

Centre Nouvelle-Aquitaine Poitiers

Didier Combes INRAE – P3F Lusignan



INRAE

Pôle Nationale de Recherche en Agriphotovoltaïsme :PNR-AgriPV

Commissaires enquêteurs des Pays de la Loire, Haute-Goulaine, 1^{er} avril 2025

➤ Début de l'Agrivoltaïsme à INRAE, 1ères approches innovantes en France (Montpellier)



From Dupraz (2012)

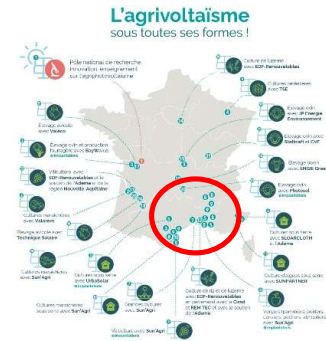
De l'agroforesterie

à



From Marrou (2012)

l'Agrivoltaïsme



➤ Le Centre Nouvelle-Aquitaine-Poitiers (NAP)

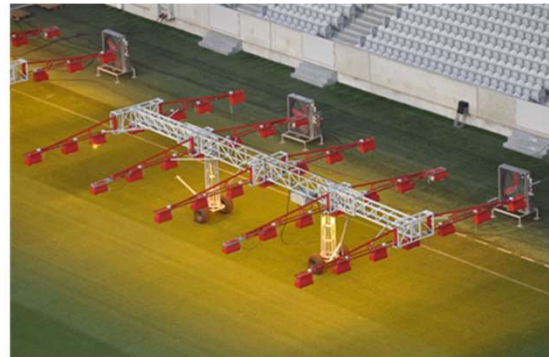
Reconnu pour ses expertises sur les prairies semées et les productions animales



Liste des implantations

- ① Lusignan
- ② Rouillé
- ③ Le Magneraud
- ④ Saint-Laurent-de-la-Prée
- ⑤ Chizé

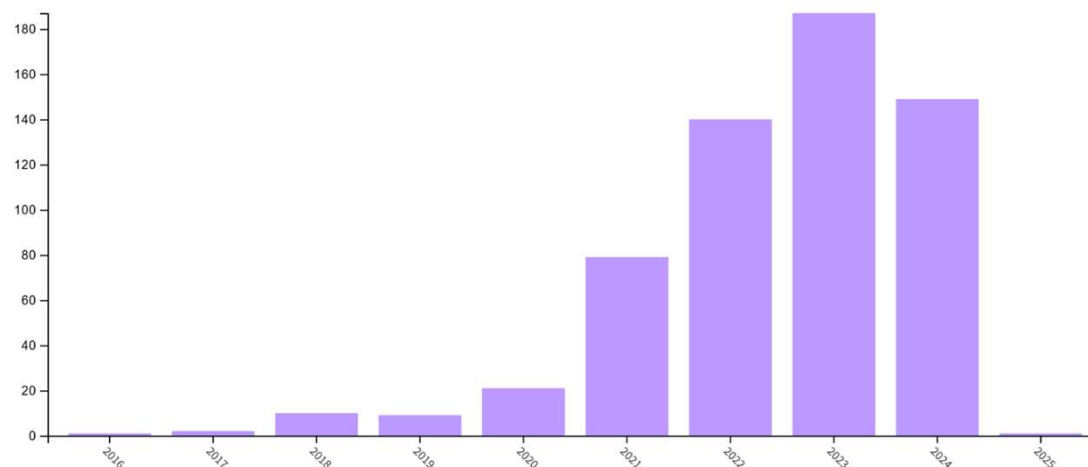




➤ Recherche en Agrivoltaïsme : Une accélération mondiale récente

- En 2024, l'agrivoltaïsme c'est :
- Un sujet très jeune (~ **600 publications**)
- En pleine exploration
- Une présence de plus en plus régulière sur la scène scientifique internationale

Evolution du nombre de publications scientifiques contenant le mot « Agrivoltaic » (Web Of science)



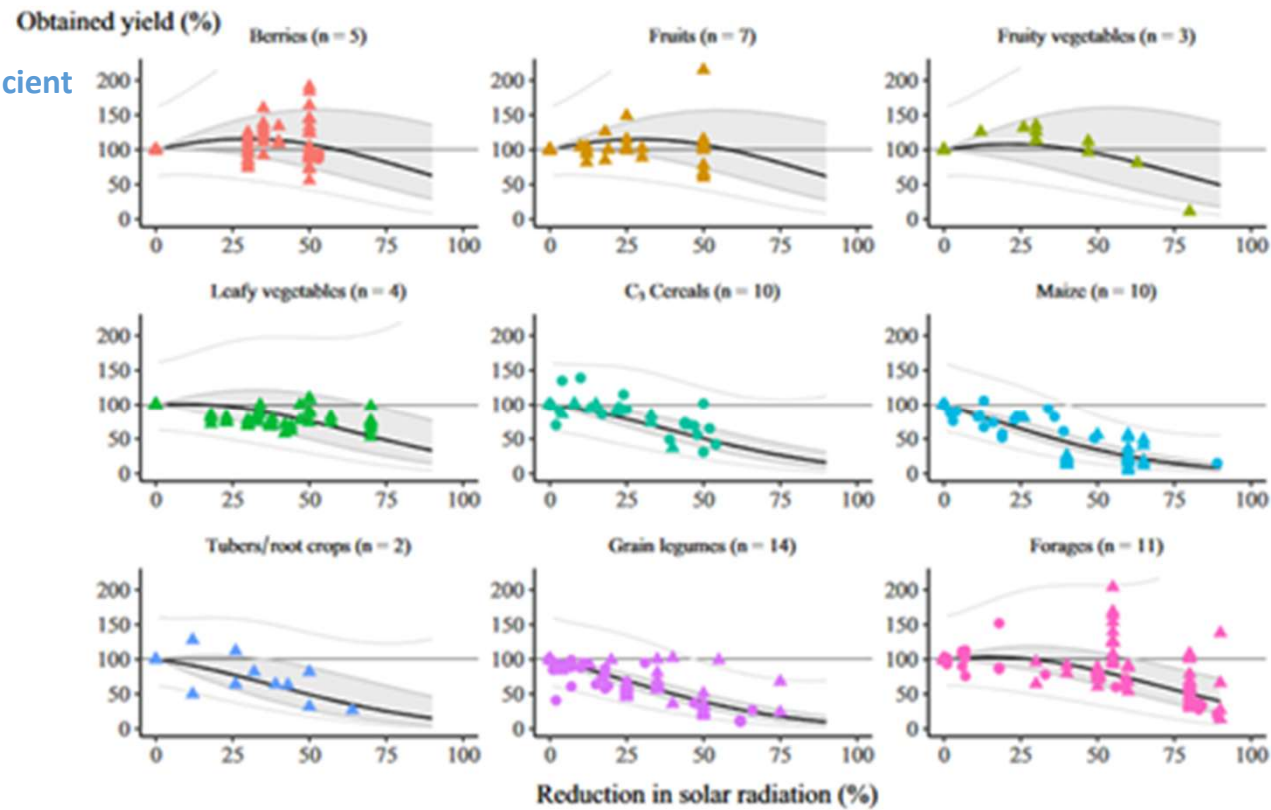
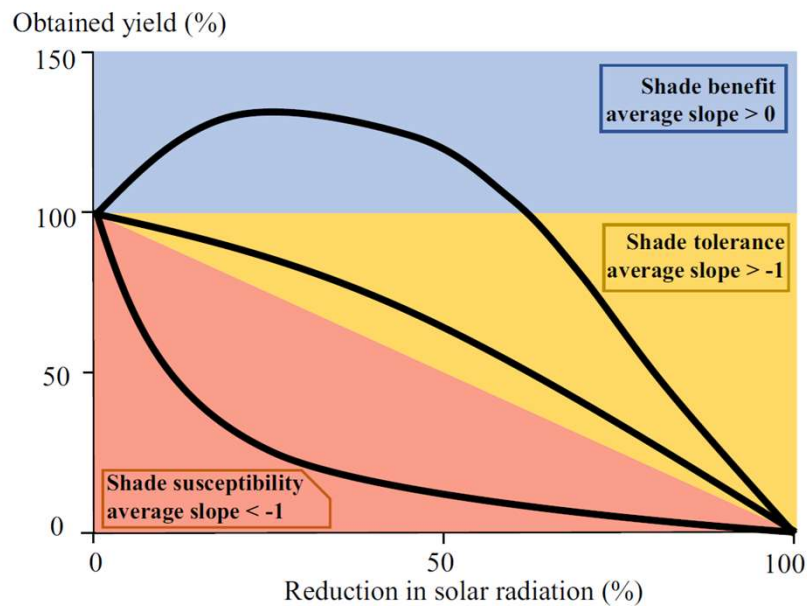
/!\ Vigilance : manque de recul important



