Agri-photovoltaïsme : état de l’art et perspectives de recherche

Stéphanie Mahieu

Chargée de mission
Pôle national Recherche, Innovation et Enseignement sur l’Agri-photovoltaïsme
INRAE, URP3F

Stephanie.mahieu@inrae.fr
PNR-AgriPV@inrae.fr

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

INRAE

L'agri-photovoltaïsme : du concept à un déploiement mondial

l'AIE: il faut d'ici à 2030 x 7 nos performances actuelles en solaire photovoltaïque pour parvenir à terme à la neutralité carbone

1980 **2000** **2020** **2050**

Neutralité carbone

2017 La France devient le 1er pays européen à soutenir les recherches sur l'agriPV

1982
Naissance du concept

Adolf Goetzberger

On the Coexistence of Solar-Energy Conversion and Plant Cultivation

A. GOETZBERGER and A. ZASTROW

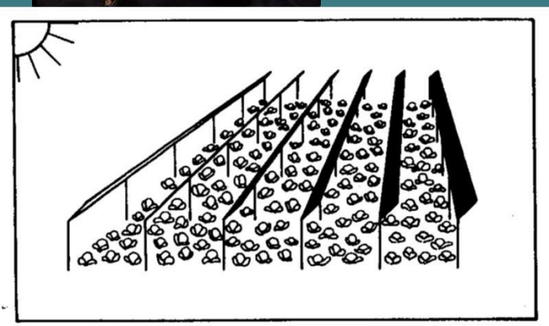


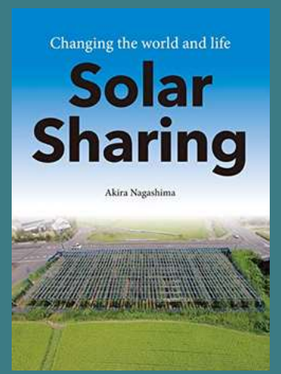
FIGURE 1 Model sketch of elevated collector field.

Int. J. Solar Energy, 1982, Vol. 1, pp. 55–69
0142–5919/82/0101–0055$06.50/0
© 1982 Harwood Academic Publishers GmbH
Printed in Great Britain

1992
Premier parc PV en France

1993
Programme de recherche de **l'Agence Internationale de l'Energie (AIE)** sur les systèmes de production d'électricité photovoltaïque (**PVPS**)

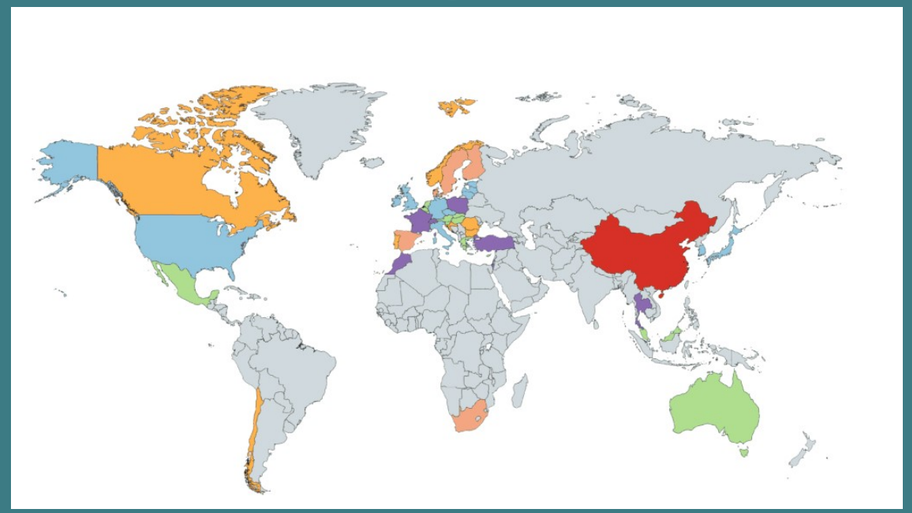
2004
Premier système pilote mis en place au **japon** par **Akira Nagashima**



2009
Début des recherches en France INRAE- Sun'Agri
Thèse de **Hélène Marrou**

2014
Début du déploiement en chine

2023
- Adoption de la loi d'accélération de la production d'EnR: 1ère définition officielle de l'Agrivoltaïsme
- Création du PNR agriPV INRAE



Depuis 2012
Mission offcielle du programme PVPS de l'AIE

"Améliorer les efforts coopératifs au niveau international afin de faciliter le rôle de l'électricité photovoltaïque en tant que pierre angulaire d'une transition énergétique durable."

