelligentes appliquées pour améliorer la qualité et la sécurité de l'agriculture méditerranéenne dans les zones semi-arides

■ **Objectifs globaux du pilote**

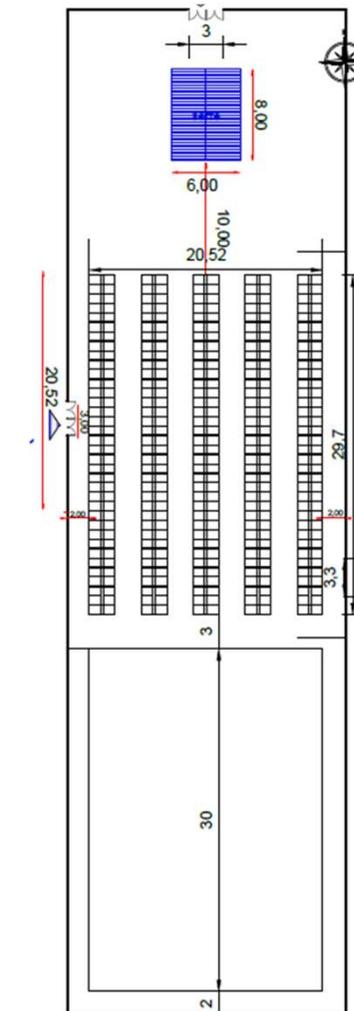
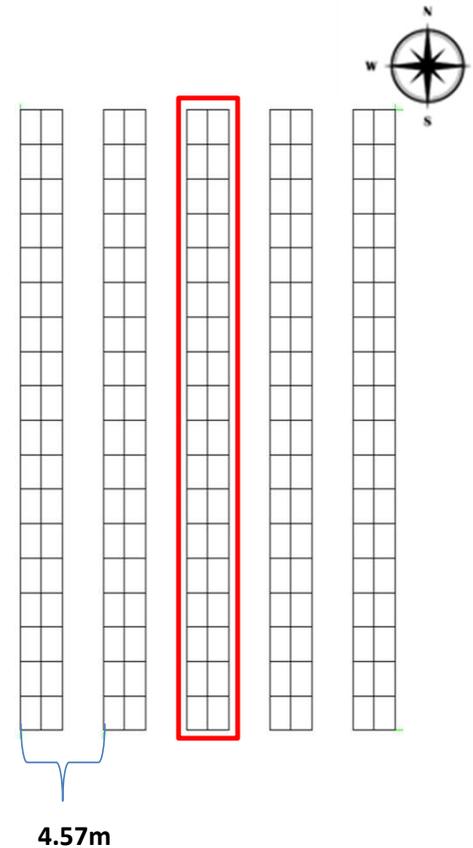
- Mettre en place un système de surveillance des utilisations de l'eau de faible qualité (eaux souterraines à haute salinité) et l'application de pratiques d'irrigation modernes pour économiser l'eau et les nutriments.
- Augmenter la productivité des cultures > 25% en contrôlant la quantité de nutriments et d'engrais.
- Améliorer la qualité des sols et les effets environnementaux d'une gestion plus efficace de l'eau en agriculture, y compris les eaux usées traitées.
- Assurer la faisabilité réglementaire (études organoleptiques et sanitaires) en vue d'obtenir des données de dimensionnement technico-économique afin de permettre le transfert de technologie vers les utilisateurs finaux et les professionnels.
- Analyser le potentiel des applications agrivoltaïques en ce qui concerne: fournir de l'énergie aux zones isolées et réduire les besoins d'irrigation grâce à l'observation et à tester les possibilités d'intégrer des systèmes d'irrigation intelligents dans la structure de montage du système APV.
- Contribuer à la sensibilisation du public à l'utilisation des eaux usées appliquées à l'agriculture.

- **Objectifs spécifiques de l'agrivoltaïque**
- Analyser le potentiel des applications agrivoltaïques
- Analyser le potentiel des applications agrivoltaïques en ce qui concerne la réduction des besoins d'irrigation, la croissance des cultures, les opportunités d'intégrer des systèmes d'irrigation intelligents et la fourniture d'énergie dans les zones reculées.
- 1) Réduire les besoins d'irrigation grâce à l'ombrage;
- 2) Intégration de systèmes d'irrigation intelligents dans la structure de montage de l'installation agrivoltaïque;
- 3) Fourniture d'énergie aux zones isolées.

