

➤ L'agroforesterie pour faire face aux épisodes de sécheresse ?

Marie Gosme, Guillaume Blanchet, Pablo Rostand, Lydie Dufour, Christian Dupraz
INRAE, UMR Absys, Montpellier

➤ Introduction

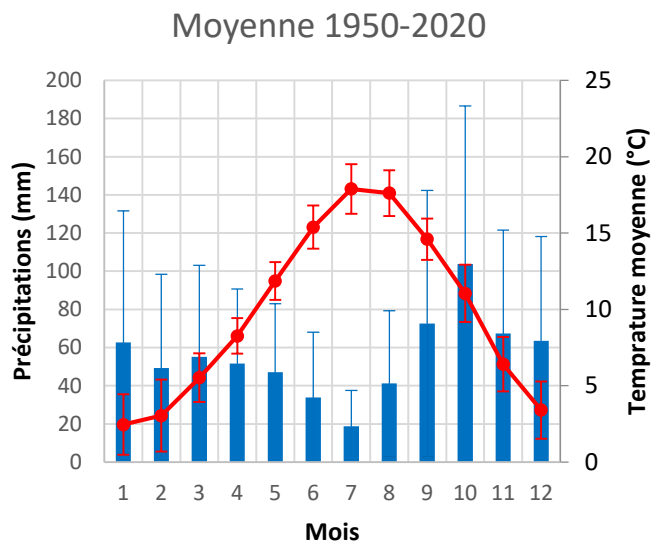


INRAE

L'agroforesterie pour faire face à la sécheresse
15/12/2021 / Formation FNE / Marie Gosme

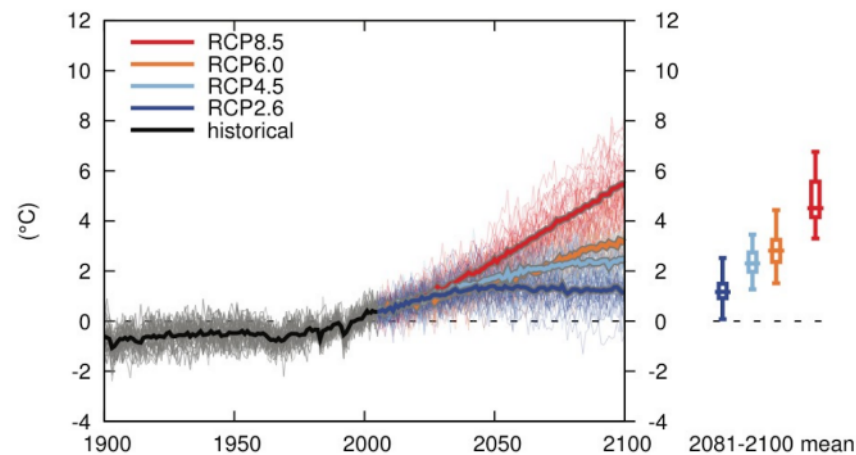


➤ Le climat méditerranéen (actuel et futur)



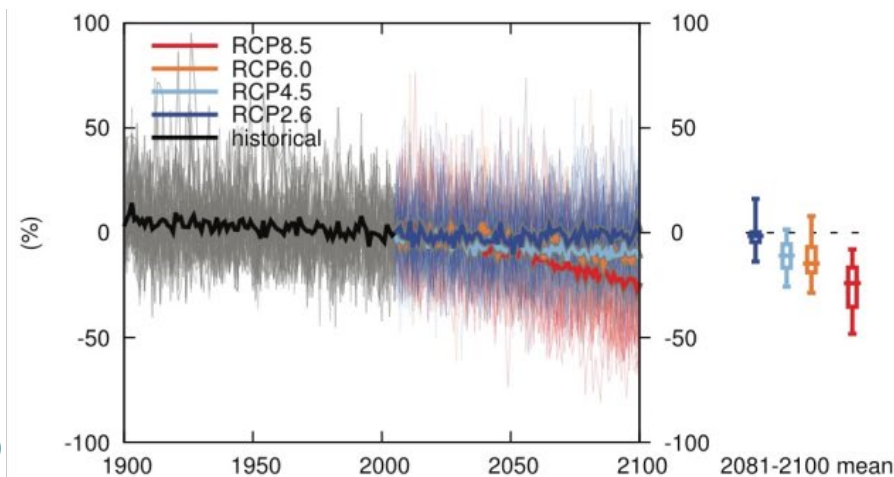
Source: Climatik (station météo de Maugeio, Occitanie, France)

