



L'agri-PV dynamique : un outil innovant pour protéger les arbres fruitiers des effets du changement climatique

Perrine Juillion, Sun'Agri
Perrine.juillion@sunagri.fr

Problématiques actuelles



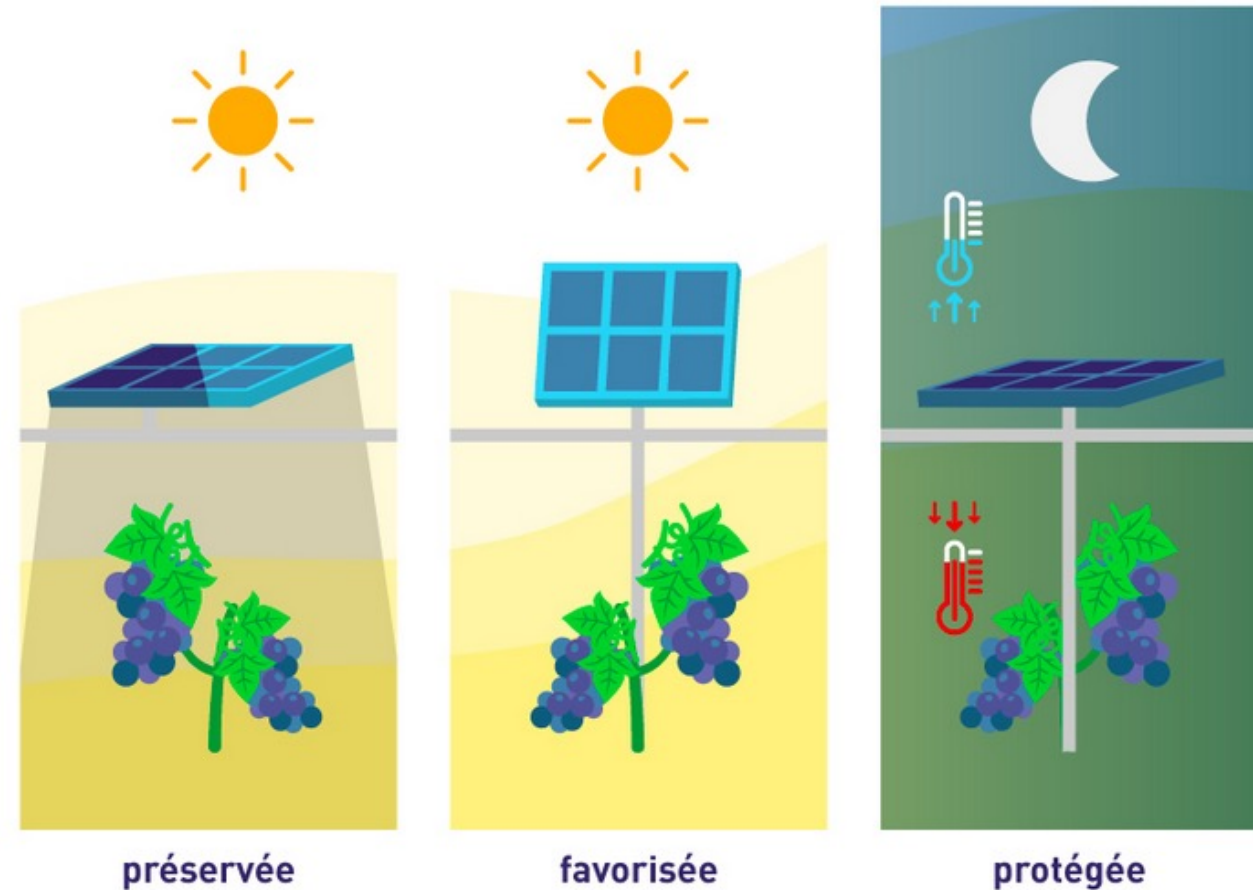


Besoin de protection des arbres fruitiers

L'AgTech Sun'Agri : une persienne intelligente au service de l'agriculture

Outil de régulation agro climatique pour protéger les cultures des **stress hydriques, radiatifs et thermiques**

Des persiennes **mobiles** (+/- 90°) installées au-dessus des plantes permettent de **moduler** l'ombrage selon les **besoins de la plante**.







Comment piloter les panneaux photovoltaïques
pour les besoins de la plante ?



PROJET ACCOMPAGNÉ
PAR L'ADEME DANS
LE CADRE DU PROGRAMME
D'INVESTISSEMENTS D'AVENIR



ILS L'ONT FAIT



Sun'Agri 3



Agrivoltaïsme dynamique : innovation de rupture à destination des agriculteurs face à l'urgence du changement climatique



LE GRAND PLAN
D'INVESTISSEMENT

INDUSTRIE ET AGRICULTURE

13 années de Recherche collaborative et Création d'une filiale dédiée

2009-2013

SUN'AGRI 1
Proof of concept

1st FIXED SITE

2013-2017

SUN'AGRI 2
Products and softwares development

1st DYNAMIC
SITES

2017-2023

SUN'AGRI 3
Demonstration phase

15 EXP. SITES
20 COMMERCIAL SITES

> 2021

COMMERCIAL DEVELOPMENT

FRANCE

INTERNATIONAL



7 laboratoires de recherche



Unité expérimentale de
PECH ROUGE - UE 0999

INRAE
UE – Maraîchage (Alénia)



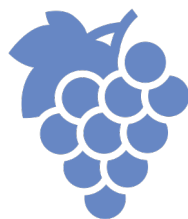
4 thèses au sein du programme Sun'Agri 3

Benjamin Tiffon-Terrade (2022)

Analyse et modélisation de l'effet d'un ombrage intermittent sur le développement de la vigne, la maturation et la qualité du raisin

Montpellier SupAgro

Soutenue le 13/09/2022

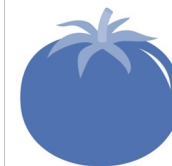


Noé Savalle--Gloire (2023)

Impacts de l'ombrage sur les précurseurs du rendement et la qualité des tomates

Université d'Avignon

Soutenance en 2023



Perrine Juillion (2022)

Analyse et modélisation de l'effet d'un ombrage sur le rendement et la qualité du pommier

Université d'Avignon

Soutenue le 29/06/2022



Arturo Ramos-Fuentes (2023)

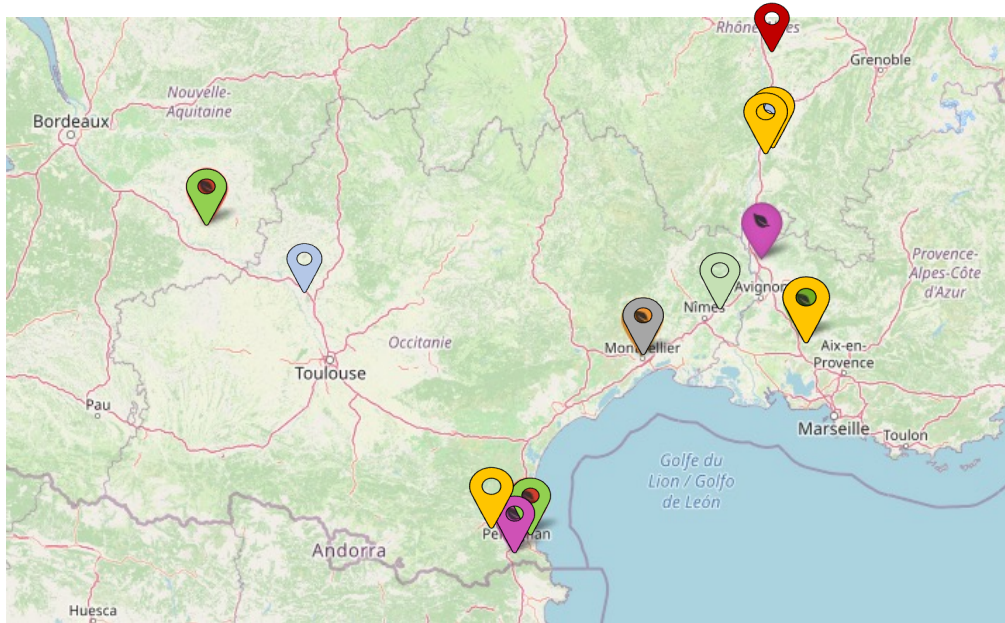
Les grandes cultures sous un dispositif agrivoltaïque dynamique : réponses à l'ombrage et optimisation de l'irrigation