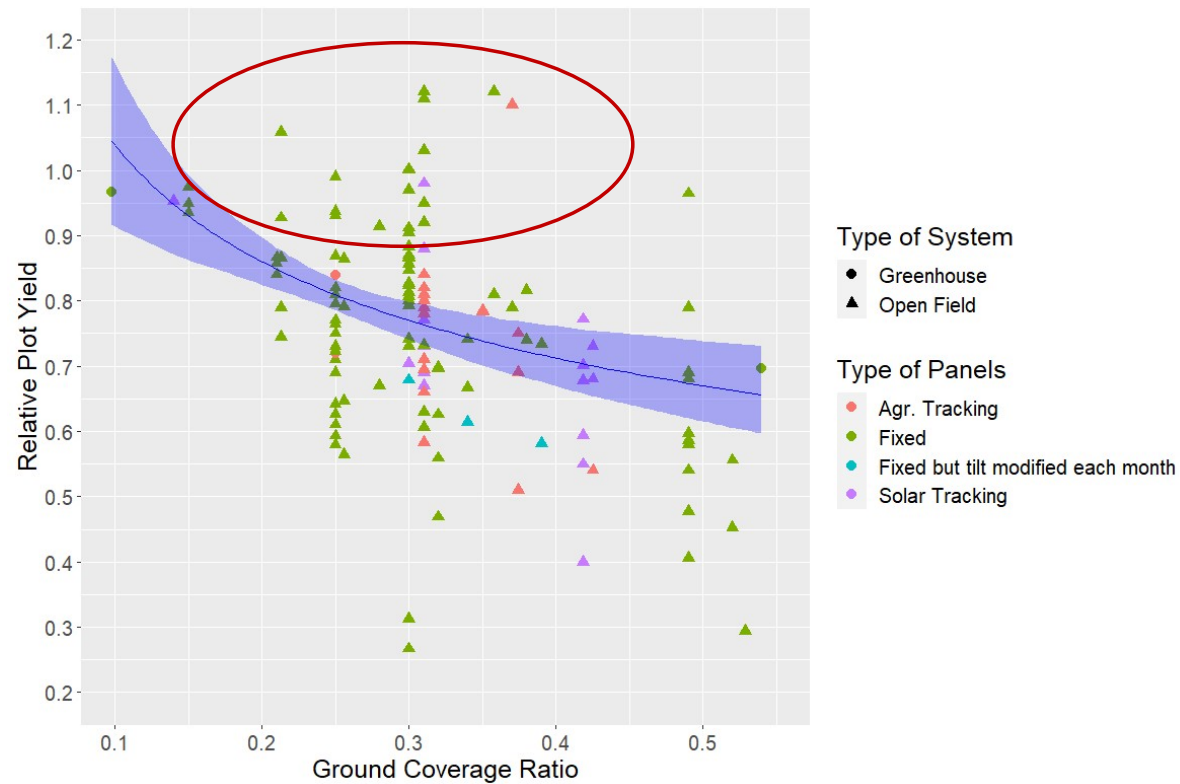
➤ La lumière : Une réponse différenciée chez les plantes

➤ To shade or not to shade ?

- Des espèces tolérantes à l'ombre ou qui en bénéficient
- Mais aussi des espèces dont le rendement chute
- D'autres plutôt mitigées
- Un terrain de jeu à explorer pour la recherche



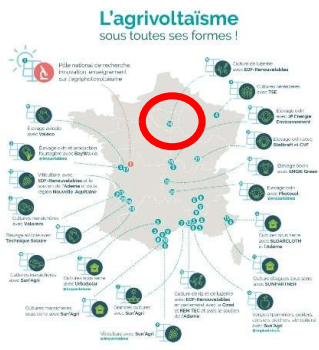
➤ Ombrage et rendement :



- Des rendements qui baissent plus on couvre de panneaux
- Une difficulté à respecter 90% de rendements agricoles
- Un taux de couverture de 40% raisonnable ?
- Mais aussi des réussites !

➤ Emergences de projets collaboratifs de recherche

Démonstrateur EDF Lab Les Renardières : pilotage des panneaux



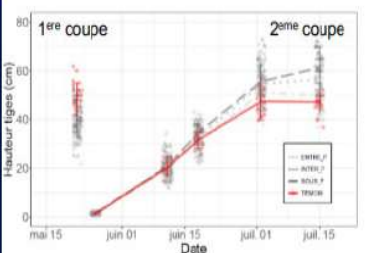
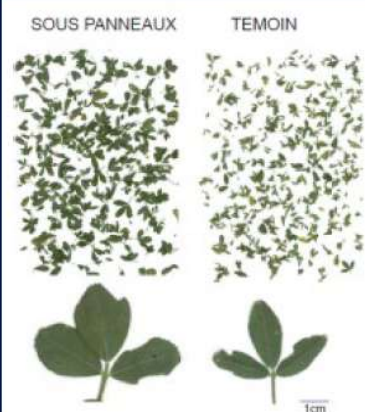
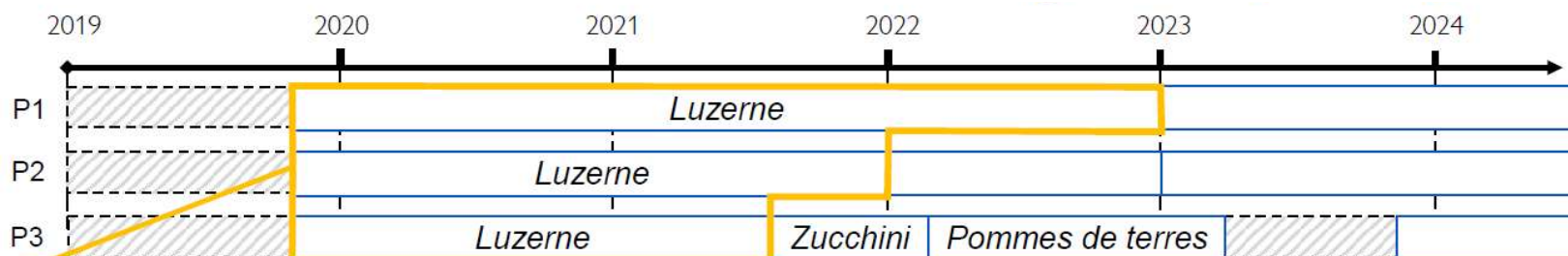
- Solar-Tracking ST**
- Maximum d'ombrage
 - Maximum production électrique



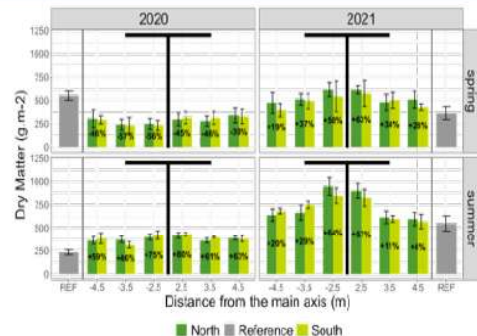
- Anti-Tracking AT**
- Minimum d'ombrage
 - Minimum de production électrique

Saisons	2020 - printemps	2020 - ete	2021 – printemps	2021 – ete
Stratégie de pilotage des panneaux	Fixe	Fixe	Anti Tracking	Solar Tracking

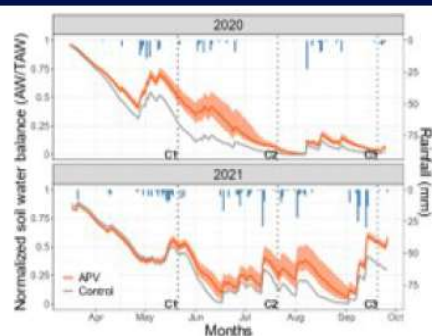
➤ Emergences de projets collaboratifs de recherche



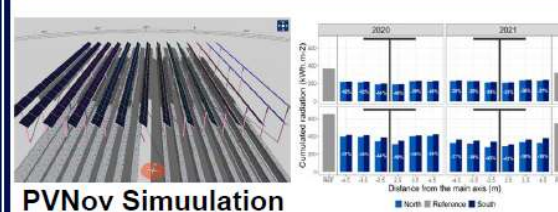
Une modification de la morphologie de la plante



Matière sec: -21% (2020) / +40% (2021)