Evolution de la température moyenne annuelle



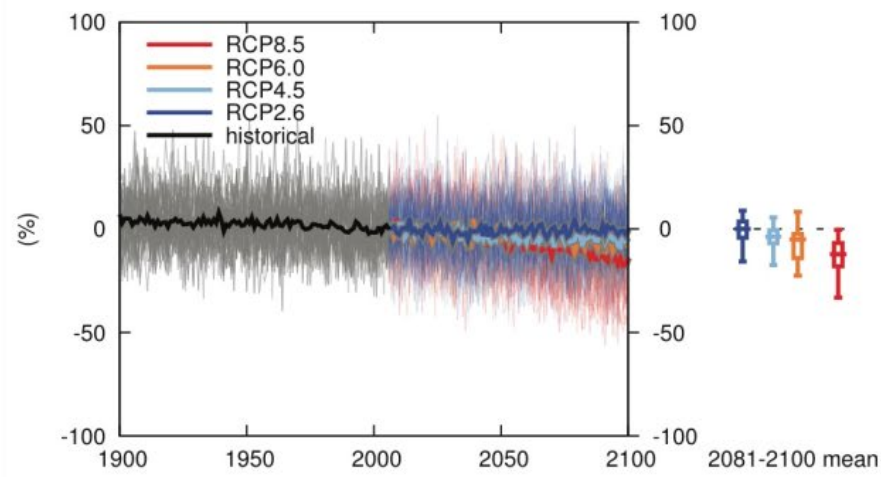
Source: 5^{ème} rapport du GIEC

Evolution de la température moyenne entre Avril et Septembre



Source: 5^{ème} rapport du GIEC

Evolution de la température moyenne entre Octobre et Mars

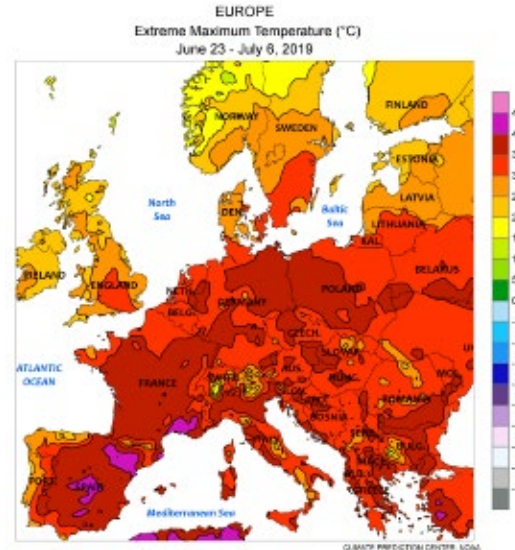


Source: 5^{ème} rapport du GIEC

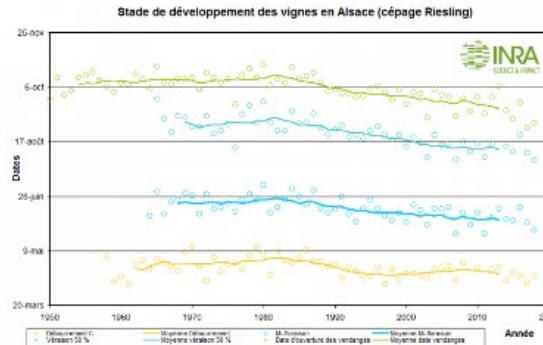


➤ Impacts sur les cultures

Vagues de chaleur
Exemple: Europe, 23 Juin
– 6 Juillet 2019



Phénologie précoce
⇒ Augmentation du risque
de gelées printanières
Exemple: 4-8 Avril, 2021



Sécheresse
Exemple: Eté ~~2018~~
~~2019~~
2020



INRAE

L'agroforesterie pour faire face à la sécheresse
15/12/2021 / Formation FNE / Marie Gosme



➤ L'agroforesterie est-elle une solution ?

Ombre:

- Réduit la température le jour
- Réduit l'évapotranspiration

Masque nocturne:

- Réduit le refroidissement radiatif

Décalage phénologique des cultures

- Diminue le risque de gelée printanière
- Allongement de la période de croissance?

Augmentation de la matière organique du sol

- Augmentation de la réserve utile

Racines profondes

- Amélioration de l'infiltration



Compétition pour la lumière

Augmentation du risque de stress thermique de fin de cycle



Compétition pour l'eau
Compétition pour les nutriments

➤ Hypothèses à tester

L'agroforesterie permet de limiter les effets négatifs du changement climatique sur les cultures via les mécanismes suivants :

- La réduction de l'évapotranspiration en agroforesterie augmente la disponibilité en eau du sol et réduit le stress hydrique de la culture
 - La réduction du rayonnement arrivant aux cultures et la réduction du stress hydrique réduisent le stress thermique des cultures
 - Le décalage de la maturité permet un allongement du cycle de la culture, permettant de compenser (en partie) la compétition pour la lumière
- ⇒ Expérimentation de sécheresse artificielle dans une culture de pois sous des noyers
- ⇒ Expérimentation de réduction d'irrigation dans une culture de maïs sous des noyers

➤ Matériel et méthodes



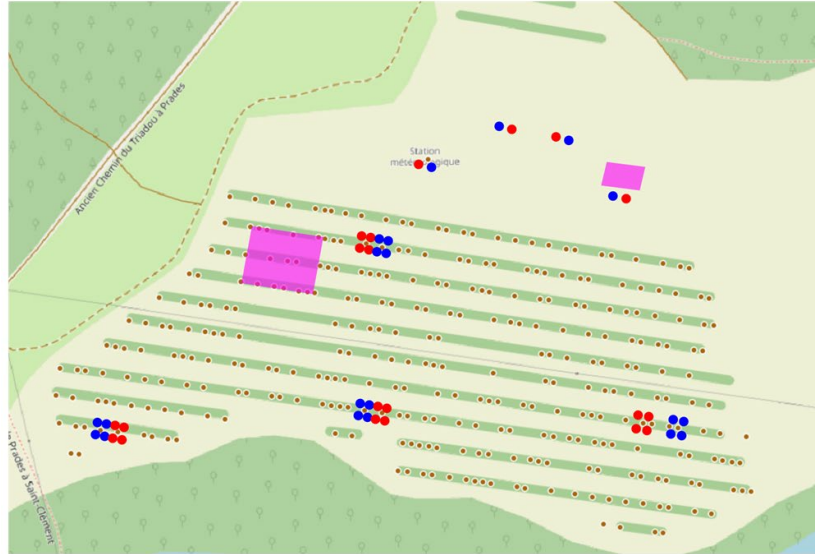
INRAE

L'agroforesterie pour faire face à la sécheresse
15/12/2021 / Formation FNE / Marie Gosme



➤ Expérimentation d'exclusion de pluie

- Dispositif expérimental



- tente
- disque exclu
- disque témoin non exclu



➤ Mesures réalisées

Prélèvements de sol



Humidité du sol
(TDR)



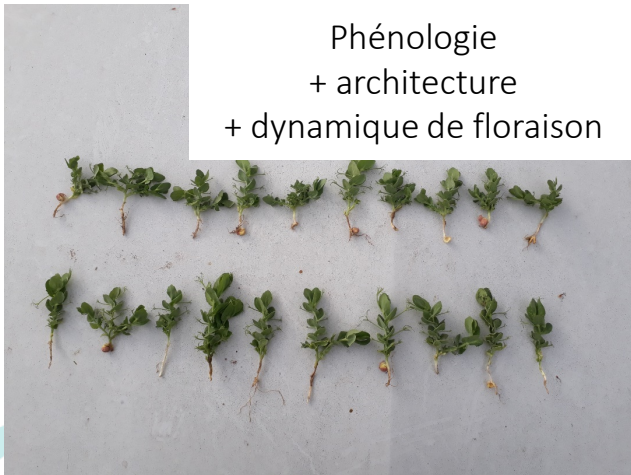
Microclimat
+ PAR intercepté
+ température de culture