Montpellier SupAgro

Soutenance en 2023



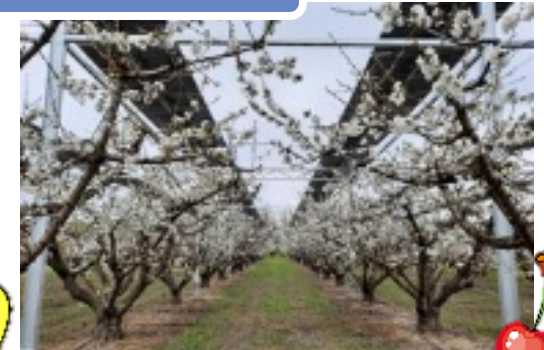
Différents sites expérimentaux pour l'acquisition de connaissances



- | | | | |
|---|------------------|---|-------------------------|
|  | Maraîchage |  | Fruits rouges (à venir) |
|  | Viticulture |  | Viticulture (à venir) |
|  | Arboriculture |  | Arboriculture (à venir) |
|  | Grandes cultures | | |

- Expérimentations pour évaluer l'effet de l'ombrage sur les cultures
- Création d'une **base de données expérimentales**

FOCUS ARBORICULTURE



Un suivi détaillé sur chaque site expérimental



Instrumentation

Permet d'acquérir des données météo et physiologique de la plante

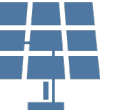
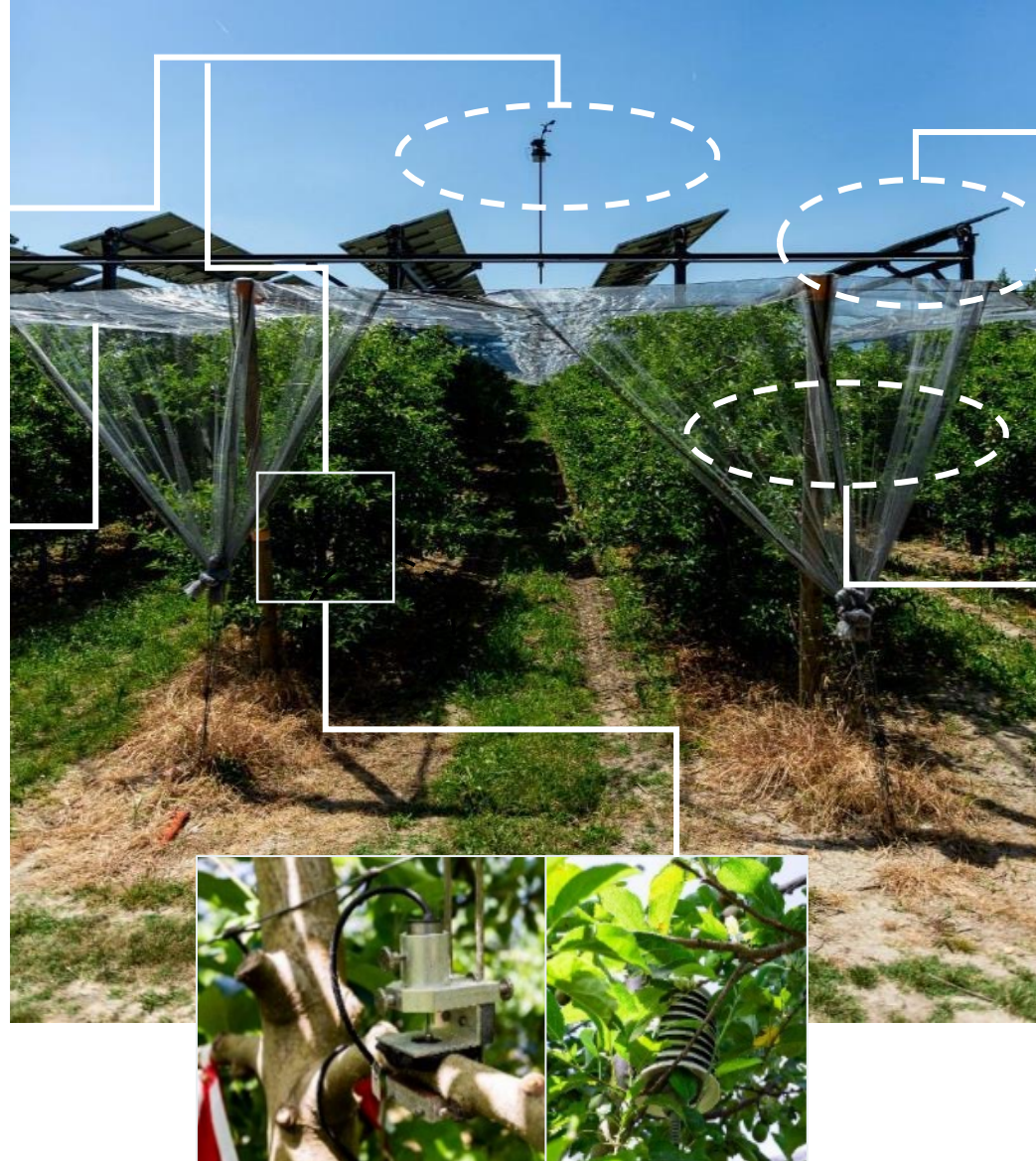


Trackers un axe

Panneaux mobiles et pilotés

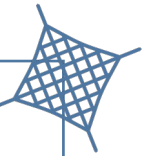
Pour tous les projets Sun'Agri :

Une **zone témoin** (sans panneaux)
Un **suivi agronomique** réalisé par un organisme agricole