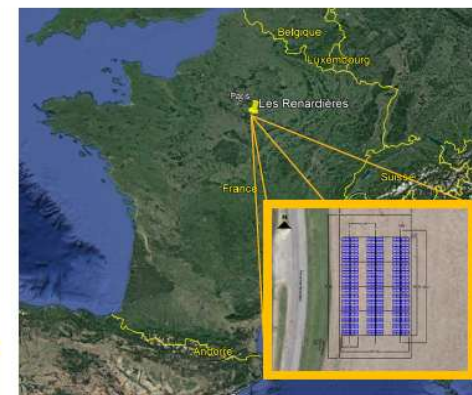
Moins de stress hydrique



de 30% à 50% ombrage



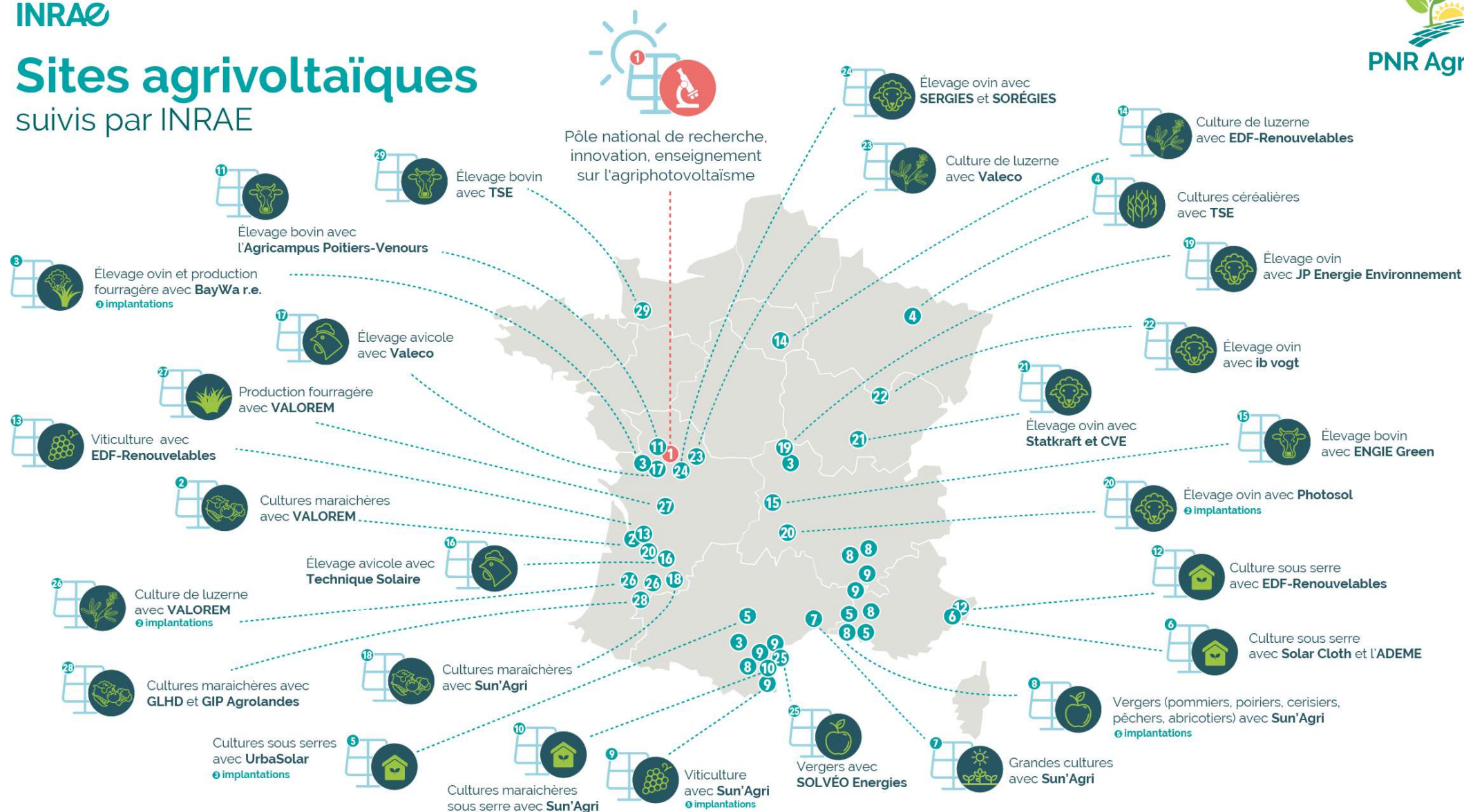
Protection contre gel (+1,5°C)



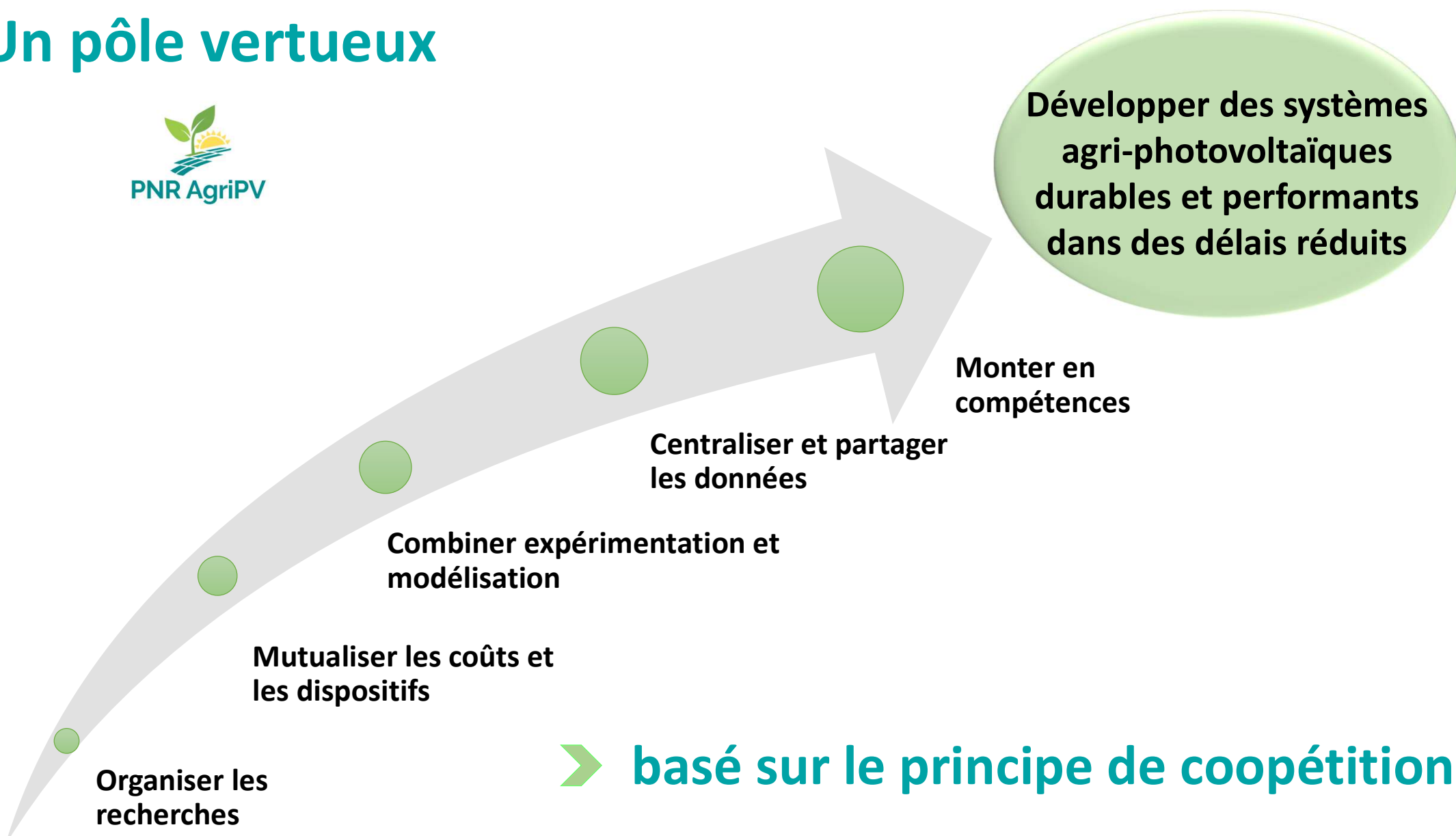
- Lieu : EDF R&D Les Renardières (Paris)
- Tracker : 2 axes
- 12 tracker/ 3 lignes
- DC Capacité : 115 kWp
- COD : 09/2019
- Taille : 3000m² du champ cultivable - 1900m² sous PV divisé en 3 parts.



Sites agrivoltaiques suivis par INRAE



Un pôle vertueux



➤ **basé sur le principe de coopétition**

➤ Emergences de projets collaboratifs de recherche



Pilote agrivoltaïque de Haut-Mauco

Un programme soutenu par



RÉGION
**Nouvelle-
Aquitaine**



Département
des Landes



➤ Emergences de projets collaboratifs de recherche



La Tour blanche



INRAE

Présentation des résultats
Expérimentation 2023



➤ Quels premiers résultats sur les sites expérimentaux AgriPV ?