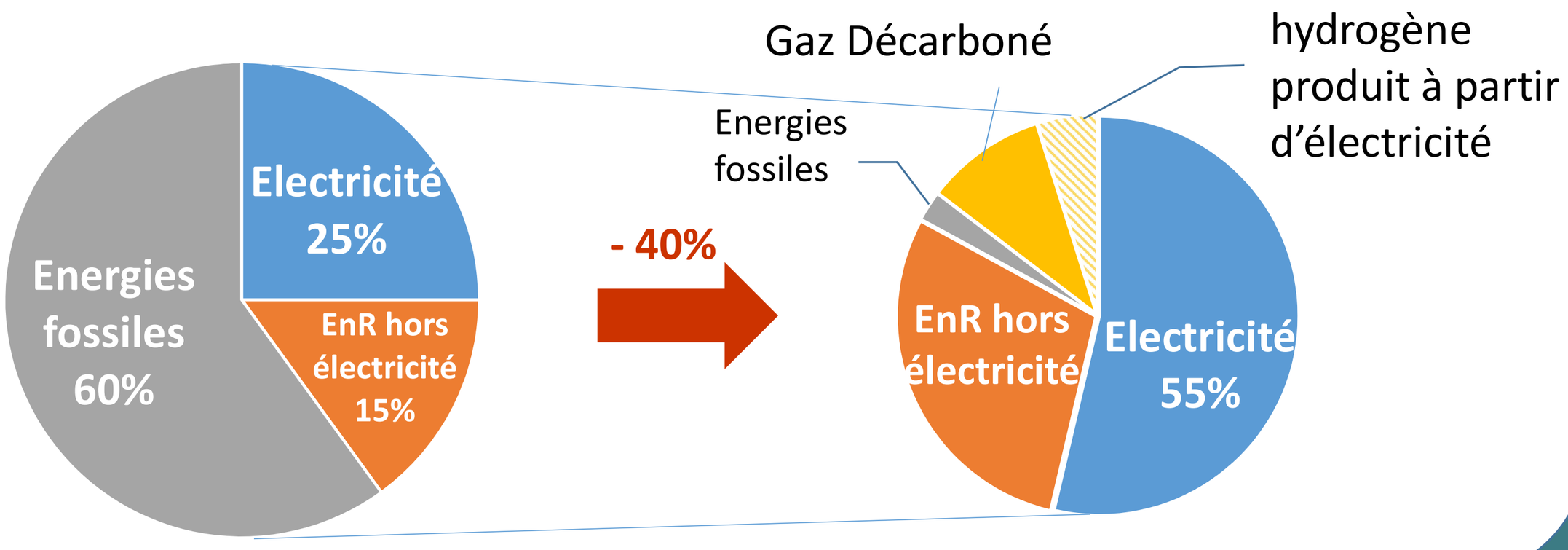
Aujourd'hui le programme PVPS associe 32 membres

Les objectifs de la transition énergétique pour la France

Feuille de route › Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)