Disposition du système

- Le système a été installé avec les spécifications suivantes

AgriPV system parameters	Caracteristics
Module length	1.65m
Module width	1m
Module area	1.65m ²
Modules per string	18
Total number of strings	10
Total modules	180**
Total module surface area	297m ²
Total module area E facing modules (90° azimuth)	148.50m ²
Total module area W facing modules (270° azimuth)	148.5m
Table height (from ground to the lowest part of module)	2.5
Module tilt angle	15°
Pitch distance (distance between rows)	4.57m
Module orientation (north=0°, east=90°, south=180°, west=270°)	EW
Field area	604.098m ²



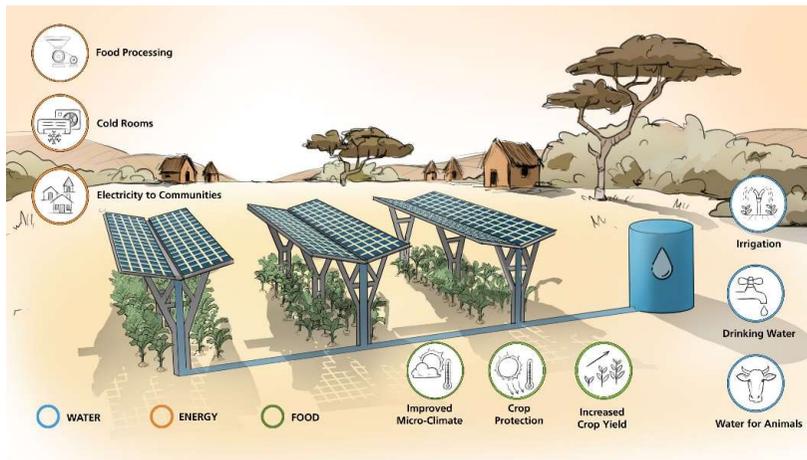
Installation



Régulateur PV, onduleur et batteries

Source	Type	Number	Rating
Solar PV array	Mono-facial Polycrystalline (mSi) Si 275W	36 (2strings of 18 modules)	9,9 kWp
Battery bank	Gel	04	Battery of 400Ah, 12V
Battery Controller	With MPPT controller	01	48V
DC-AC Inverter	Single phase	01	48V/230V
Pump	Pump HP	01	4kW

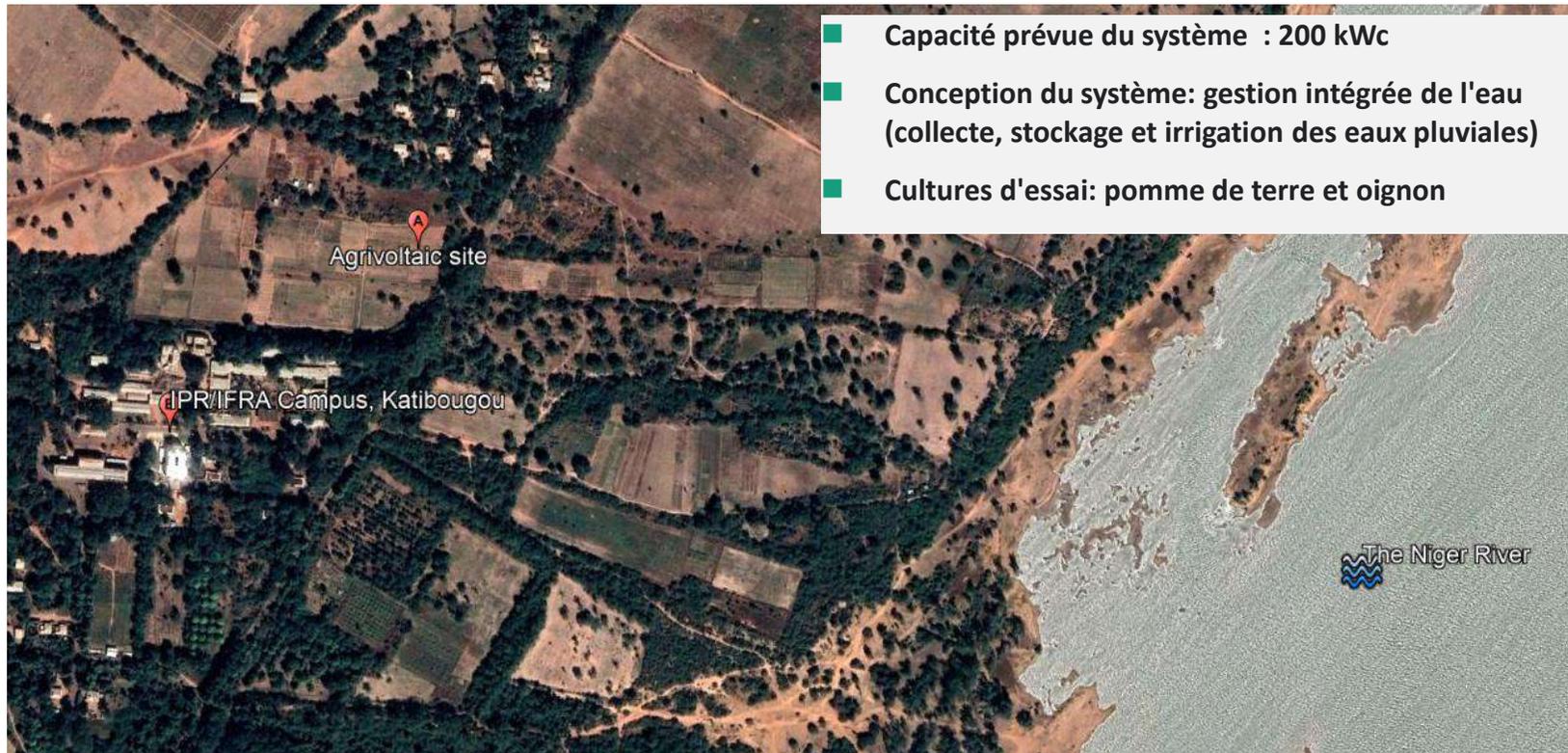
Agrophotovoltaïque pour le Mali et la Gambie: Production d'électricité durable par des systèmes intégrés d'alimentation, d'énergie et d'eau (APV-MaGa)