Ombrage associé à des panneaux photovoltaïques
Impact sur le microclimat, la plante et sa production
Cas de l'horticulture et de la viticulture

Gilles Vercambre
INRAE-PSH (Avignon)



Sun'Agri3



INRAE



lepse
Montpellier



UE Maraichage (Alénia), Pech Rouge (Gruissan)
CA84, La Pugère

Dispositifs et stratégies d'ombrage

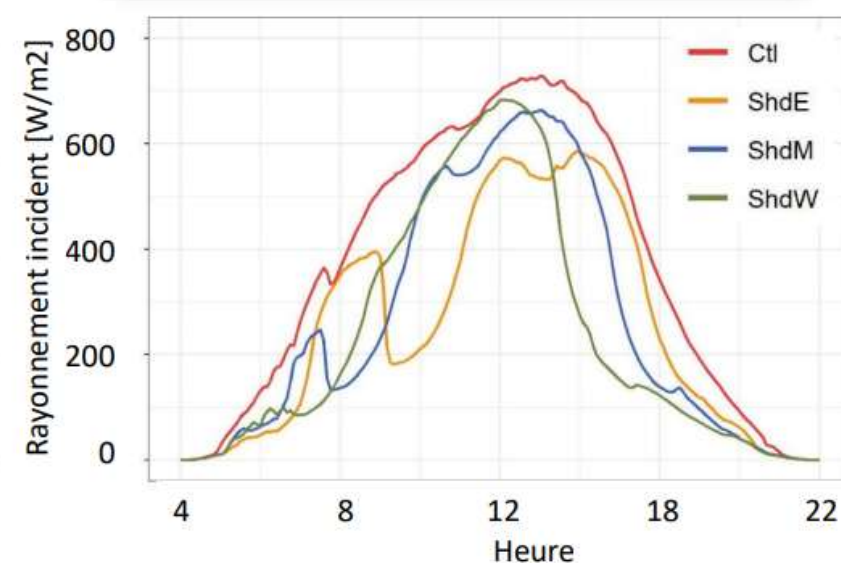
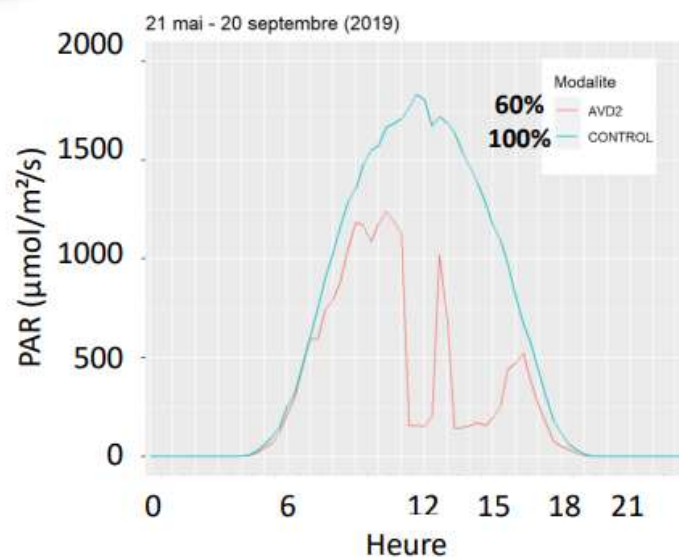
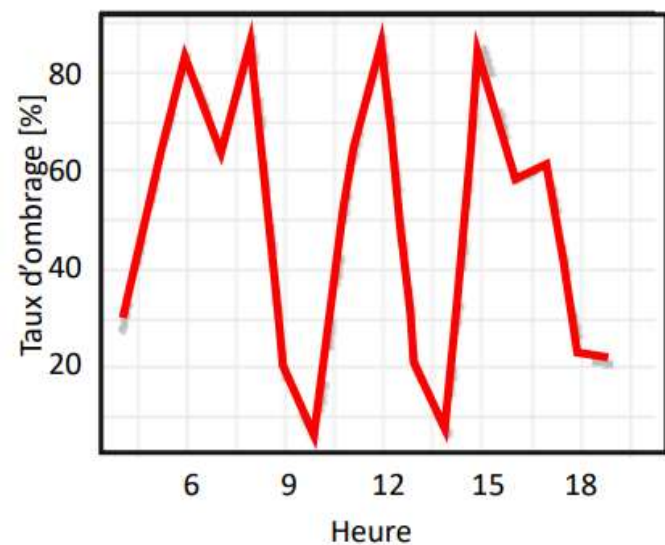
Sur verger de pommier,
station expérimentale de La Pugère



Sur vigne (CV. Grenache),
parcelle expérimentale CA84

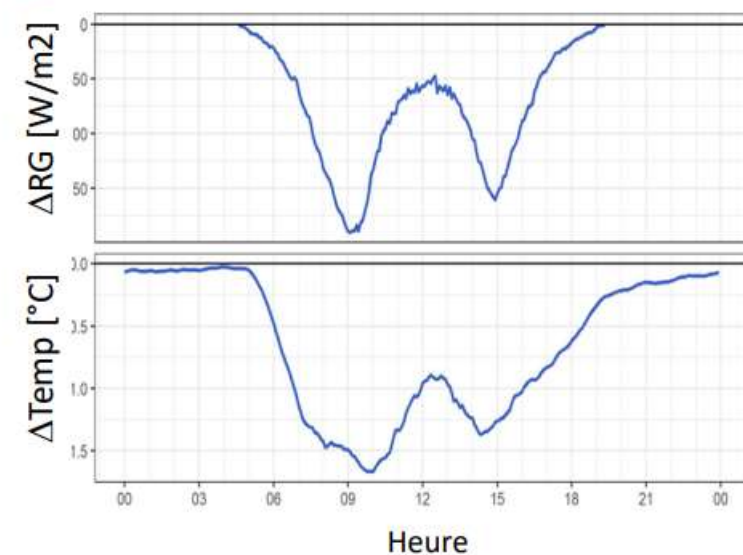
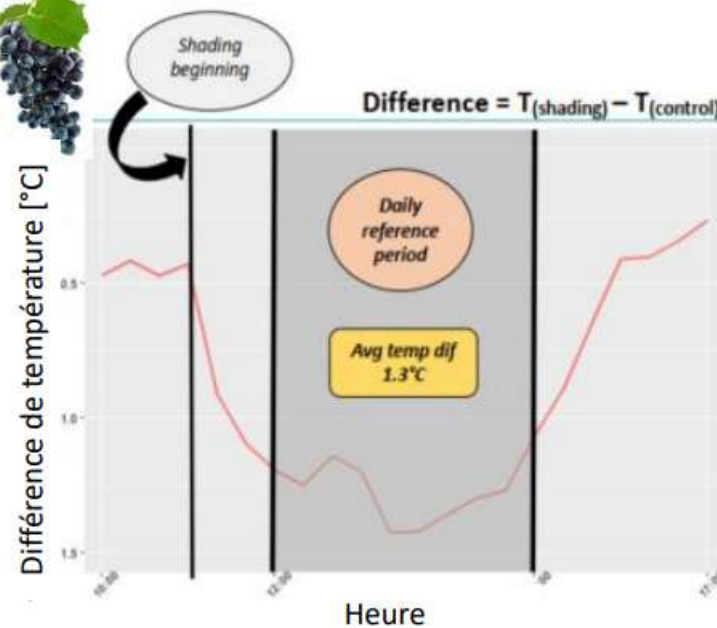
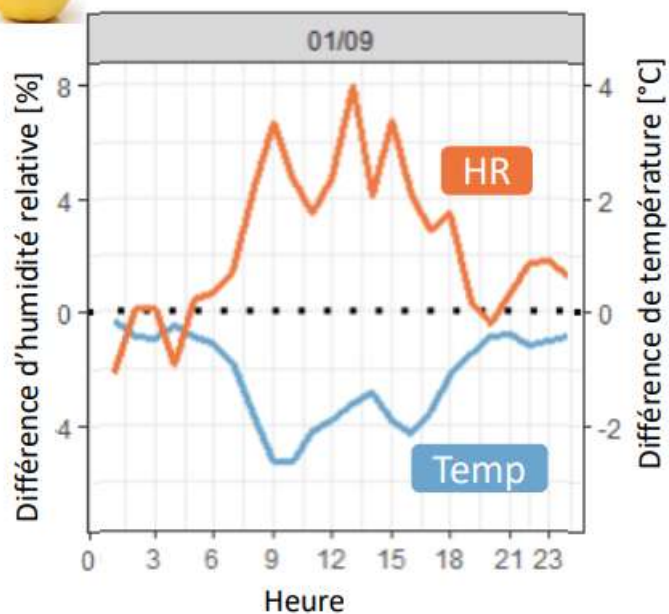