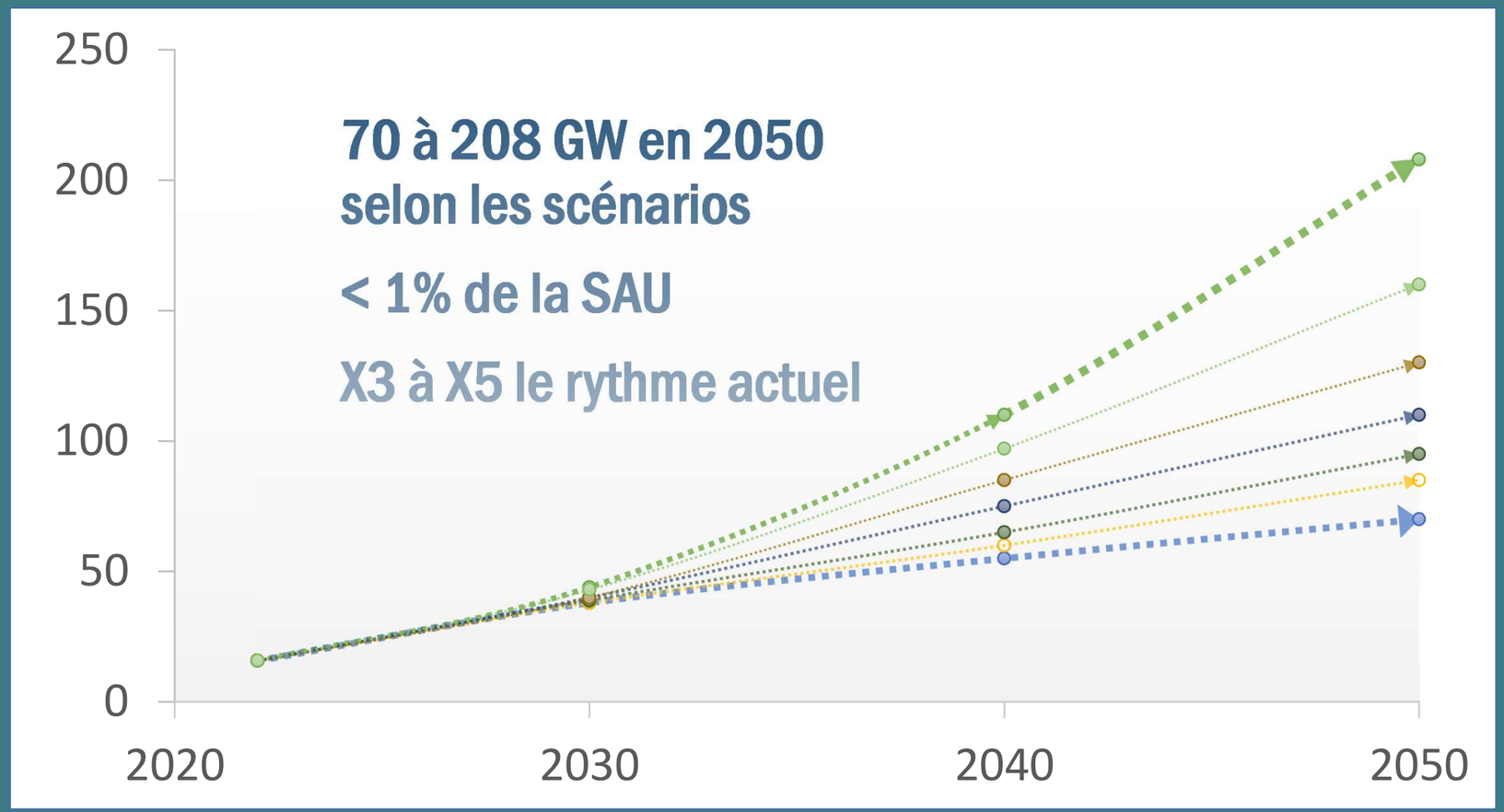
Aujourd'hui
1600 TWh

2050
930 TWh



Source: RTE

Scénarios d'évolution de la capacité installée en photovoltaïque à l'horizon 2050



La PPE ne pourra pas se faire sans une contribution des terres agricoles

Le défi

- Produire « en même temps » plus de nourriture et de l’énergie sur les terres agricoles
- 9,1 milliards de personnes à nourrir en 2050 : impératif d’augmenter la production agricole de 56% entre 2010 et 2050
- Dans un contexte de changement climatique

Le photovoltaïque : une source efficiente d'énergie

1 ha de blé → éthanol → moteur thermique → **22500 km**

1 ha de colza → diester → moteur diesel → **21500 km**

1 ha de PV → électricité → moteur électrique → **3 000 000 km**

x 137

Source: C. Dupraz INRAE

L’Agri-photovoltaïsme: un outil au service de la production agricole

- **loi n° 2023-175 relative à l'accélération de la production d'énergies renouvelables**

Art. L. 314-36. Une installation agrivoltaïque est une installation de production d’électricité utilisant l’énergie radiative du soleil et dont les modules sont situés sur une parcelle agricole où ils **contribuent durablement à l’installation, au maintien ou au développement d’une production agricole**.