Panneaux bifaciaux

Maximisent la production d'électricité même en période d'effacement

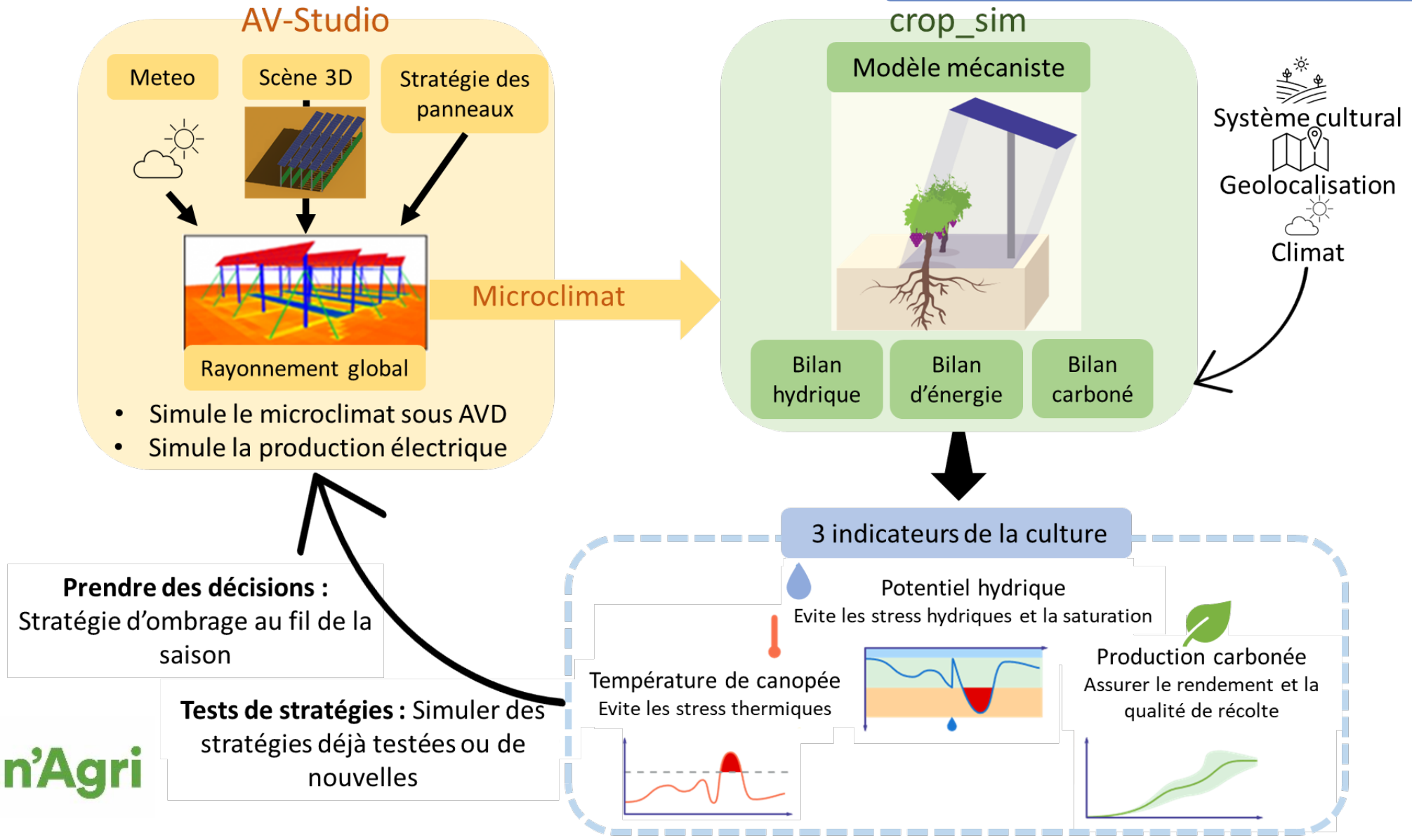


Filets paragrêles

Pilotage intelligent Logiciel AV STUDIO

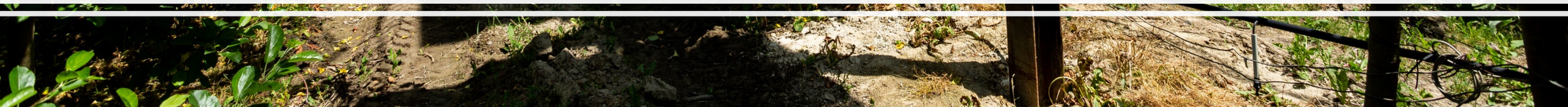


L'aide de la modélisation





Premier dispositif expérimental en pommiers



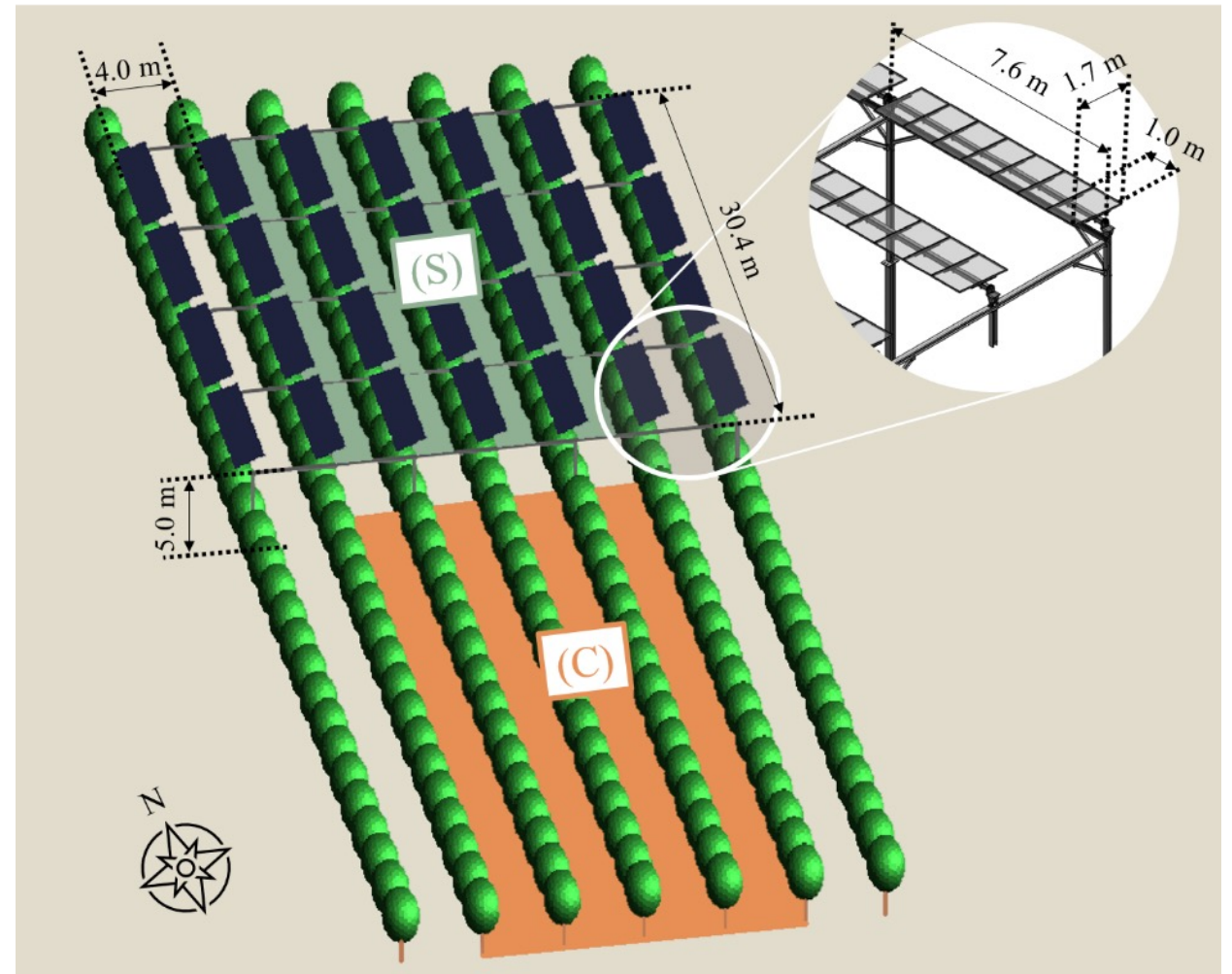
Dispositif expérimental sur pommiers adultes



Mallemort

(France: 43°44'24.0"N; 5°07'30.0"E)

- Golden Delicious
- Verger mature (10 ans)
- Production Fruitière Intégrée
- Objectif de confort hydrique



Dispositif expérimental sur pommiers adultes

STATION D'EXPERIMENTATION
Arboricole
PROVENCE ALPES COTE D'AZUR


"LA PUGÈRE"