Photographies
hémisphériques:
compétition pour
la lumière



Phénologie
+ architecture
+ dynamique de floraison



LAI
+ greenseeker



Dynamique
d'accumulation de
biomasse

Récolte
manuelle
(biomasse,
composantes du
rendement,

➤ Expérimentation de réduction d'irrigation

Dispositif expérimental

Bleu: irrigation optimale (40 mm dès que 10 % des plants ont des symptômes de stress hydrique), transparent: irrigation réduite (30 mm quand 50% des plants ont des symptômes de stress hydrique) ou pas d'irrigation



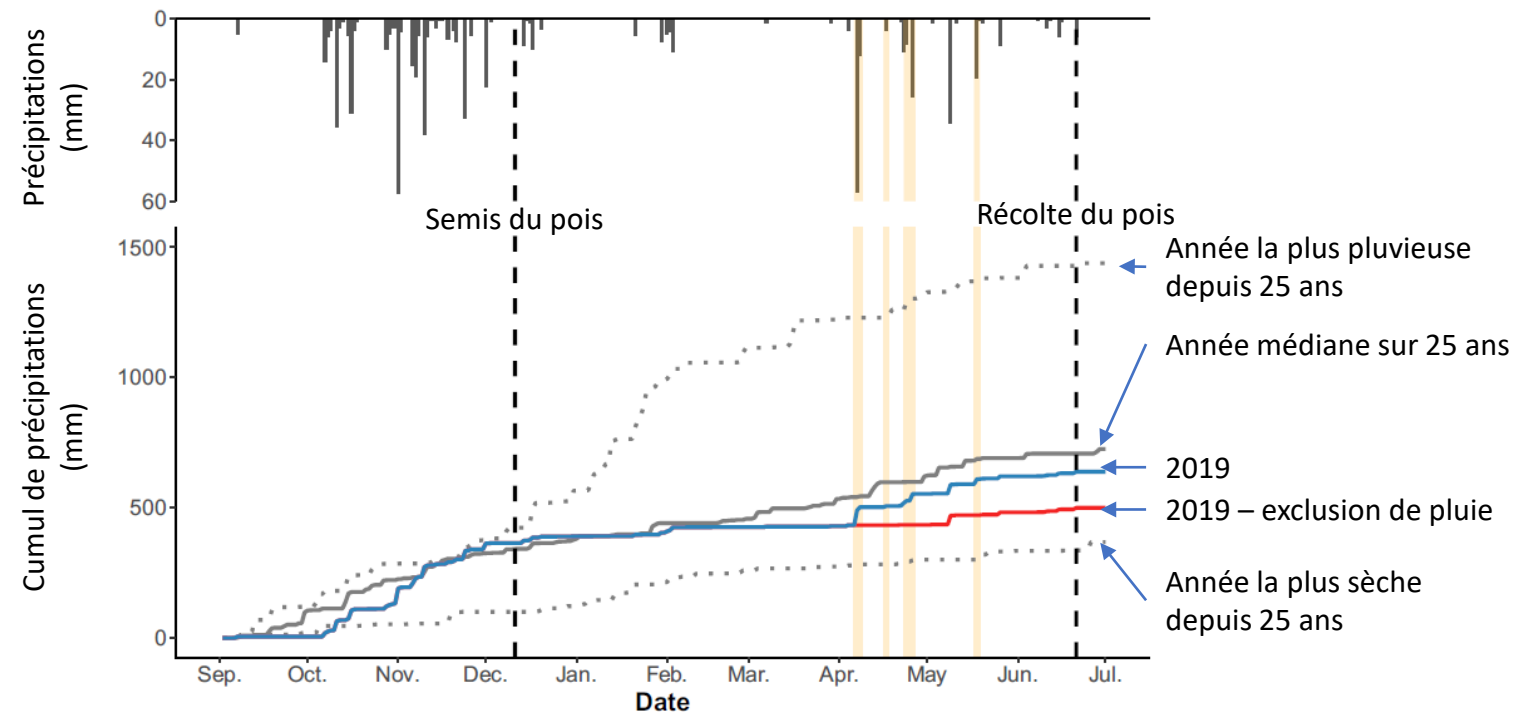
➤ Expérimentation de réduction d'irrigation – mesures réalisées