- **Fournir directement à l’échelle de la parcelle agricole au moins un des services parmi:**
  - ✓ **L’amélioration du potentiel et de l’impact agronomique,**
  - ✓ **L’adaptation au changement climatique,**
  - ✓ **La protection contre les aléas,**
  - ✓ **L’amélioration du bien-être animal.**

L'ombrage pour protéger les cultures et les élevages

Christian Dupraz

› Agroforesterie

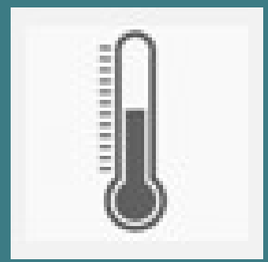
› Agrivoltaïsme

© INRAE - C. Dupraz

© Enoé

Modifications du microclimat

Des impacts multiples sur le microclimat

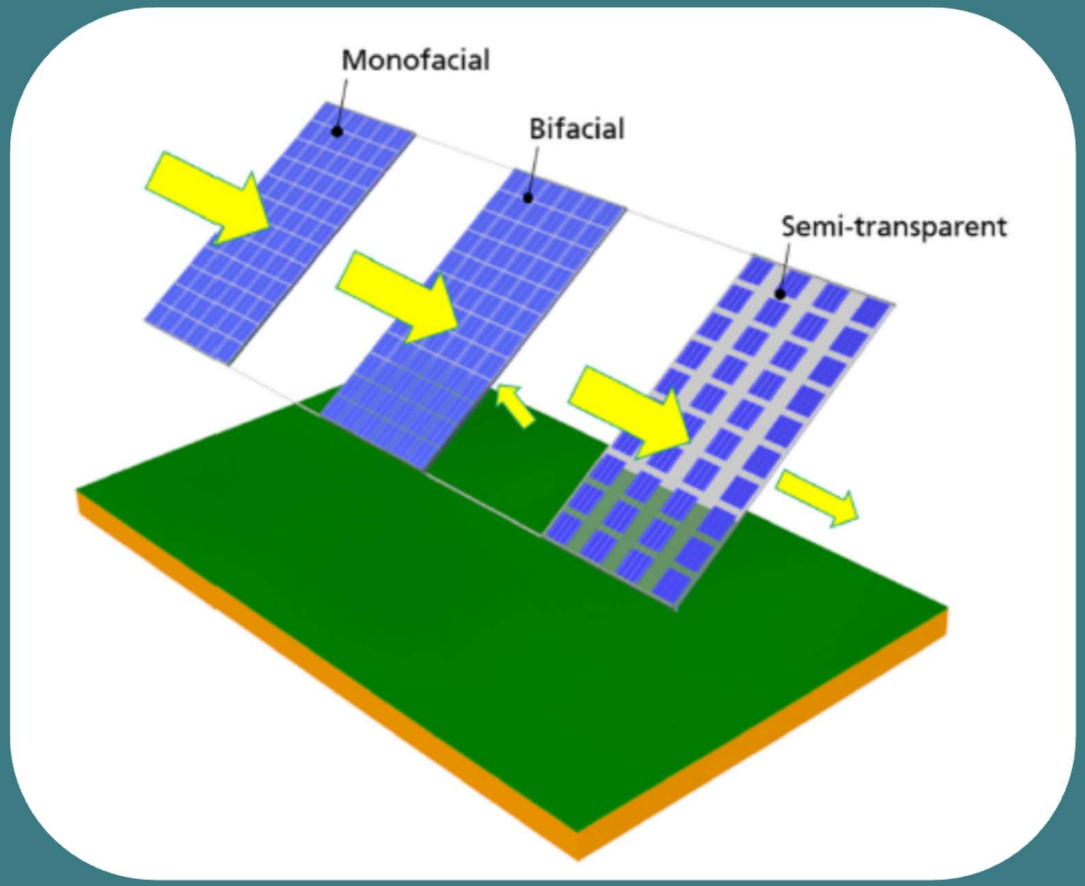


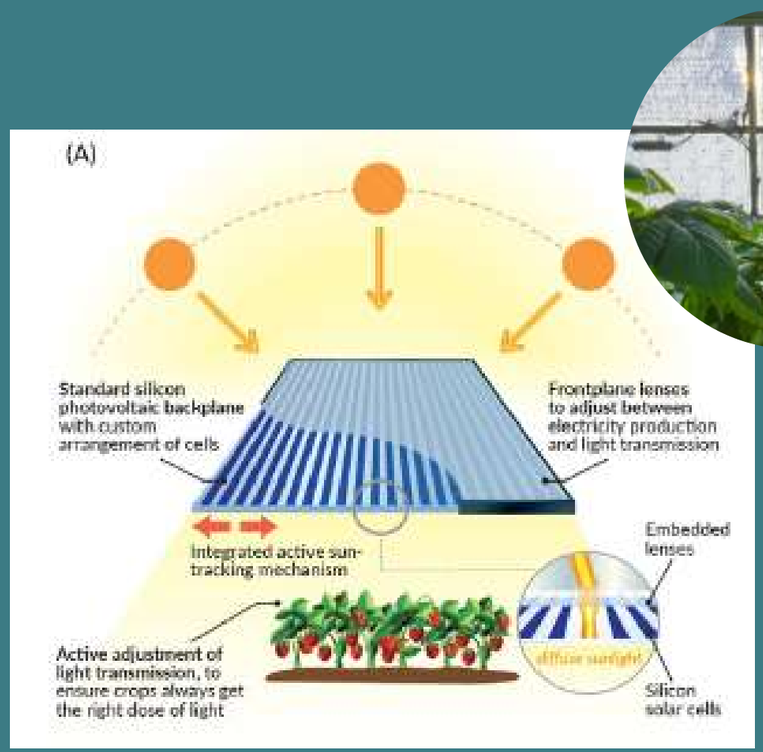
- ✓ **Rayonnement**
- ✓ **Vent**
- ✓ **Températures**

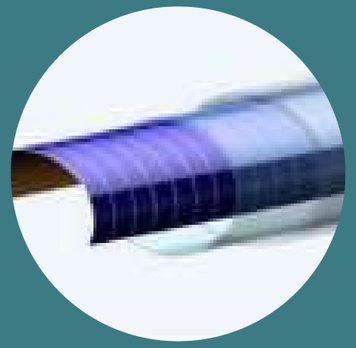
- ✓ **Evapotranspiration**
- ✓ **Précipitations**
- ✓ **Etat hydrique du sol**