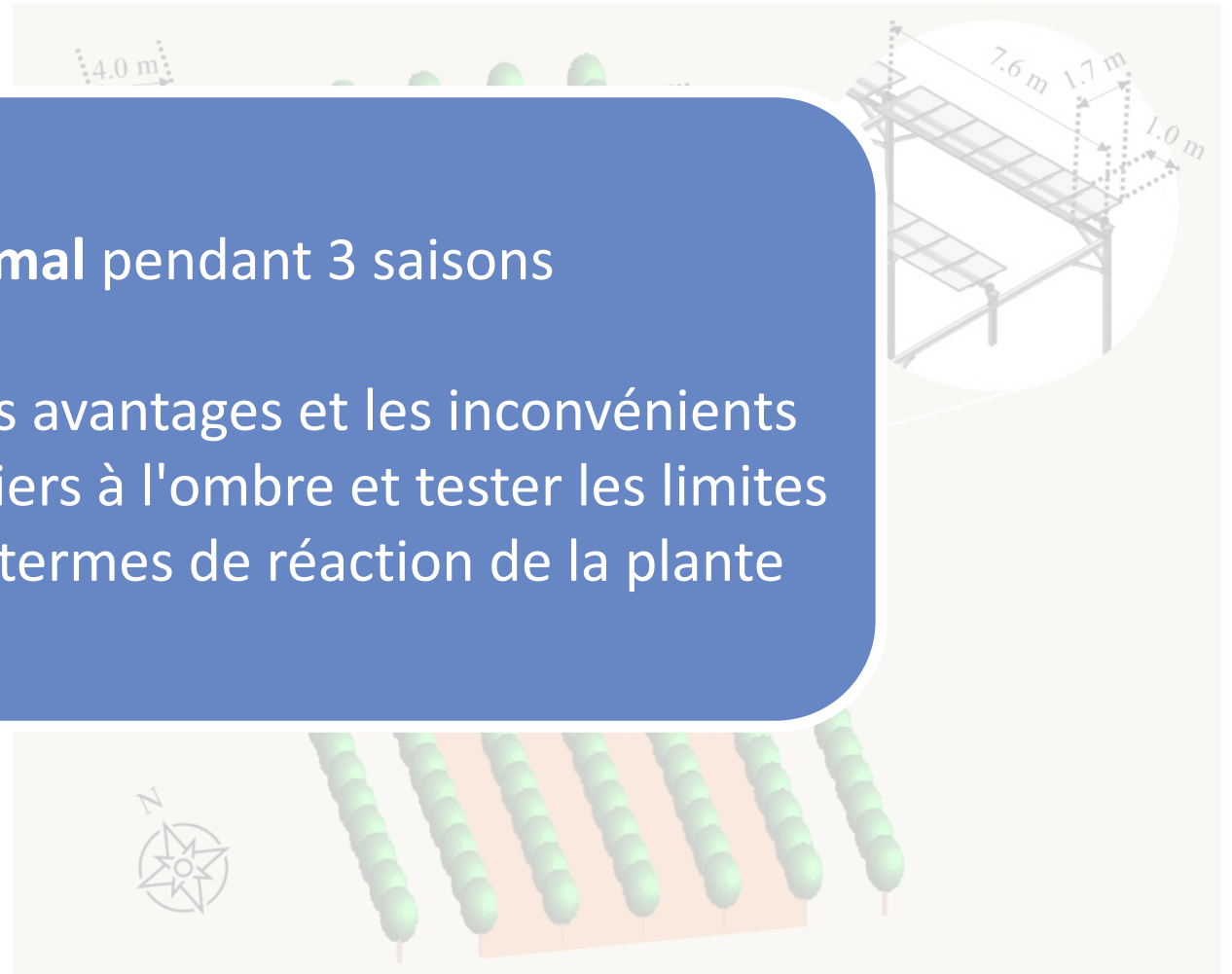


(France)

- Golden Delicious
- Verger mature (10 ans)
- Production Fruitière Intégrée
- Objectif de confort hydrique

Ombrage **maximal** pendant 3 saisons

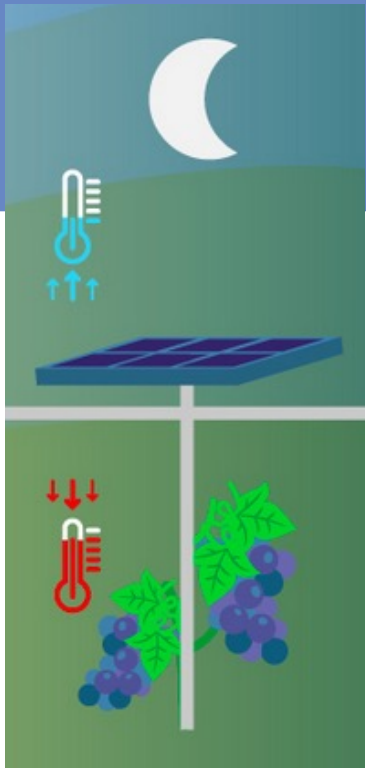
Objectif : comprendre les avantages et les inconvénients de l'exposition des pommiers à l'ombre et tester les limites de cette technologie en termes de réaction de la plante