Sur tomate en serre,
unité expérimentale Alenya



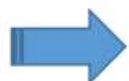
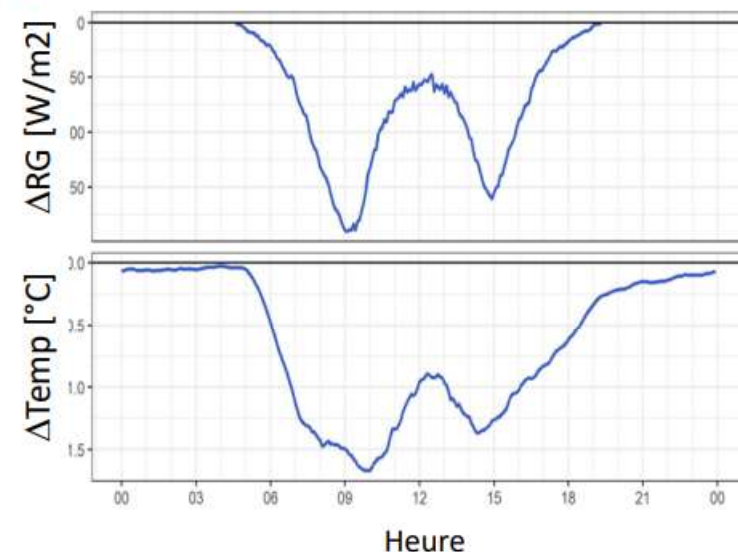
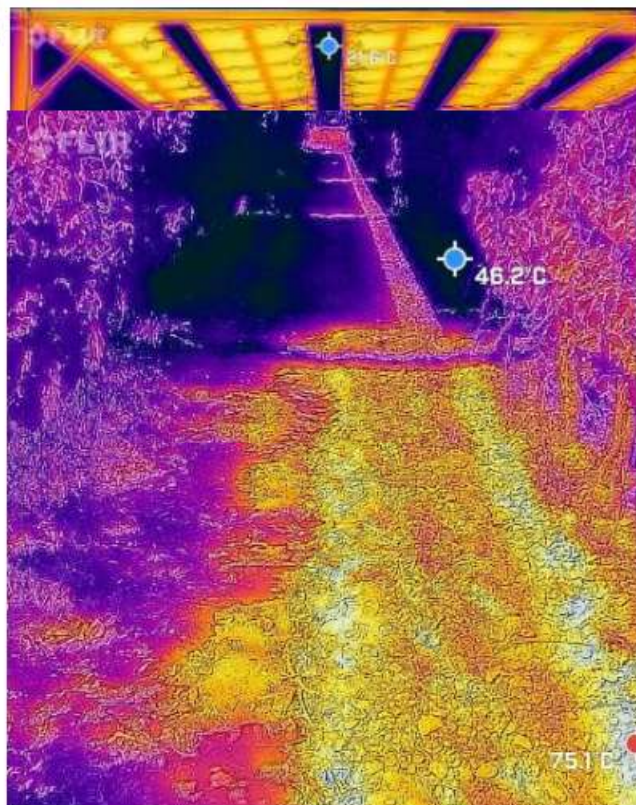
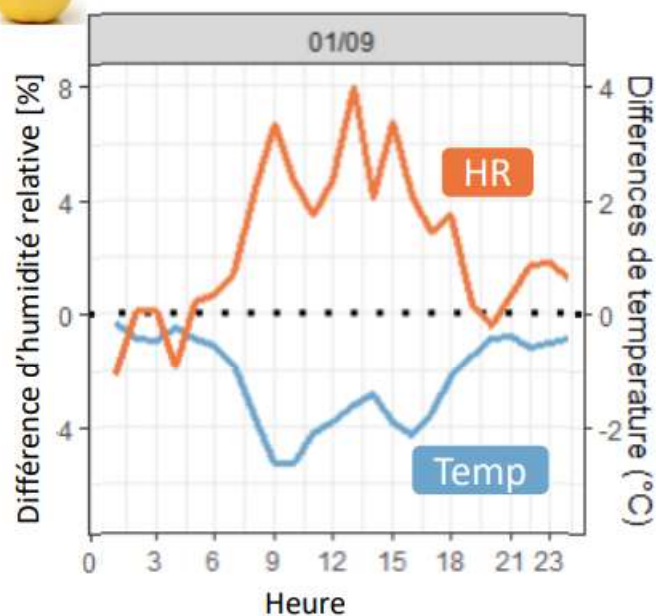
Ombrage et impacts sur le micro/phyllo/pédo-climat

Impact sur la température et l'humidité de l'air



Ombrage et impacts sur le micro/phyllo/pédo-climat

Impact sur la température et l'humidité de l'air



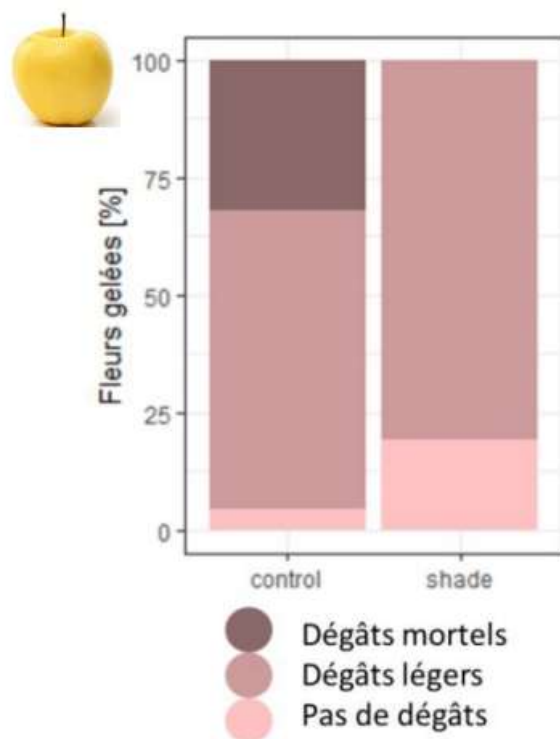
Réduction de la température de l'air, de la végétation et du sol associée à l'ombrage,
Augmentation de l'humidité relative
Couverture en cas de pluie / Humectation du feuillage

Questions de stratégie de pilotage, proportion de la surface couverte, d'échelle des dispositifs, d'aérodynamique

Ombrage et impacts sur le micro/phylo/pédo-climat

Protection contre les extrêmes climatiques :

- protection contre le gel



85% de chute/dégât sur fleur dans le témoin



2019 : perte de 25% des bourgeons sur le contrôle

Ombrage et impacts sur le micro/phyllo/pédo-climat

Protection contre les extrêmes climatiques :

- protection contre le gel
- protection contre la grêle
- protection contre les canicules
- protection contre les dégâts sur fruits : coup de soleil



Véraison (29/07/2022)

Quelle consequence sur la phénologie ?



Récolte basée sur la fermeté et la teneur en amidon

- ➔ **Pas de différence** entre les traitements sur :
- date de floraison (début avril)
 - date de récolte (vers mi-septembre)

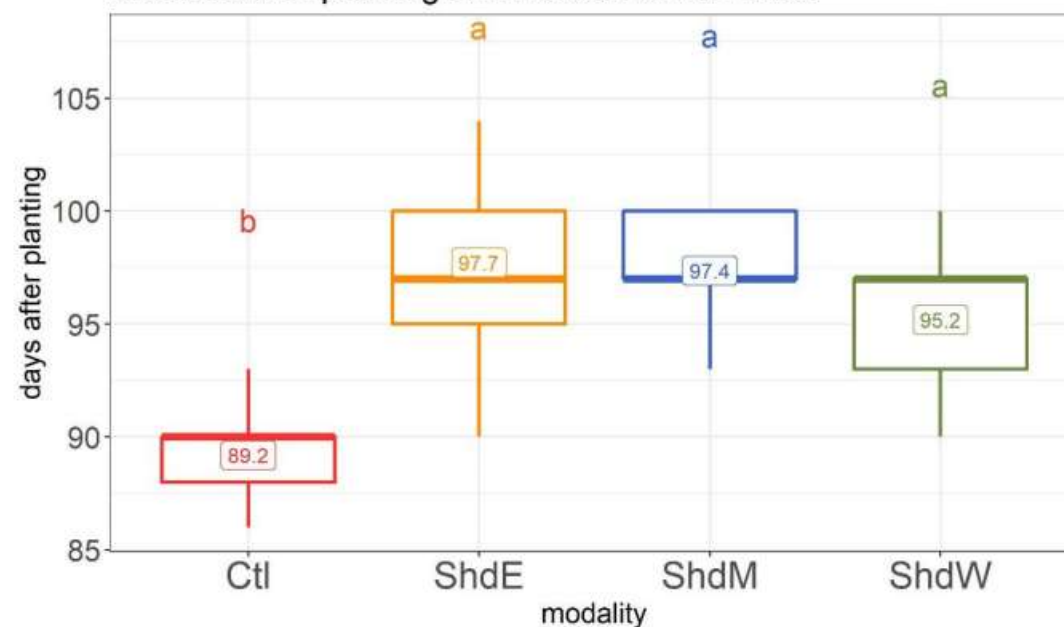


Récolte basée sur teneur en sucre et acidité titrable
Décalage progressif au cours de la saison :

- Débourrement : retard 1j
- Floraison : retard 2j
- Véraison : retard 5j
- Récolte : retard 6j