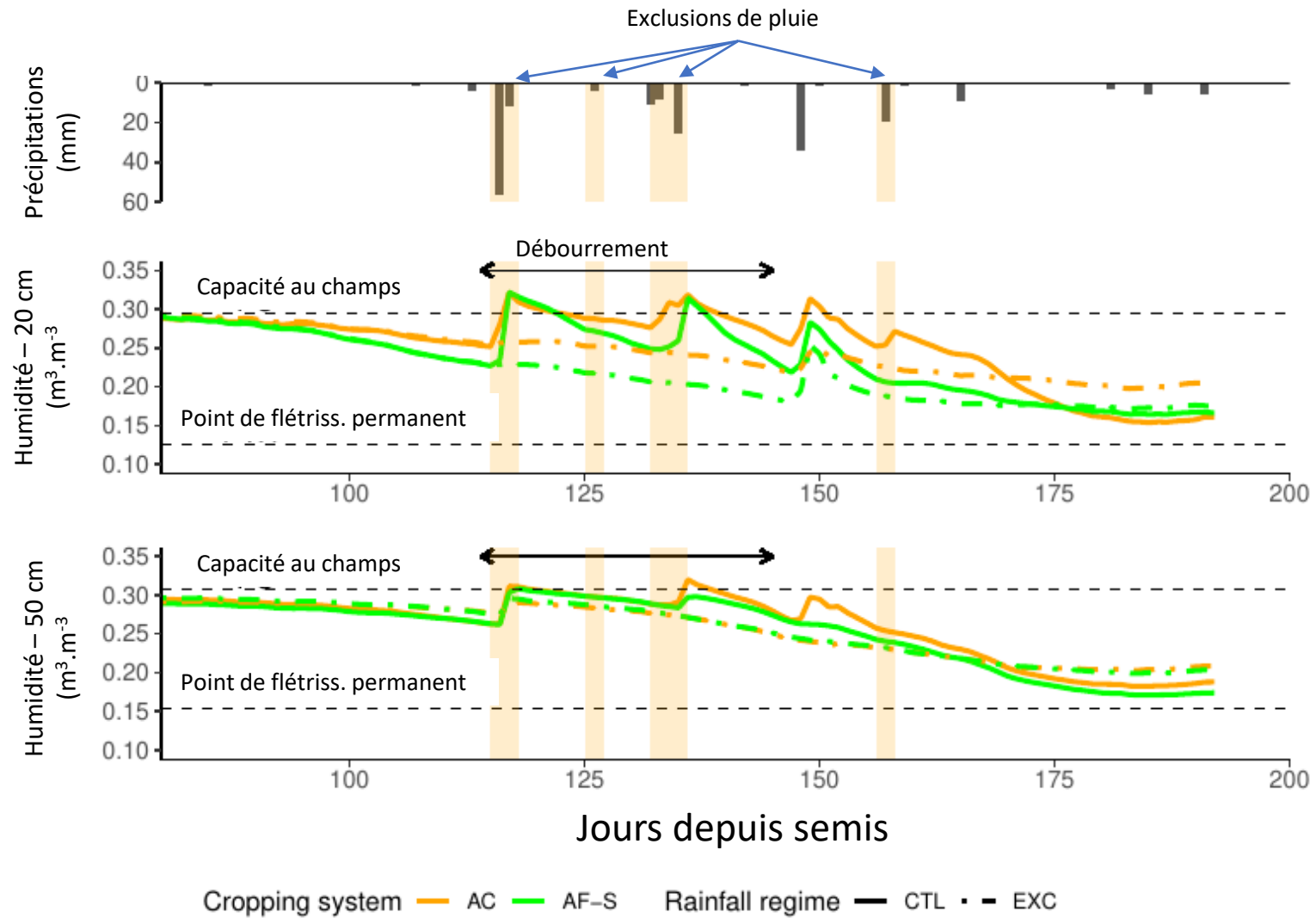
➤ Résultats

1) réponse du pois à la sécheresse

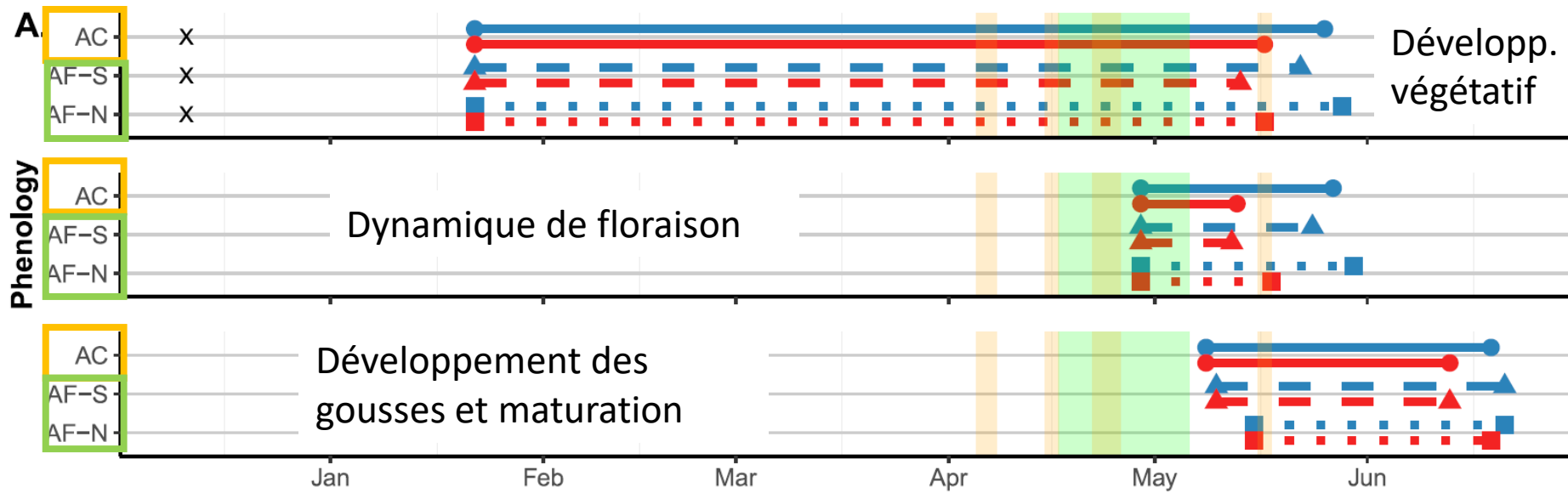
manipe pois 2019 - cumuls de précipitations de Septembre à Juin