Dispositif expérimental sur pommiers adultes

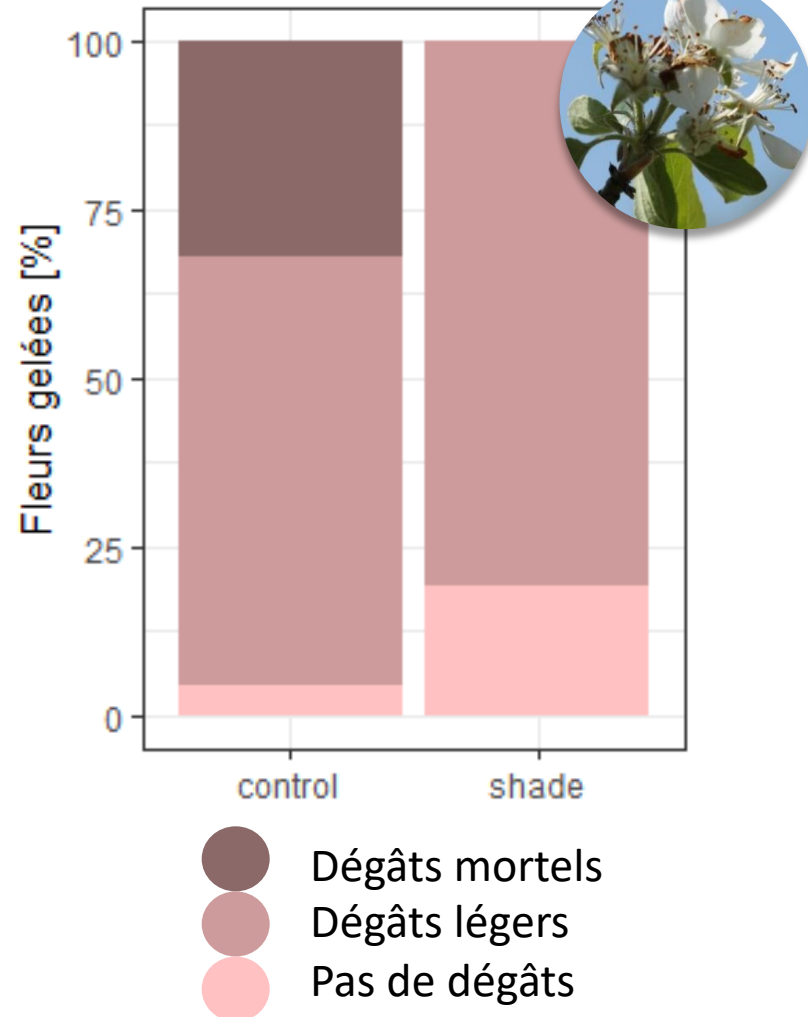


Un outil de protection climatique... contre le gel

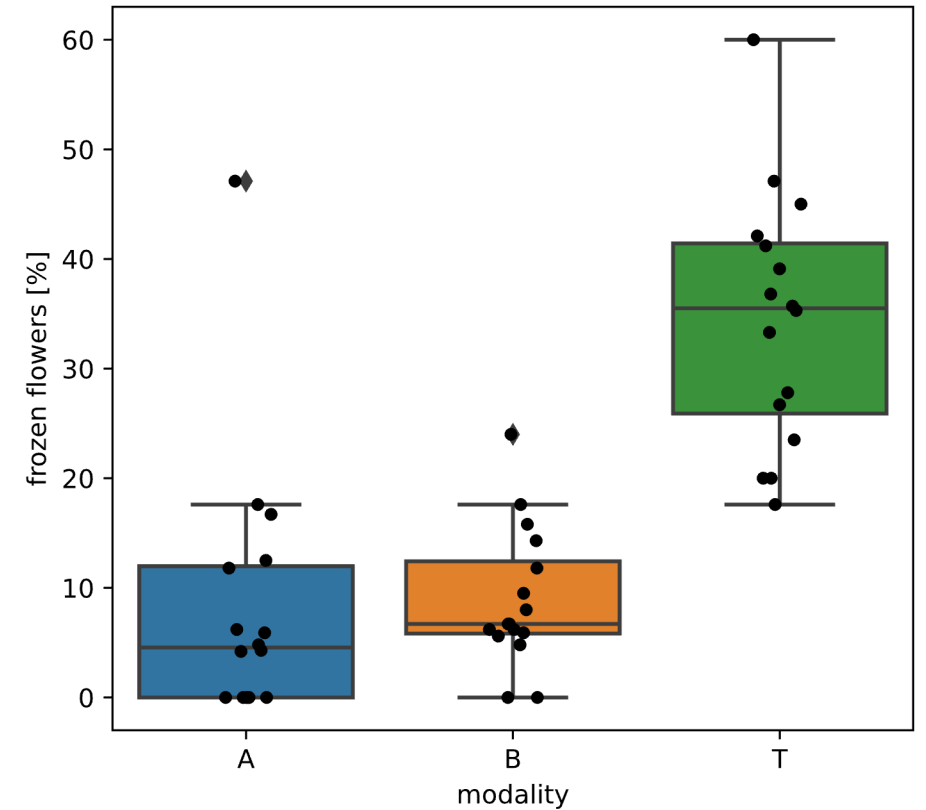


Augmentation de la
température proche
de la canopée sous
AVD

Pomme, avril 2021

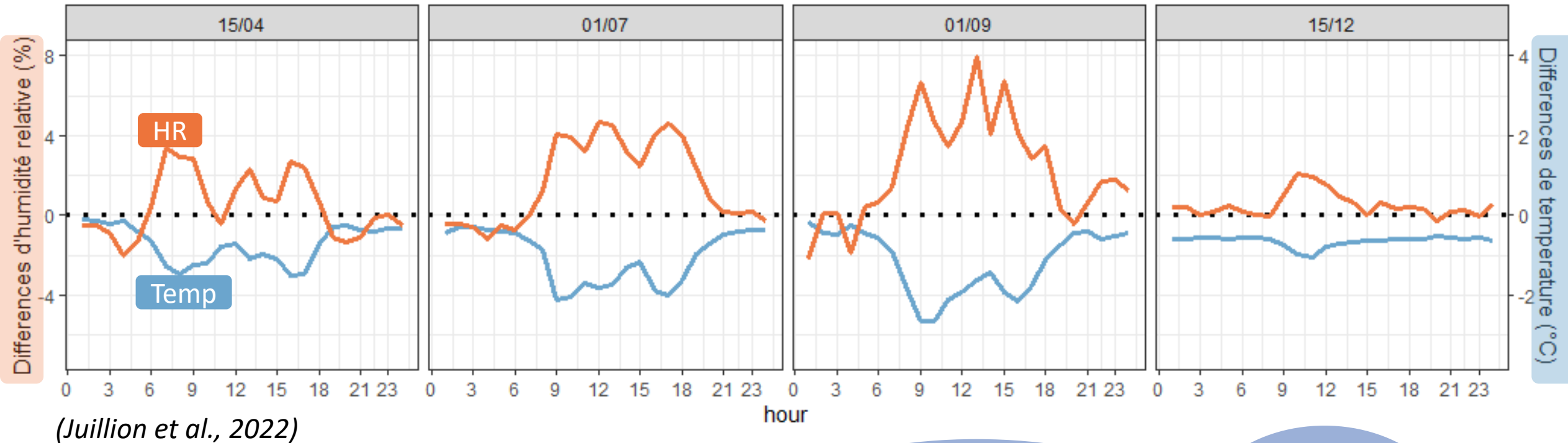


Nectarine, mars 2022



(Lopez et al., in press)

Un outil de protection climatique... contre les fortes chaleurs



En moyenne : -1,2°C et
+1,9%

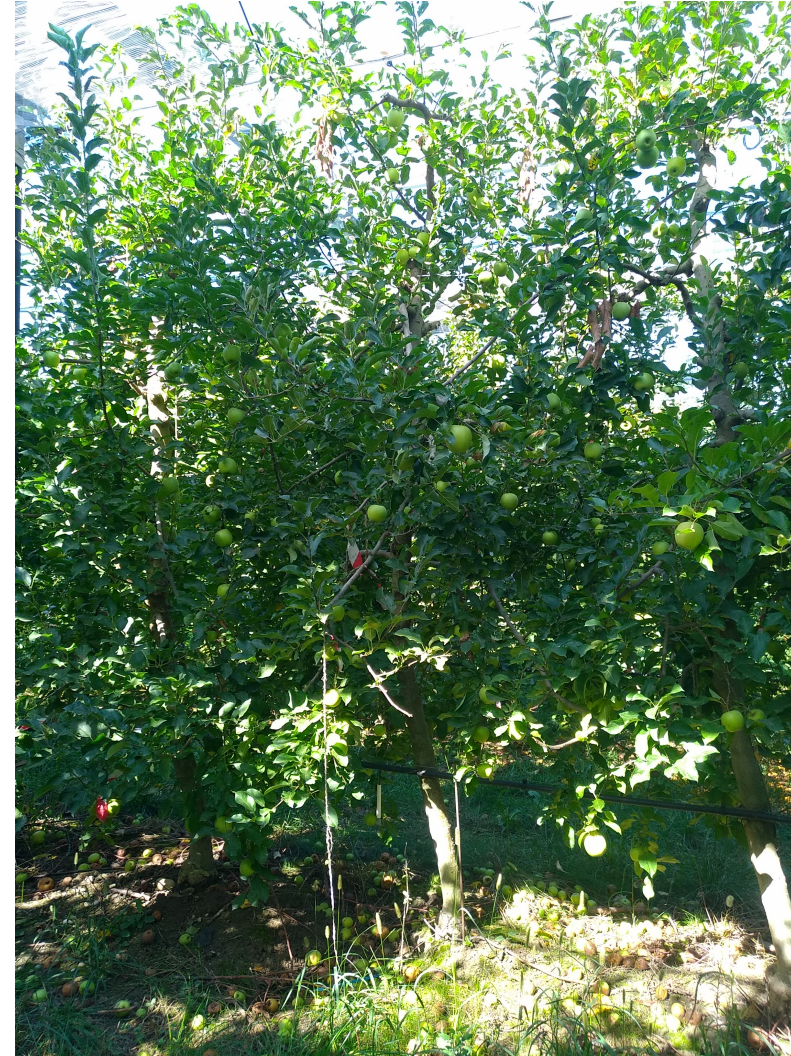
Jusqu'à -
3,8°C et
+14%
d'humidité
relative