- Durée: 08/2020 - 07/2023
- Autorité contractante / sponsors:
 - “CLIENT II – Internationale Partnerschaften für nachhaltige Innovationen”; im Rahmenprogramm “Forschung für Nachhaltige Entwicklung (FONA3)” Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)
- 15 partenaires (y compris les partenaires associés)
- Cinq démonstrateurs agrivoltaïques prévus
- Un au Mali
- Quatre en Gambie
- Rechercher la viabilité technique et économique d'un système intégré de triple utilisation des terres

Statut

- Lieu: Katibougou, Mali



Statut

■ Lieu : Gambie

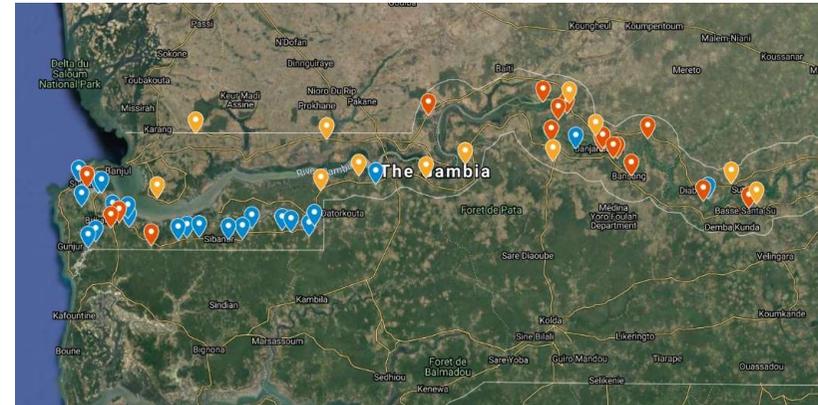


Statut

- Visite du site prévue fin mai pour collecter les données, évaluer le site proposé et confirmer l'emplacement exact
- Petit atelier à organiser avec les partenaires maliens
- Réunion de lancement et atelier prévus - dès que possible

Gambie

- 3 sites restants à identifier
- Liste restreinte de 36 sites potentiels présélectionnés par un partenaire local



- Liste restreinte de 10 sites suggérés
- Visite de site prévue en juin pour évaluer la faisabilité agrivoltaïque des 10 sites, visiter les campus de l'Université de Gambie et organiser un atelier avec les partenaires du projet

Merci beaucoup pour votre attention!



Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE

Max Trommsdorff

www.ise.fraunhofer.com

maximilian.trommsdorff@ise.fraunhofer.de