Une grande diversité de structures

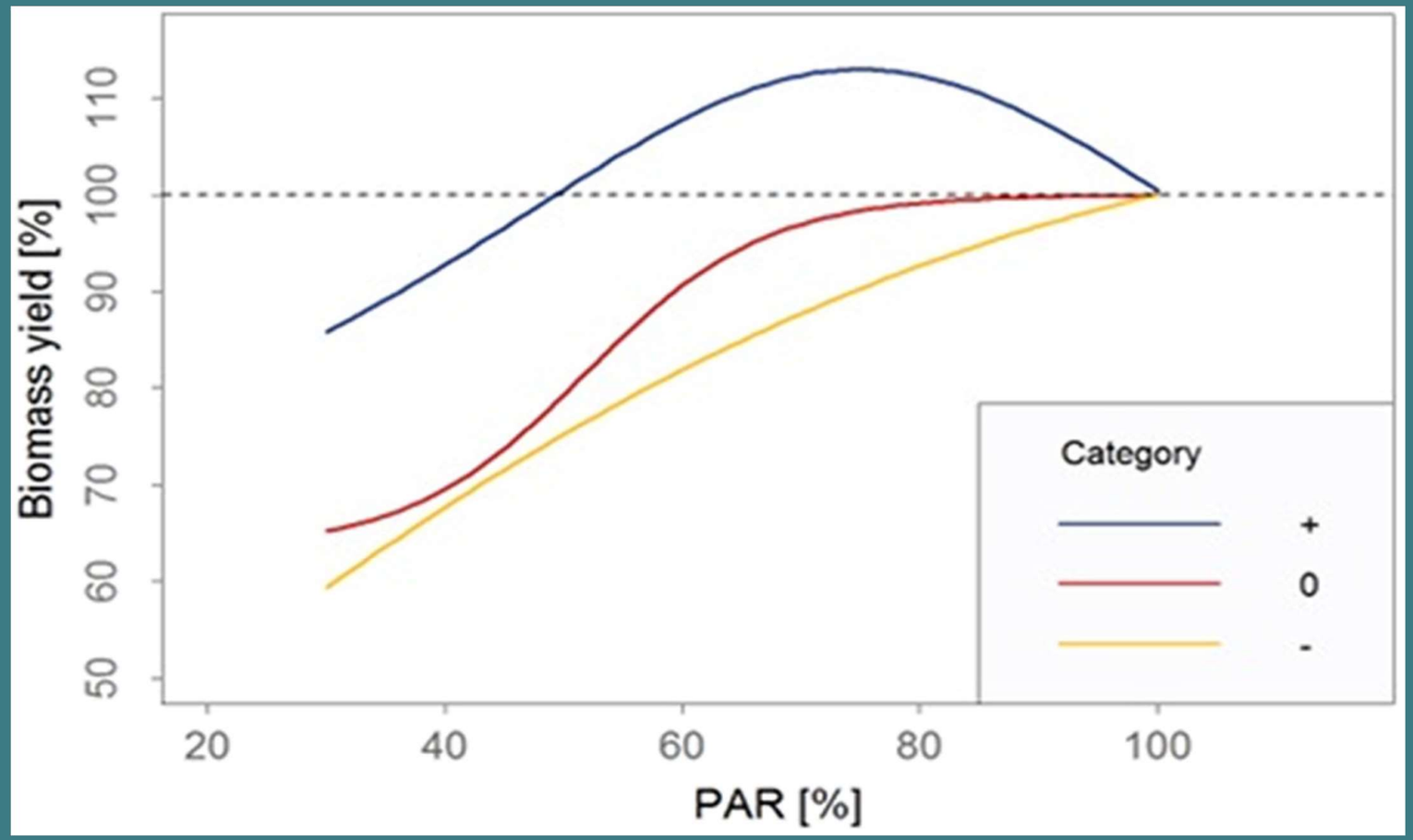
Un foisonnement de nouvelles technologies de panneaux photovoltaïques







Impact de l'ombre sur les cultures



(Beck et al., 2012)

L’agri-photovoltaïsme: quels enjeux pour les cultures?

Gel

Coups de soleil

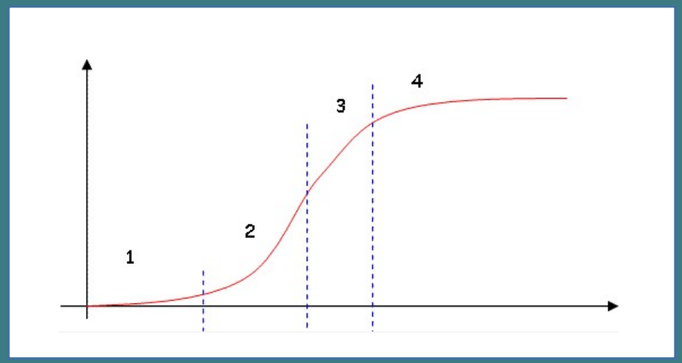
Maladies et ravageurs

Grêle/ intempéries

sécheresses

Qualité / goût

Grandes cultures



- ✓ Effets positifs démontrés sur maïs et blé sous certaines conditions
- ✓ Des essais en cours sur de nombreuses cultures