Un outil de protection climatique... contre les fortes chaleurs

Arbres témoins



Arbres sous ombrage maximal



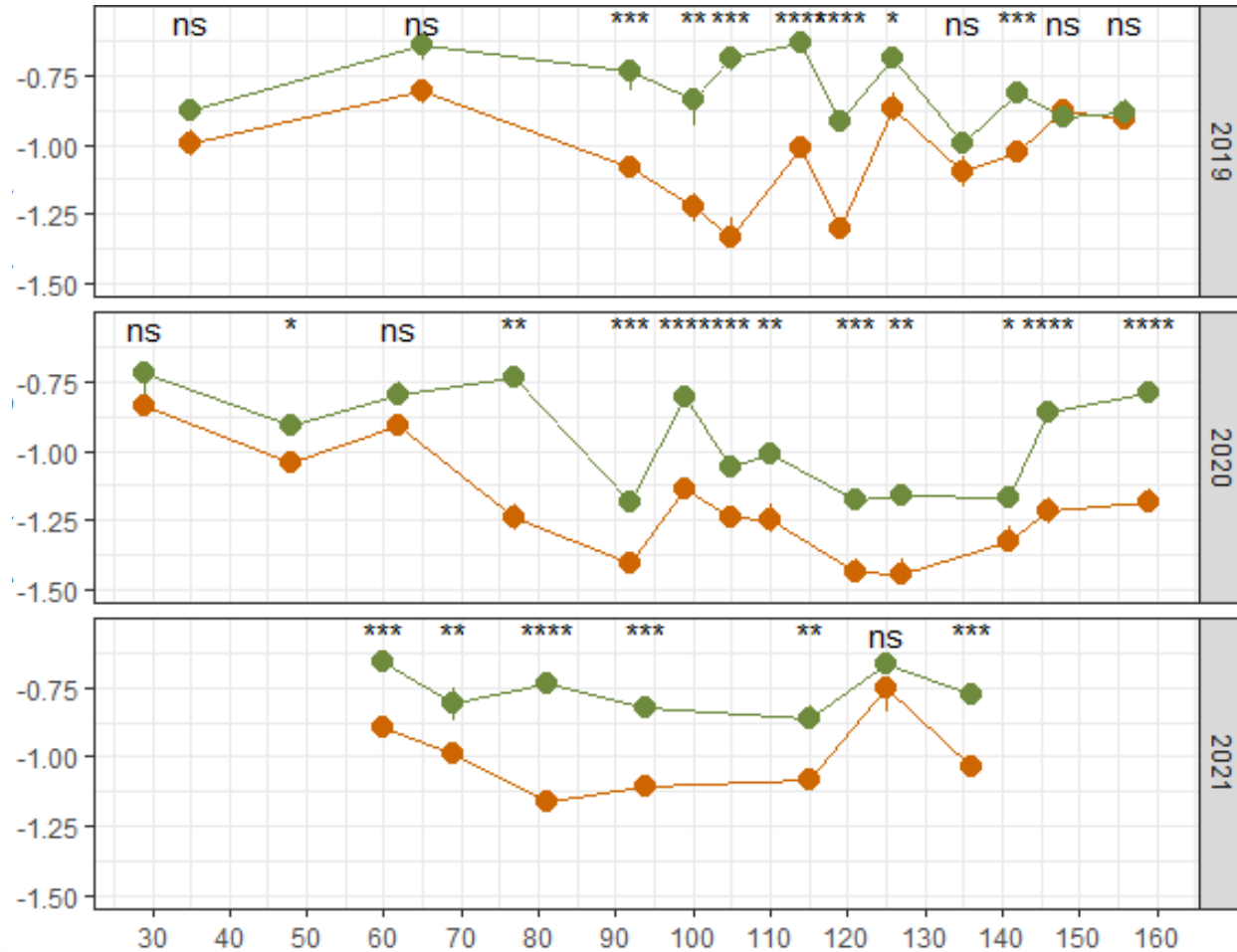
Photographies prises en août 2022

Un outil de protection climatique... qui permet des économies en eau

Arbres sous ombrage maximal

Arbres témoins

Potentiel hydrique de tige à midi (MPa)



Objectif confort
eau dans le sol

Ref : 700 mm

Année	Proportion irrigation sous ombrage	Cumul irrigation témoin
2019	- 30 %	1150 mm
2020	- 6 %	750 mm
2021	- 30 %	1380 mm

(Juillion et al., 2022)

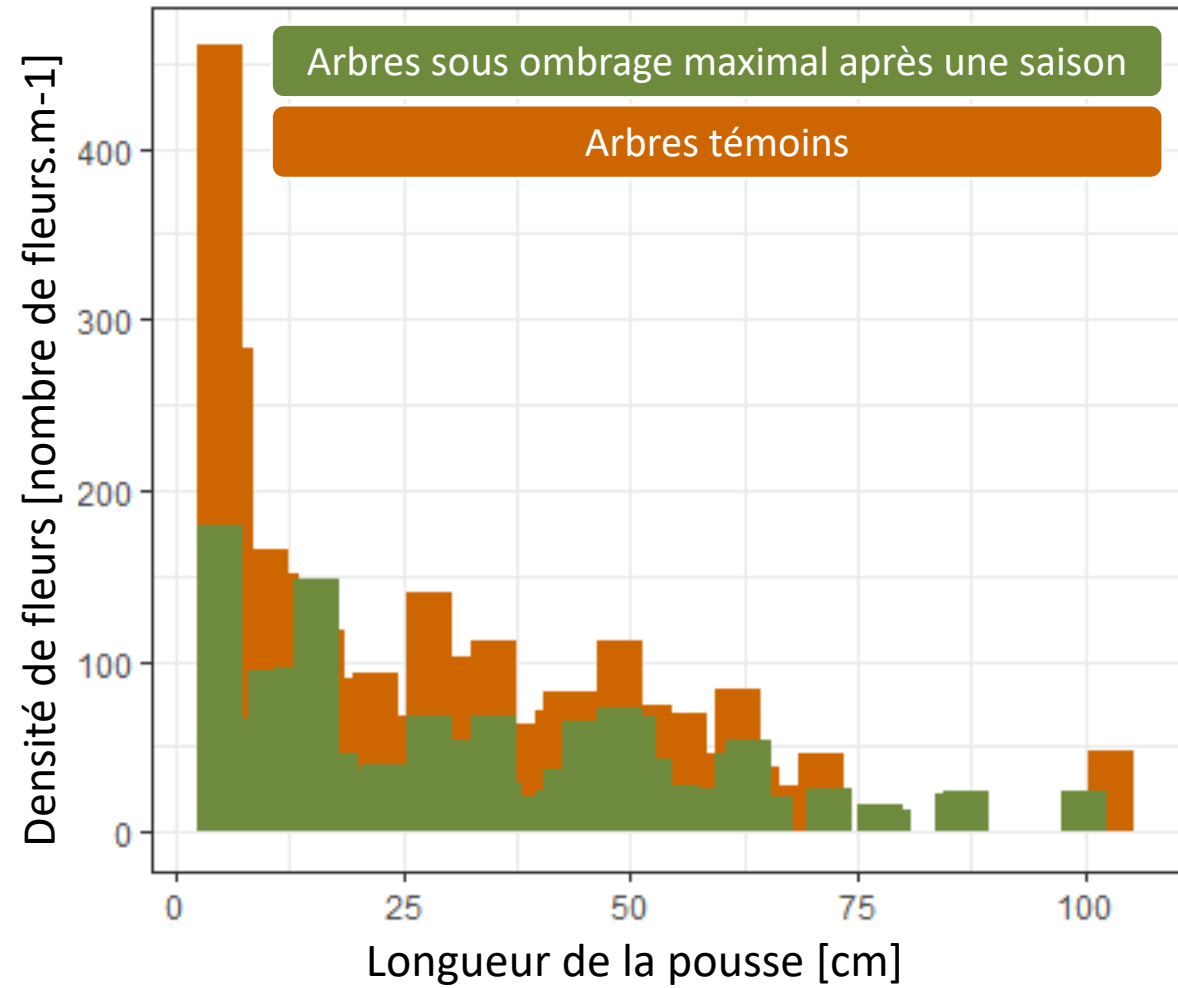
Statut hydrique
plus confortable
malgré économie
d'eau : demandes
climatiques
diminuées