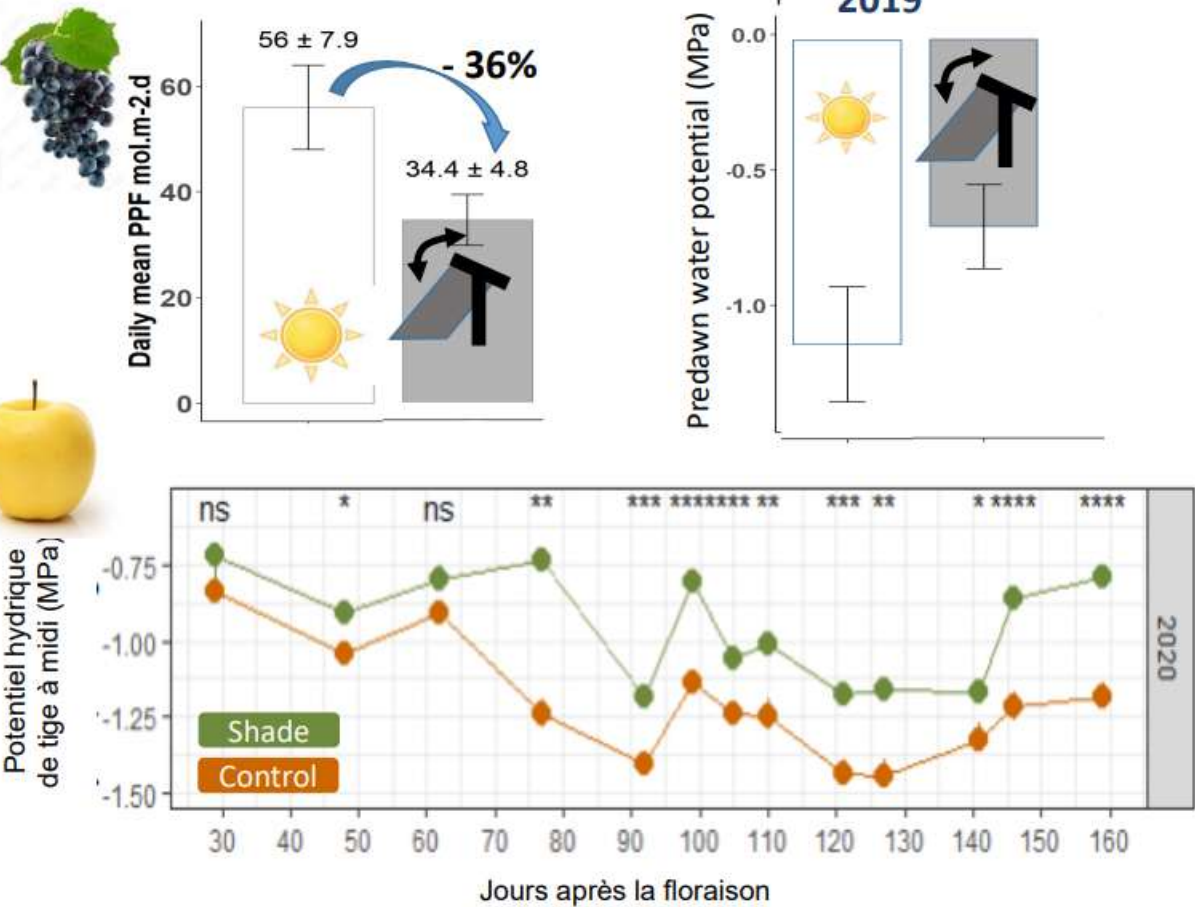


Récolte basée sur la coloration des tomates
time between planting and harvest for 6th truss



➔ Pas de différence en terme de développement mais,
durée de croissance des fruits plus longue
entre floraison et récolte stade rouge (7j)

Statut hydrique et Efficience d'utilisation de l'eau



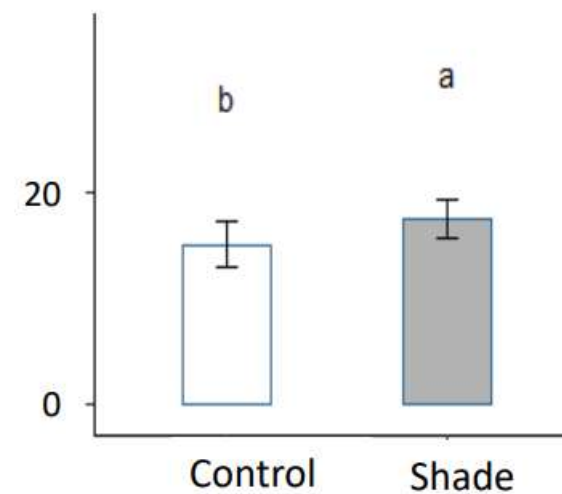
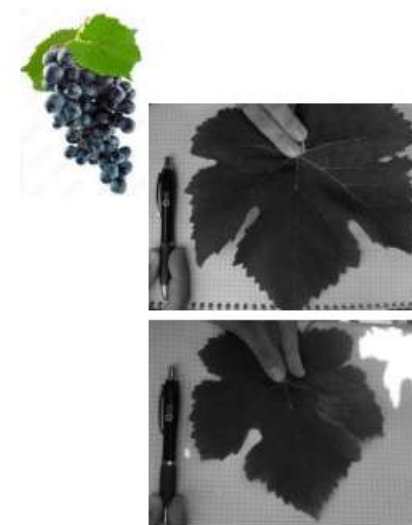
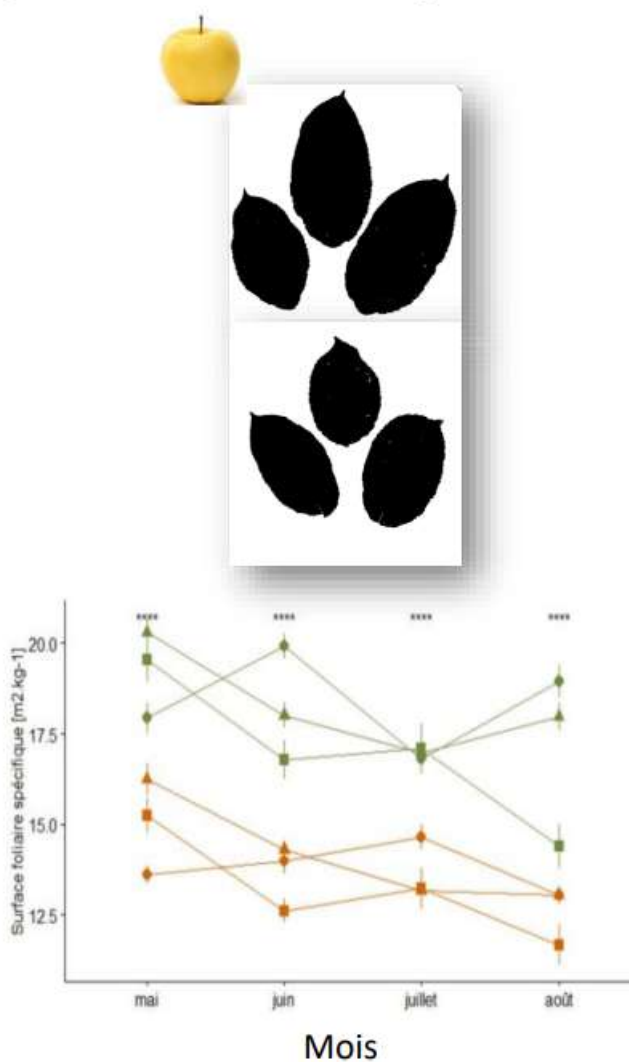
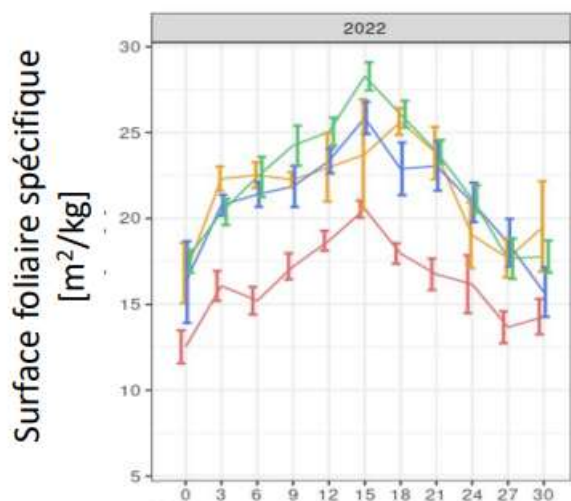
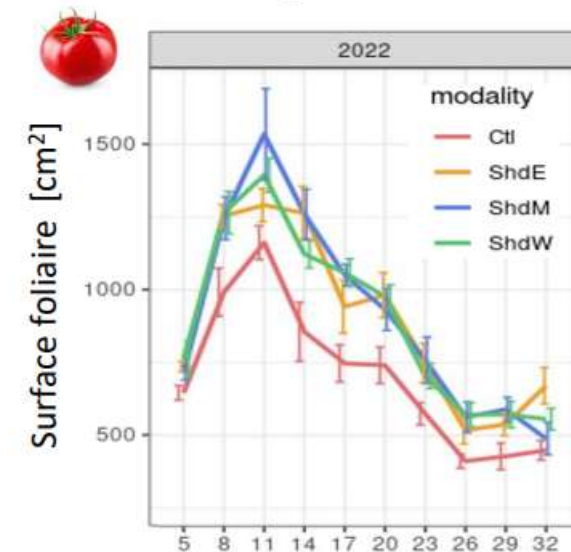
Année	Réduction irrigation sous ombrage	Cumul irrigation témoin
2019	37%	63 mm
2020	-59%	64 mm
2021	-62%	127 mm
2022	-40%	136 mm