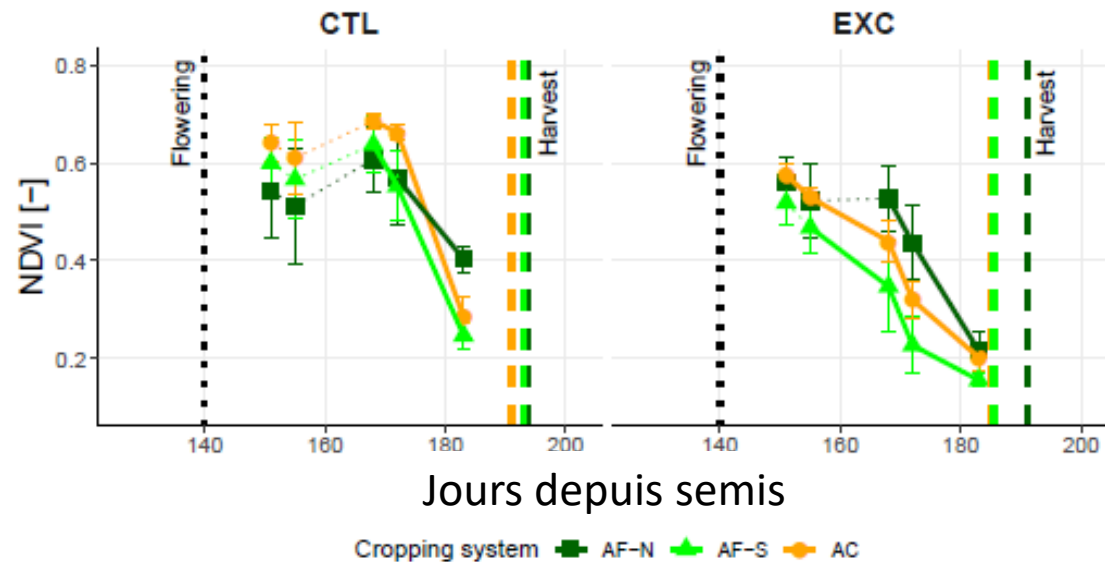
➤ Résultats : Humidité du sol



➤ Résultats : Phénologie du pois

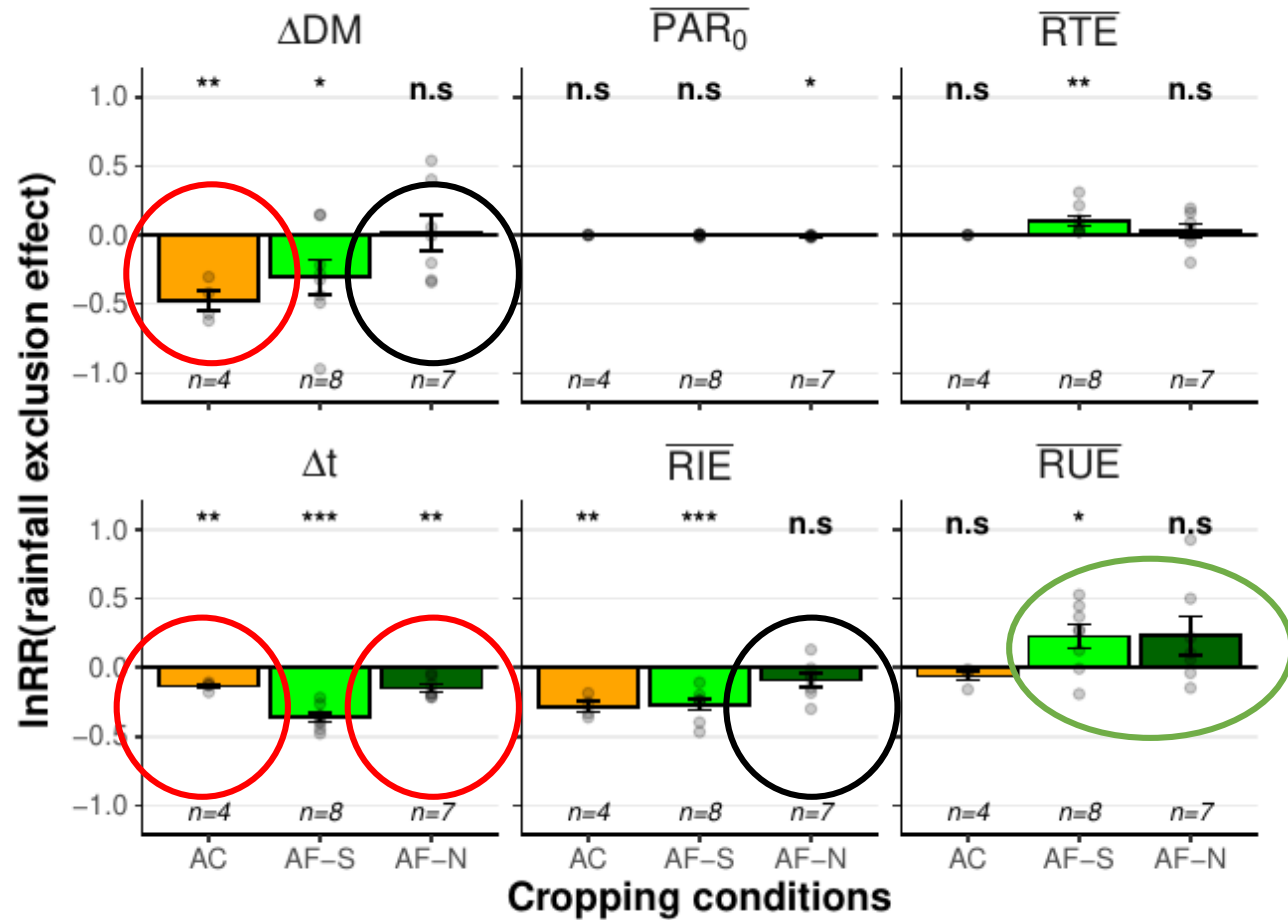
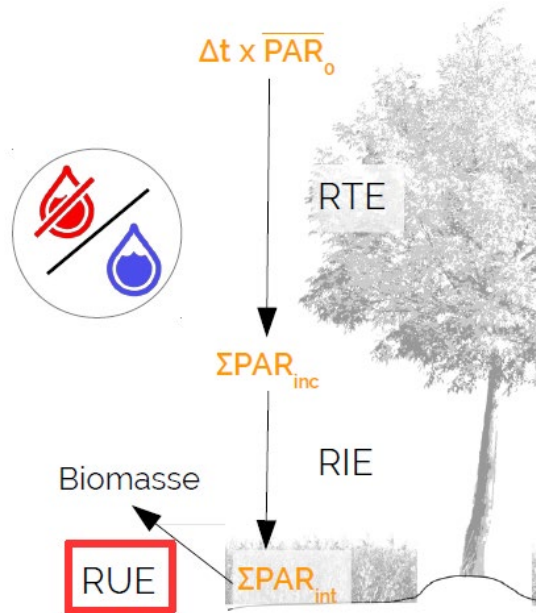