Sun'Agri

Jours après la floraison

Les limites de l'ombrage maximal... sur le retour à fleurs



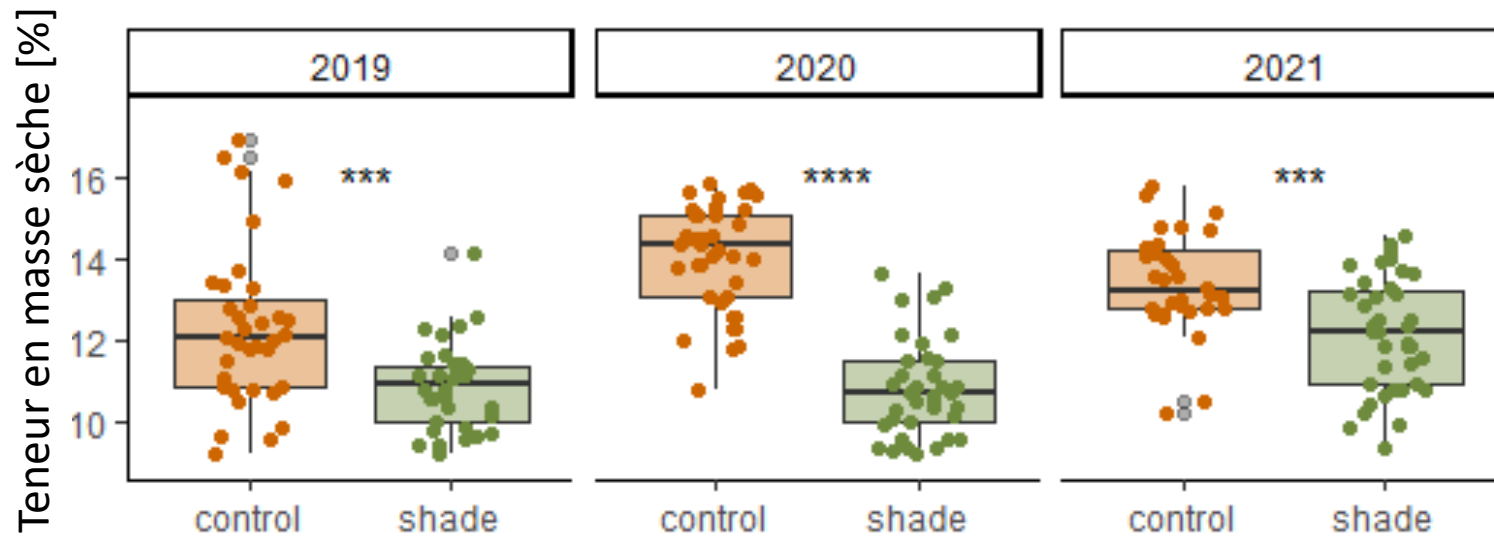
Sous ombrage maximal après une saison



Témoin

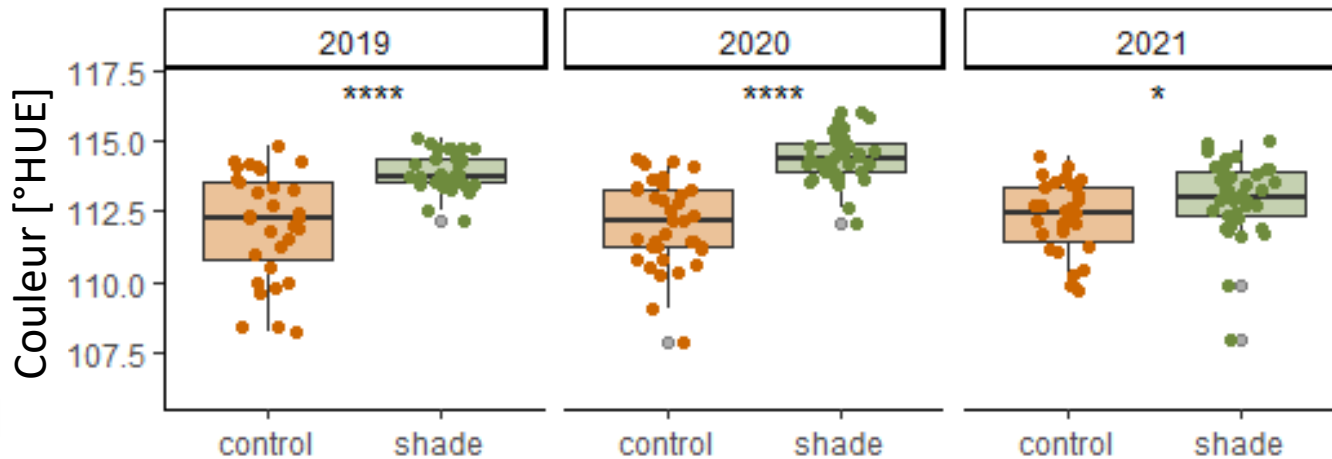
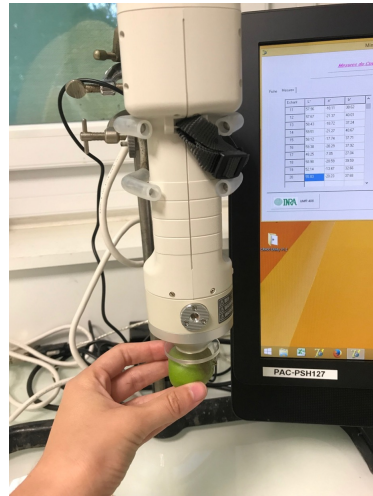
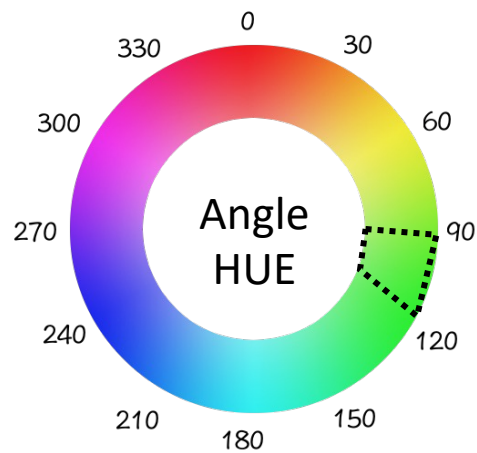
Les limites de l'ombrage maximal... sur la qualité des fruits

Teneur en masse sèche : Effet négatif de l'ombrage (Klein et al., 2001) = $\searrow$ acquisition carbonée + $\nearrow$ statut hydrique



Les limites de l'ombrage maximal... sur la qualité des fruits

Couleur : Effet négatif de l'ombrage (Solomakhin and Blanke 2010) dû à une teneur en chlorophylle supérieure