Année	Réduction irrigation sous ombrage	Cumul irrigation témoin
2019	-30%	1150 mm
2020	-6%	750 mm
2021	-30%	1380 mm
2022	-1%	914 mm



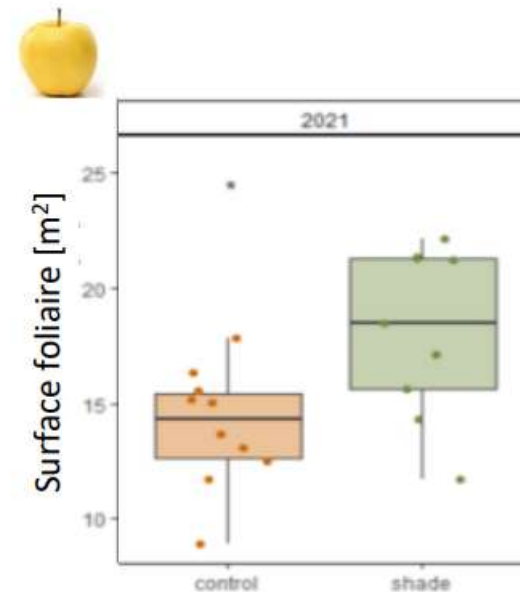
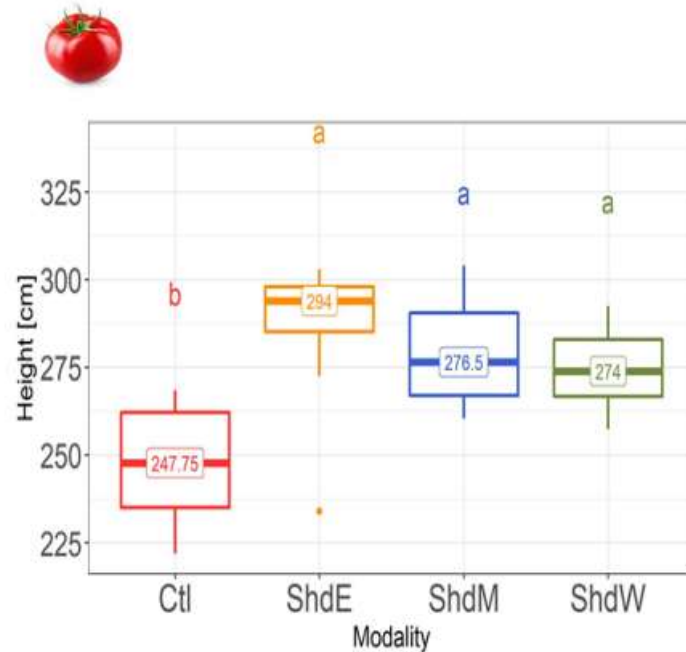
Réduction des besoins en eau de la culture
Statut hydrique de la plante plus favorable

Croissance végétative : de l'échelle des feuilles à l'échelle de la plante



Ombrage et croissance végétative

Croissance végétative : de l'échelle des feuilles à l'échelle de la plante



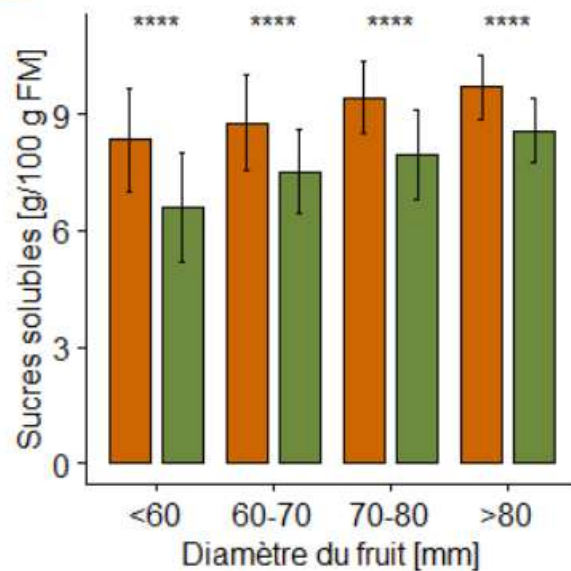
Syndrome typique d'évitement de l'ombre :

- Allongement des axes,
- Feuille individuelle plus grande,
- Surface foliaire spécifique augmentée



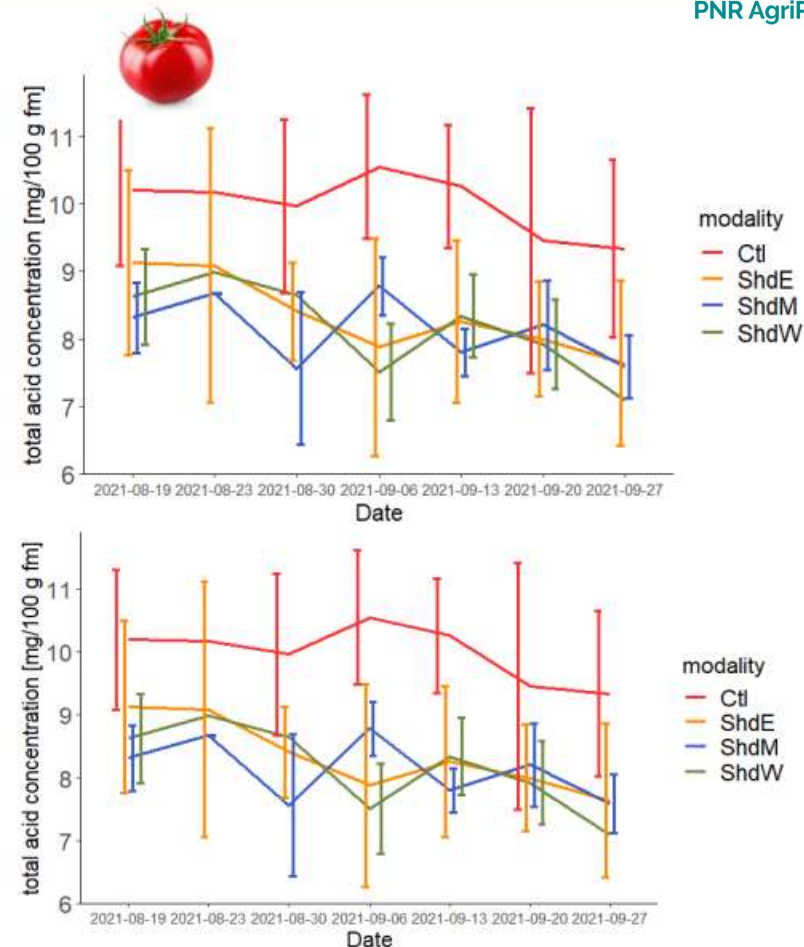
Augmentation de la surface foliaire

Conséquences sur la production : qualité des fruits à la récolte



Alcool (% vol)	Control- W	Control-E	AVD-W	AVD-E
2020	13.88	14.26	12.81	12.76
2021	13.32	13.59	12.49	12.49
2022		12	11.82	13.07

Acidité g.L-1 H2SO4	Control- W	Control-E	AVD-W	AVD-E
2020	3.97	3.57	4.07	3.96
2021	3.3	3.08	3.19	3.41
2022		3.23	3.51	3.18



- Diminution de la teneur en masse sèche
- Diminution de la concentration en sucres soluble et en amidon
- Acides organiques : variable selon espèce considérée
augmentation pour raisin, stabilité sur pomme, réduction sur tomate
- Métabolites secondaires

Ombrage associé à des panneaux photovoltaïques

Cas de l'horticulture et de la viticulture

- Effet sur le **micro-phyllo-climat** :
 - Réduction de la température, augmentation humidité
 - Atténuation de l'intensité des événements extrêmes (gel et vague de chaleur)
- **Réduction des besoins en eau** des cultures
- **Statut hydrique plus favorables / Statut carboné dégradé**
- **Effet nulle à modéré sur la phénologie**
- Effet sur la croissance végétative : **syndrome d'évitement de l'ombre**
- Effet sur la production et sa qualité
 - Réduction de la production (**baisse floribondité**)
 - **Diminution de la qualité** des produits récoltés

Quid pérennité du système ? Adaptation ?

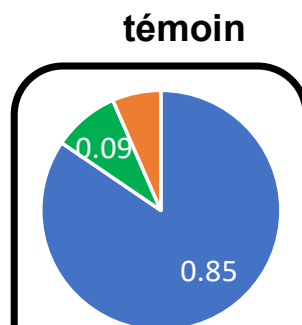
Quid modification micro-climat, architecture et composition plante sur ravageur/auxiliaire/maladie ?

Quid capacité de défense de la plante ?