CTL
EXCL

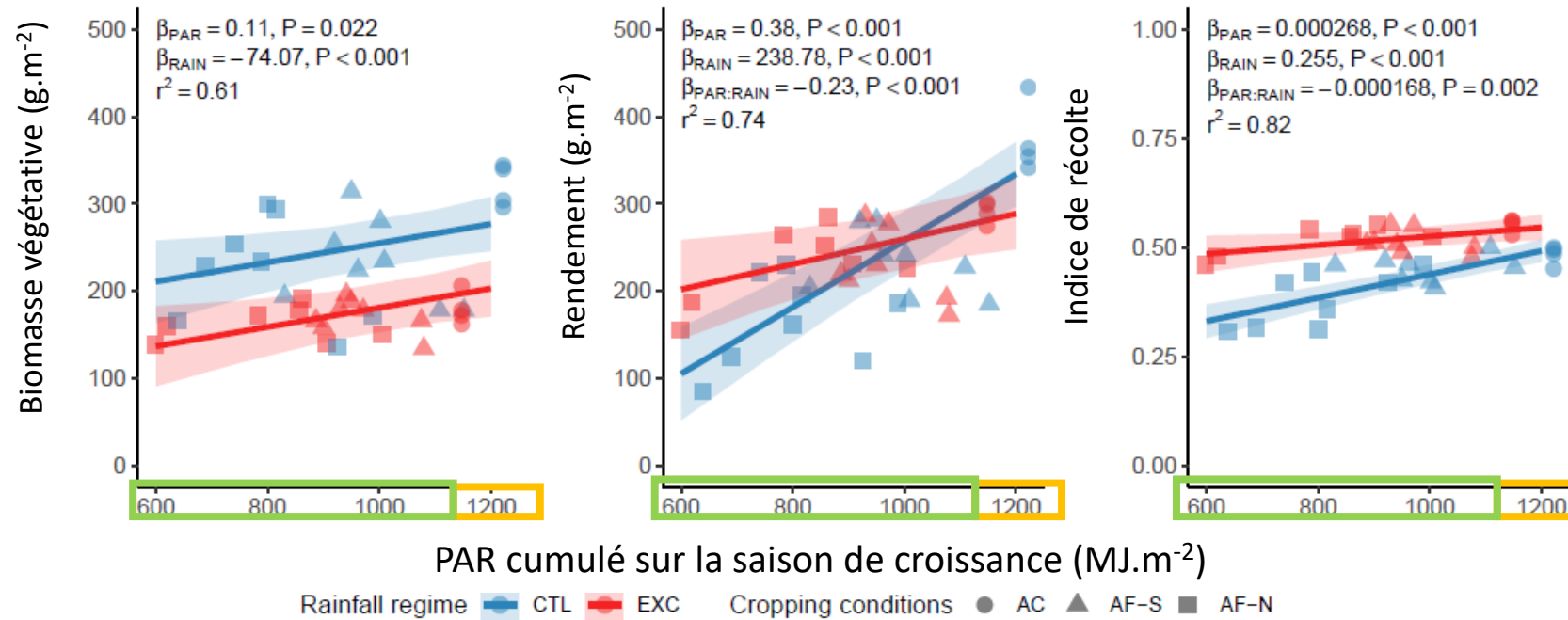


➤ Résultats – Effet de la sécheresse sur les termes de l'équation d'accumulation de biomasse

$$\Delta DM = \Delta t \times \overline{PAR}_0 \times RTE \times RIE \times RUE \longrightarrow \frac{\Delta DM}{\Delta DM} = \frac{\Delta t \times \overline{PAR}_0 \times RTE \times RIE \times RUE}{\Delta t \times \overline{PAR}_0 \times RTE \times RIE \times RUE} \longrightarrow \ln(a \times b) = \ln(a) + \ln(b)$$



➤ Résultats : rendement du pois



➤ Conclusion expé pois

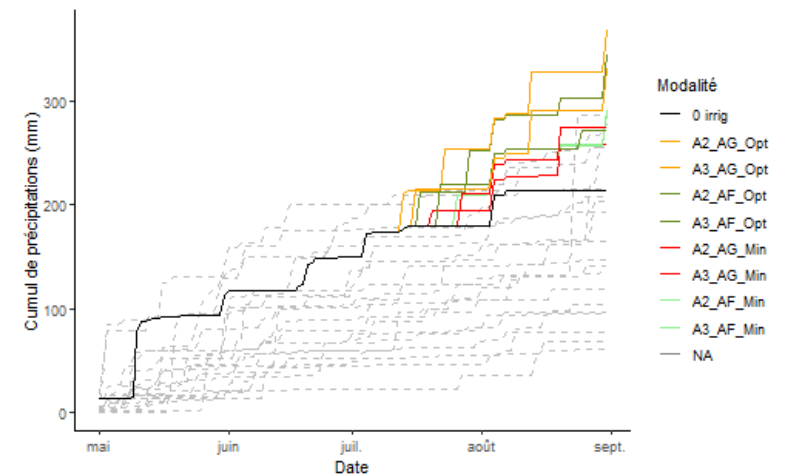
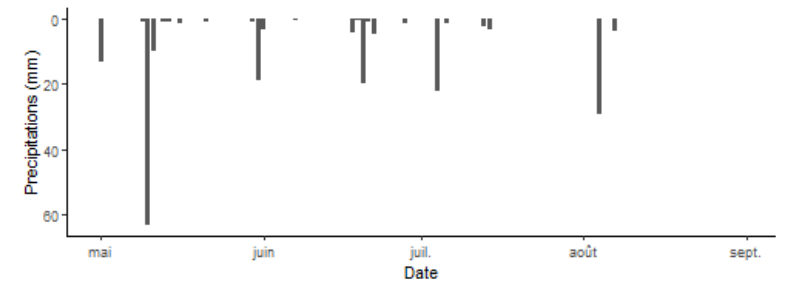
- La réduction de l'évapotranspiration en agroforesterie augmente la disponibilité en eau du sol et réduit le stress hydrique de la culture
 - Oui à 20 cm sous pluviométrie normale
 - Oui : conductance stomatique plus élevée
- La réduction du rayonnement arrivant aux cultures et la réduction du stress hydrique réduisent le stress thermique des cultures
 - Pas pu tester car pas de fortes températures cette année-là
- Le décalage de la maturité permet un allongement du cycle de la culture
 - Oui, mais ce n'est pas suffisant pour compenser la réduction du cycle due à la sécheresse, et forte hétérogénéité spatiale de la maturité à travers l'allée cultivée