Arboriculture

Intérêt de l’agrivoltaïsme dynamique

- ✓ Apporter de l’ombrage selon les besoins de la plante
- ✓ Préserver la qualité nutritive et les rendements

Viticulture

- ✓ **Protection contre les extrêmes climatiques**

- ↘ **Stress hydrique**
- ↘ **Stress thermique**

Exemple de la luzerne en agrivoltaïsme

Année	Printemps	Été	Année
2020	- 52%	+ 52%	- 21%
2021	+ 31%	+ 48%	+ 40%

- ✓ **Variations en fonction des années climatiques**
- ✓ **Préservation des qualités nutritionnelles**

Thèse de Sylvain Edouard (2019-2022)

Les enjeux pour l'élevage

- Santé
- Bien être
- Alimentation
- Productions : qualité et quantité
- Economiques et sociaux

Elevage ovin

- ✓ **Reproduction**
- ✓ **Abreuvement**
- ✓ **Production de poids vif**

- ✓ **Chargement**
- ✓ **Allongement de la durée de pâturage**
- ✓ **Qualité fourragère**

Elevage bovin

- ✓ Température corporelle
- ✓ Fréquence respiratoire
- ✓ Qualité et quantité des productions

Points de vigilances:

- Bruit

- Champs magnétiques

Elevage avicole

- ✓ **Abreuvage**
- ✓ **Exploration du parcours**
- ✓ **Protection contre les prédateurs**

Pisciculture

- ✓ **Température et oxygénation de l'eau**
- ✓ **Développement des algues**
- ✓ **Protection contre les prédateurs**

Des recherches pour adapter les agroéquipements

Des recherches à mener

- ✓ **Nécessité de conduire des expérimentations dans différents contextes pédoclimatiques**
- ✓ **Sélectionner les espèces et les variétés adaptées à l'ombrage**
- ✓ **Optimiser la gestion de l'eau dans les systèmes agriPV**
- ✓ **Etudier les impacts sur:**
  - **La santé et le bien être des animaux**
  - **les maladies,**
  - **la qualité des sols,**
  - **La biodiversité**
- ✓ **Etudier les impacts économiques et sociaux**
- ✓ **Mener des recherches sur le long terme**
- ✓ **Adapter les agroéquipements**
- ✓ **Identifier des indicateurs de performance**
- ✓ **Monter en compétences => concevoir des systèmes idéalement adaptés aux élevages et aux cultures**

Un Pôle National Recherche, Innovation, Enseignement sur l'Agri-Photovoltaïsme

Développer des systèmes agri-photovoltaïques durables et performants dans des délais réduits