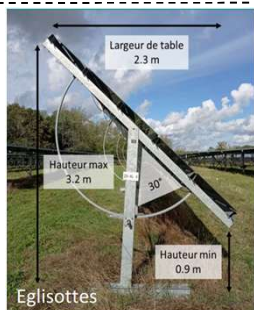
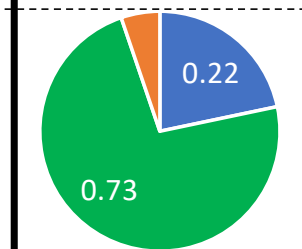
Etudes INRAE: prairies permanentes



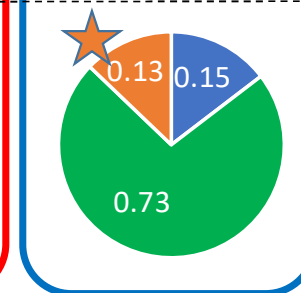
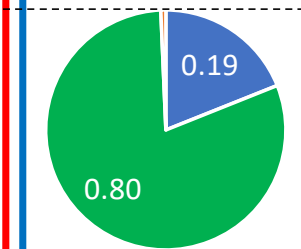
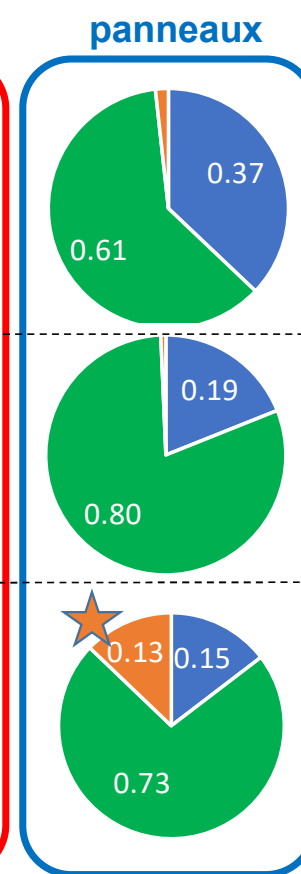
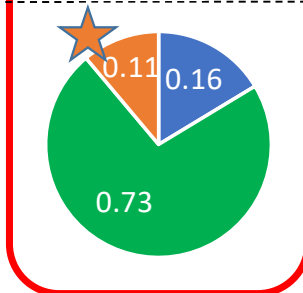
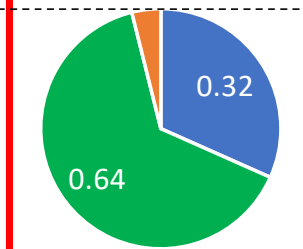
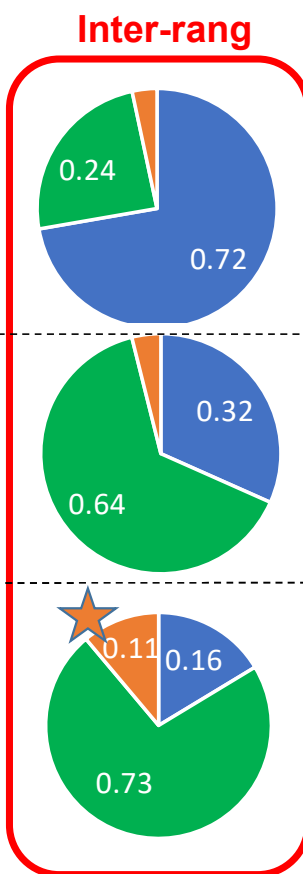
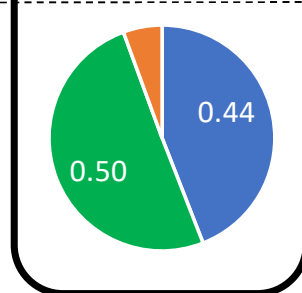
p4
TOS : 47
2 ans
INN 0.28



p5
TOS : 61
6 ans
INN 0.45



p6
TOS : 38
5 ans
INN 0.38



- Augmentation des graminées sous panneaux et inter-rang
- P4 : INN témoin faible
- Maintien des légumineuses avec panneaux mobiles
- Changements rapides (+ 2 ans)

Diverses

Graminées

Légumineuses

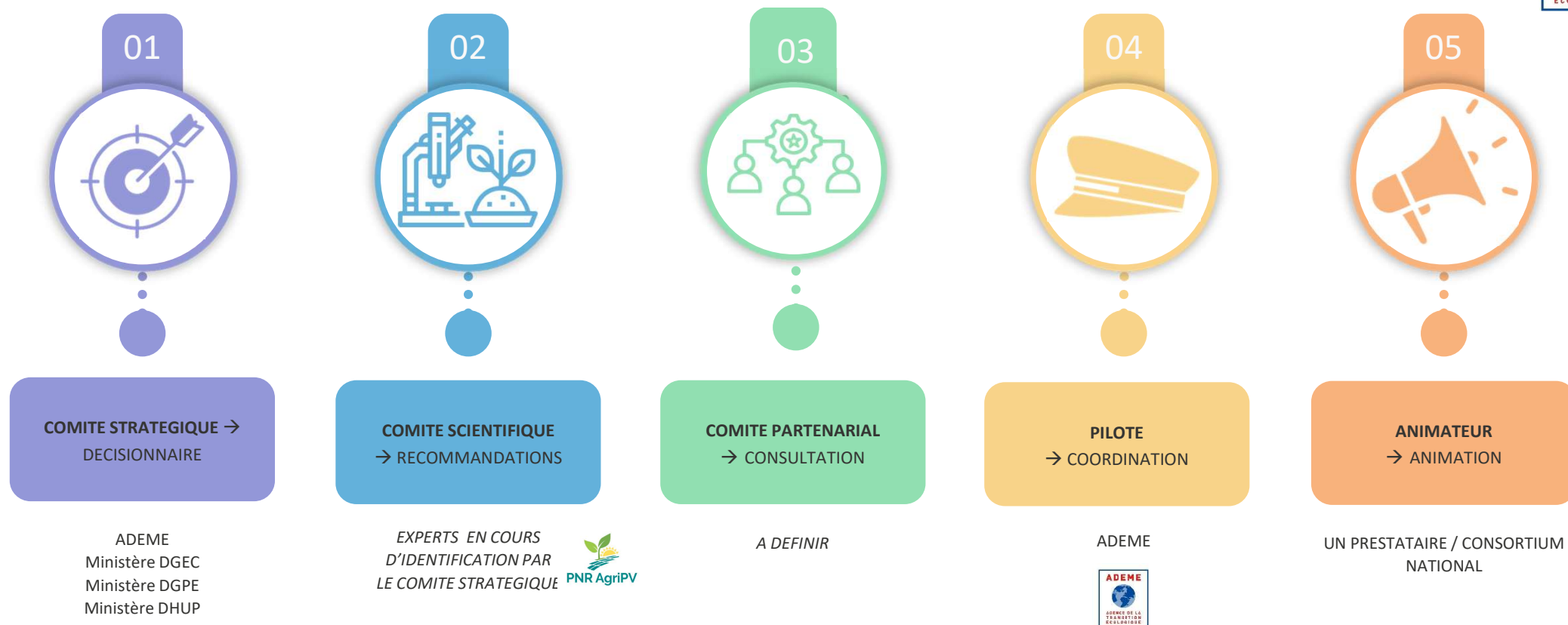


➤ Pour conclure sur les aspects scientifiques...

- Il faudra faire preuve de **patience**
- De **nombreuses questions** sont sans réponses
- Technologies x Pédoclimat x Pratiques agricoles x Espèces végétales/animales = ?
- Des impacts multiples (+/-) à caractériser et quantifier
- Mais ... **accélération de la recherche**
- Des sites **expérimentaux** qui se **multiplient**
- Et.... la France qui s'organise (PNR mais pas que...)

➤ Vers un Observatoire National de l'AgriPV piloté par l'ADEME

ADEME – Elsa CHONY



Centraliser les données/RETEX -> Analyser ces données -> Outiller les acteurs (guide, OAD, référentiels)

Une liste de technologie éprouvées

Liste des technologies éprouvées

Un temps de cadrage nécessaire

[Article 1](#) « Art. R. 314-115 - Sur la base de l'état de l'art et des statistiques fournis par l'ADEME, les ministres chargés de l'énergie et l'agriculture pourront formuler, par arrêté, une **liste de technologies éprouvées**, en fonction du **mode de culture ou d'élevage**, du **procédé technique photovoltaïque utilisé** et de l'**implantation géographique**. »

Reste à définir :

- ❖ Les critères de caractérisation des couplages
- ❖ Modalités d'approbation d'un couplage éprouvé



01

UN COMITÉ STRATEGIQUE

→ DECISIONNAIRE

*Valide ou non l'inscription
d'un couplage sur la liste*

Ministère DGEC
Ministère DGPE
Ministère DHUP
ADEME



02

UN COMITÉ
D'EXPERTS

→ RECOMMANDATIONS

*Produit un avis technique et
scientifique sur un couplage*

EXPERTS EN COURS DE
DEFINITION PAR
LE COMITE STRATEGIQUE



03

UN PILOTE

→ COORDINATION

*Coordonne le processus
d'établissement de la liste*

ADEME



Pôle National de Recherche sur l'Agriphotovoltaïsme

PNR-AgriPV

➤ Merci de votre attention !



INRAE



Pour nous joindre : PNR-AgriPV@inrae.fr