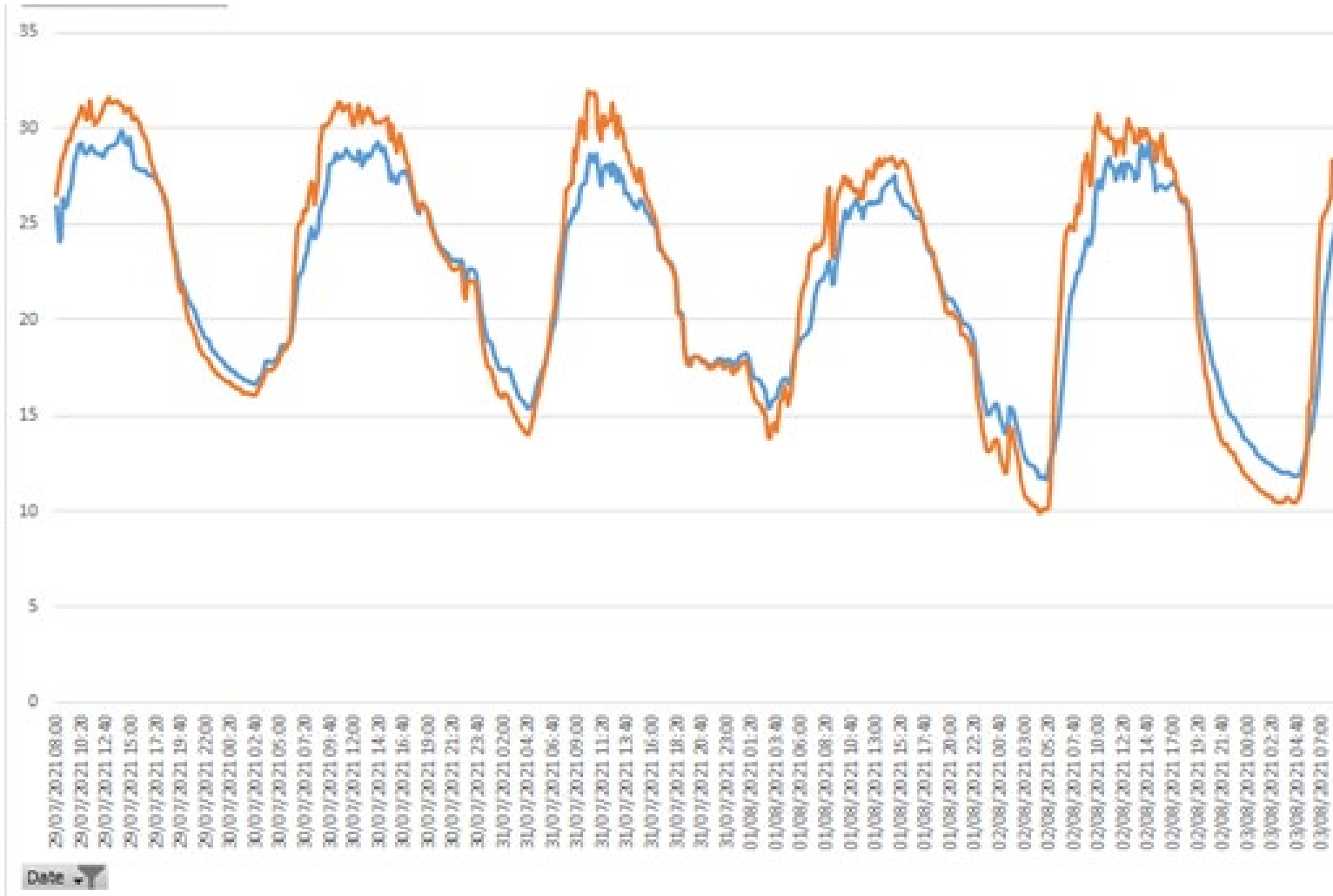
➤ Résultats

2) maïs et irrigation réduite

manipe maïs 2021 - cumuls de Mai à Aout



➤ Température du maïs



AC

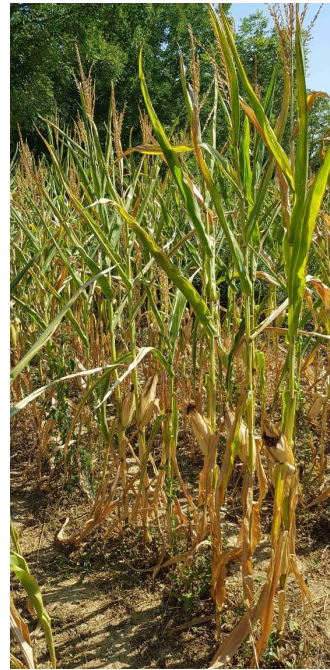
AF

→ Fort rafraichissement diurne
(3° le matin ; 2° l'après-midi)