Monter en compétences

Centraliser et partager les données

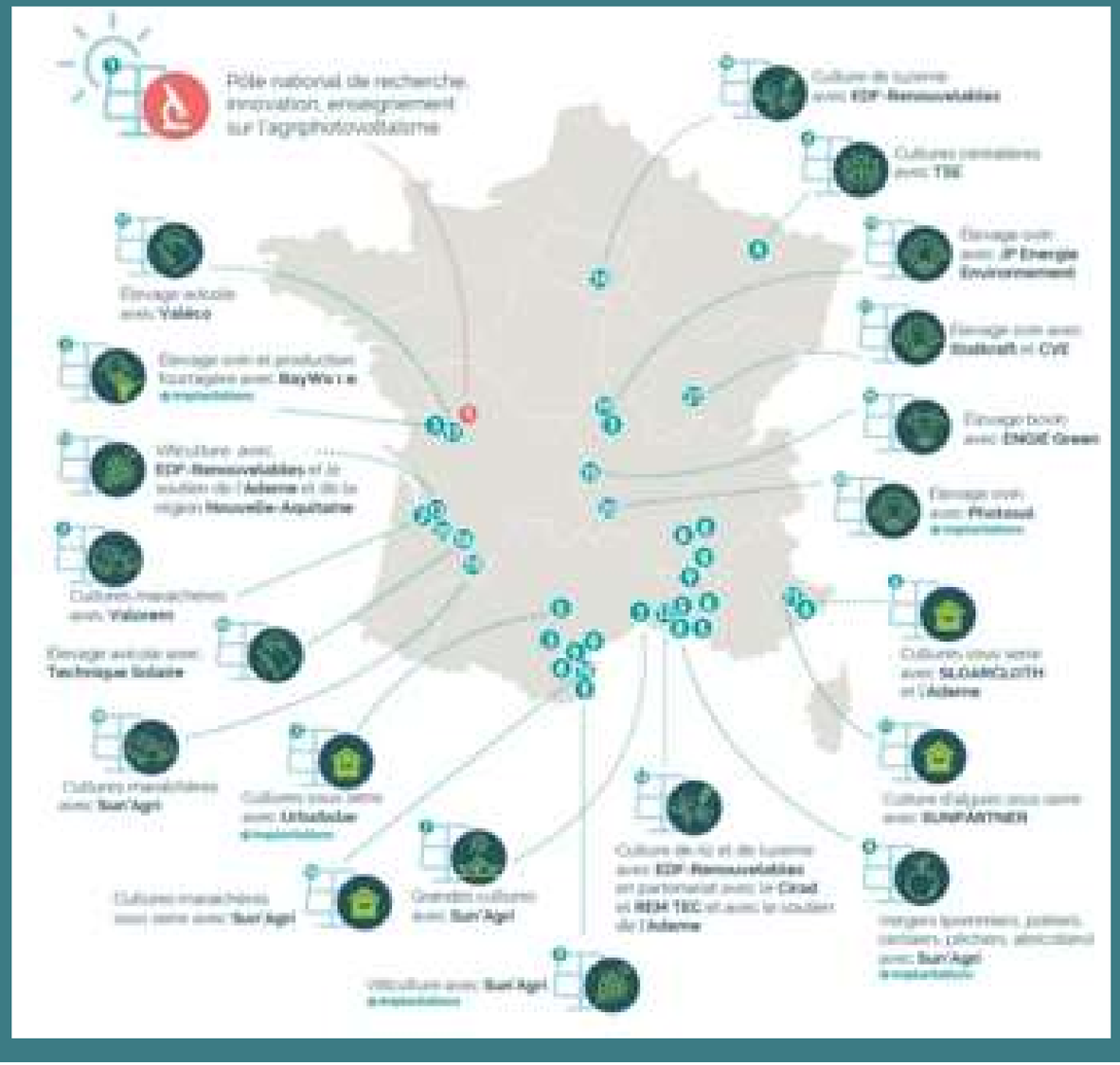
Combiner expérimentation et modélisation

Mutualiser les coûts et les dispositifs

Organiser les recherches

basé sur le principe de coopétition

Mission : Inventer les systèmes de production agricole du futur en synergie avec la production d'électricité renouvelable



Le début d'une grande aventure…

INRAE
cea
cnrs
AgroParisTech
L'INSTITUT agro
Université de Poitiers
isae ENSMA
POITIERS VENOURS AGRI CAMPUS
CNEAP
AGRICULTURES & TERRITOIRES CHAMBRE D'AGRICULTURE NOUVELLE-AQUITAINE
EDF renouvelables
TECHNIQUE SOLAIRE Produire ensemble une énergie durable
TotalEnergies
EnerVivo
BayWa r.e.
valeco
TSE
PHOTOSOL Producteur d'énergie photovoltaïque
VALOREM L'ÉNERGIE D'AGIR
Electriciens sans frontières
Sun'Agri
cve Changeons notre vision de l'énergie
SERGIES ÉNERGIES VIENNE
ombrea
ib vogt France
impulsion Innovations et transitions
voltalia
AGRITERRA GROUP
énergie environnement
SDDSOLAR
SCOFI L'ÉNERGIE DURABLE DES TERRITOIRES
SOLVEO ÉNERGIES
GLHD Cultivateur d'énergie
Qair
ADEN
unite
FFPA
DURAND

Merci de votre attention

Stephanie.mahieu@inrae.fr
PNR-AgriPV@inrae.fr