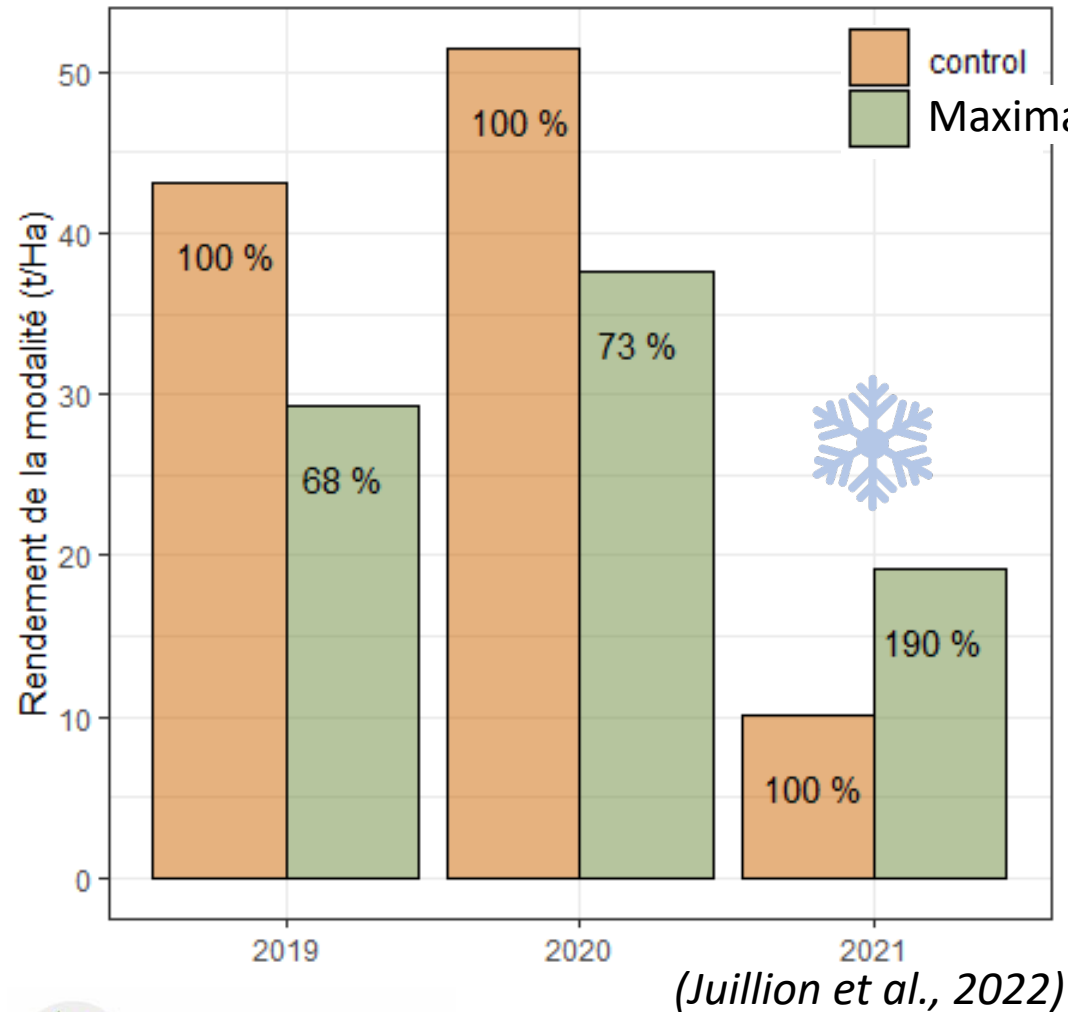


Couleur minimale pour la commercialisation (*ctifl.fr*)

Arbres témoins

Arbres sous ombrage maximal

Les limites de l'ombrage maximal ... sur le rendement



Réduction du rendement de 30% en **ombrage maximal** toute la saison

Protection contre le gel en 2021 a permis de doubler le rendement témoin



Bilan des apprentissages issus du premier dispositif en arboriculture



3 ans d'études des impacts de la stratégie limite sur le pommier

Effets de l'ombrage dynamique complexes car nombreuses interactions

Identification des périodes d'intérêt et à risque pour l'ombrage du pommier

Stratégie de pilotage adaptée aux besoins de la plante

EN PARALLELE
Développement du
modèle de croissance des
plantes

Projets pilotes en arboriculture : Premiers résultats en 2022



Loriol

Cerisiers



Etoile-sur-Rhône

Nectarines

Projets pilotes en arboriculture : Premiers résultats en 2022

- **Périodes d'effacement basées sur les résultats de la thèse** sur pommiers et compatibles avec la rentabilité économique du projet (production électrique)
- Dispositifs avec **plusieurs zones agrivoltaïques** permettant de tester différentes stratégies
- **Suivi agronomique pendant 3 ans** du fonctionnement des arbres fruitiers



Loriol

Cerisiers



Etoile-sur-Rhône

Nectarines

Les démonstrateurs à taille réelle : Inauguration en septembre 2022



Llupia

Poiriers

2.3 Ha



Sun'Agri



Merci pour votre écoute

perrine.juillion@sunagri.fr

Dispositifs expérimentaux passés

Vigne
 Arboriculture
 Maraîchage
 Autre culture

02 – R&D > Dispositifs expérimentaux

Grandes Cult. @Lavalette	Maraîchage @Lavalette	Expé viti @Pech Rouge	Expé Viti @LaGaillarde	Expé Agroforesterie @Restinclière	Maraîchage @Alénia
					
PV fixe plein champ 820m ² , ZT 2*250m ²	PV fixe plein champ 820m ² , AVD plein champ 2x400m ² ZT 1600m ²	Ombre fixe plein champ: 400m ² ; zone témoin 400m ²	Panneaux d'ombrage 230 bois + Témoin = ombrière	1 parcelle en 2019 + ZT 6 parcelles en 2020 + ZT	Ombre fixe sous serre : 400m ² (40m*10m) Zone témoin: 400m ²
Blé, salade, concombre	salades	Syrah	Syrah, clone 747 (2015)	Syrah, Grenache Noir	Tomate
2 modalités d'ombrages fixes	4 modalités d'ombrage allant de 30 % à 50 % Caractérisation écophysologique	Test de 2 niveaux d'ombrage, réponse écophysologique de la vigne	11 modalités, calibration et évaluation des modèles Cropsim vigne et AV-studio	Comparaison rendement, taux d'ombrage,	Comparaison rendement, caractérisation écophysologique
INRAE G-EAU (IRSTEA)	Sup Agro, INRAE G-EAU (IRSTEA)	INRAE – UE Pech Rouge	INRAE – UMR LEPSE (site de La Gaillarde)	INRAE – UMR SYSTEM Domaine de Restinclières	INRAE – UE maraîchage (Alénia)
programme Sun'Agri 1	programme Sun'Agri 2	programme Sun'Agri 2	programme Sun'Agri 3	programme Sun'Agri 3	programme Sun'Agri 3

Dispositifs expérimentaux en cours

Vigne
 Arboriculture
 Maraîchage
 Autre culture

02 – R&D > Dispositifs expérimentaux

Grandes Cult. @Lavalette	DE viti @Piolenc	Démonstrateur @Tresserre	DE arbo « LaPugère » @Mallemort	Cerise @Loriol	Pêche @Etoile
					
PV fixe plein champ 820m ² , AVD plein champ 2x400m ² ZT 1600m ²	AVD plein champ: 680m ² 2 zones témoins 340m ²	AVD plein champ: 4,5 ha Zone témoin: 3 ha	AVD plein champ: 720m ² (30m*24m) Zone témoin: 300m ²	AVD : 1440m ² ZT : 1440 m ²	AVD : ~350m ² ZT : ~350 m ²
Culture de Maïs	Grenache Noir (2000), sol plat exposé à contraintes h%	Grenache Blanc, Chardonnay, Marselan.	Golden 972 de 2010, 4m inter-rang, 1,3m entre-pied = 23*7 = 161 arbres	30 arbres en Burlat + 30 en Bigalise + Primulat	Pêcher Kinolea
4 modalités d'ombrage allant de 30 % à 50 % Réponse au déficit hydrique sous ombrage	Test de 2 stratégies AVD, validation des modèles Cropsim vigne et AV-studio	3 zones de pilotages + témoin	Test stratégie d'ombrage extrême (Full tracking) + analyse effets Est/Ouest	Comparaison rendement, modèle de croissance	Comparaison rendement, modèle de croissance
Sup Agro, INRAE G-EAU (IRSTEA)	CA84 = proprio et presta suivi cultural	M. Escudier	Station expérimentale « La Pugère »	M. Clair	SEFRA
Construit > Fin programme Sun'Agri 3	Construit (2018) Fin programme Sun'Agri 3	Construit (Q1 20118) > Fin programme Sun'Agri 3	Construit (2019) Fin programme Sun'Agri 3	Construit (Q1 2022) Programme 5 ans	Construit (Q1 2022) Programme 5 ans



Sun'Agri3

Sun'Agri is member of the R&D project
"Sun'Agri 3",
supported by the PIA 2
(Programme d'investissement d'avenir),
under the ADEME Grant Agreement
N°1782C0103.



Merci à l'unité PSH de l'INRAE Avignon
Merci à la station expérimentale de la
Pugère