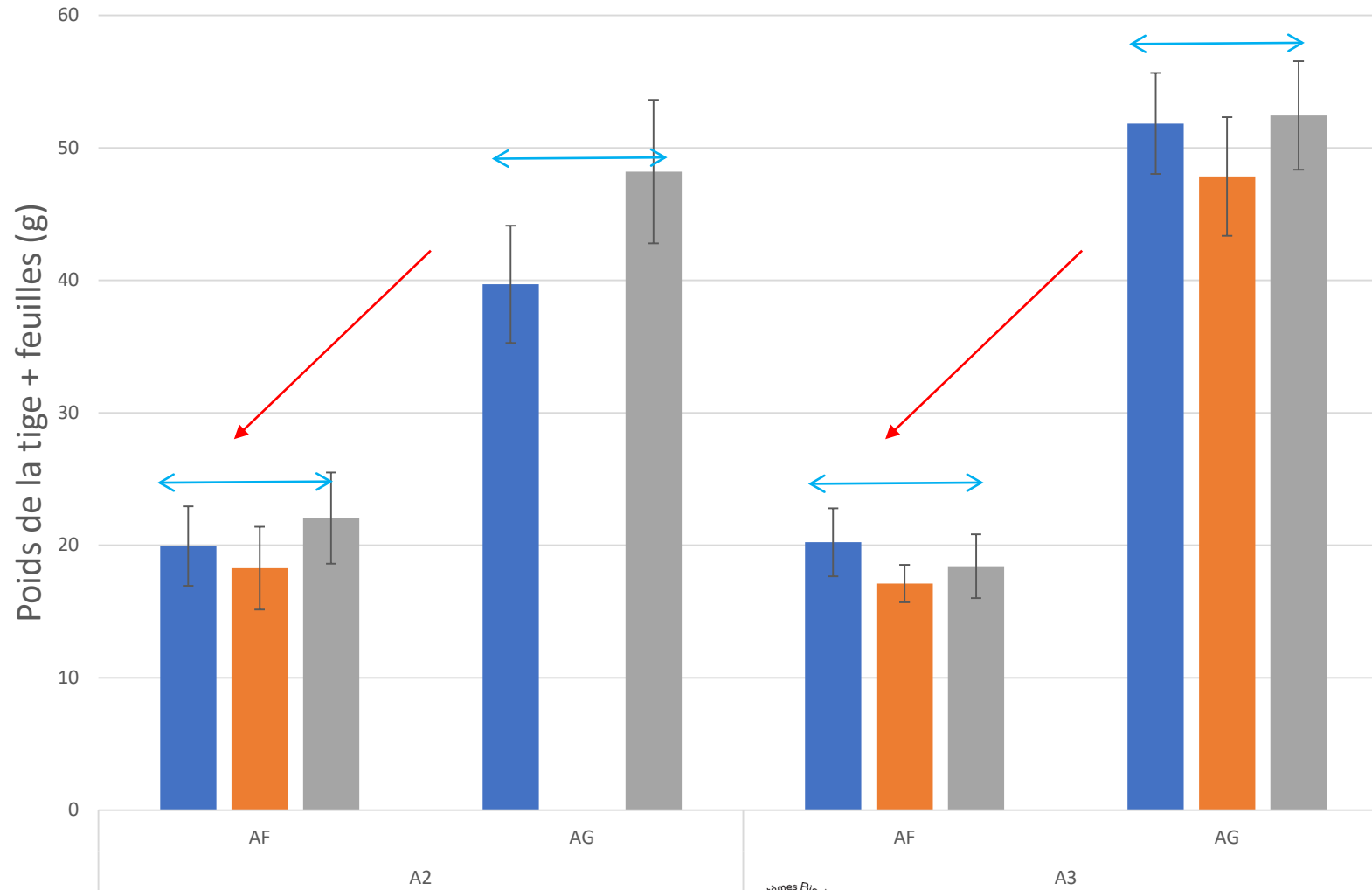
→ Échauffement nocturne

➤ Décalage phénologique

- Observations :
 1. Retard systématique en AF par rapport à l'AG en termes de stades phénologiques
 2. Les parcelles non irriguées sont systématiquement les plus avancées dans le cycle
- Ainsi la floraison s'est étendue sur 4 semaines (de mi-juillet pour les plus précoces à début août pour les plus tardifs)
- La fin de sénescence a commencé dès début septembre pour les parcelles AG Min0, et jusqu'à mi-octobre pour les placettes les plus à l'ombre



➤ Biomasse végétative

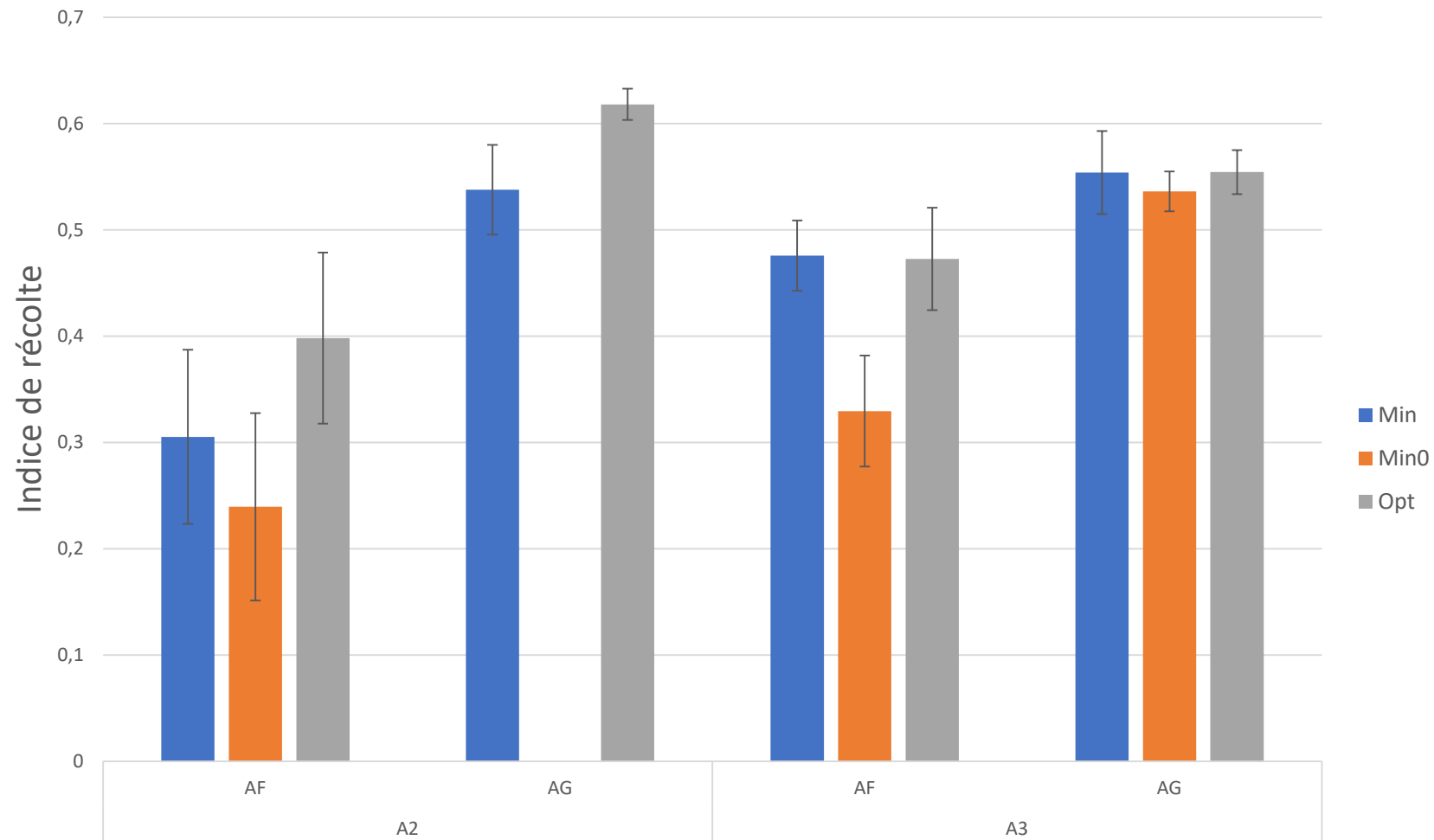


➔ Forte réduction de la biomasse à l'ombre

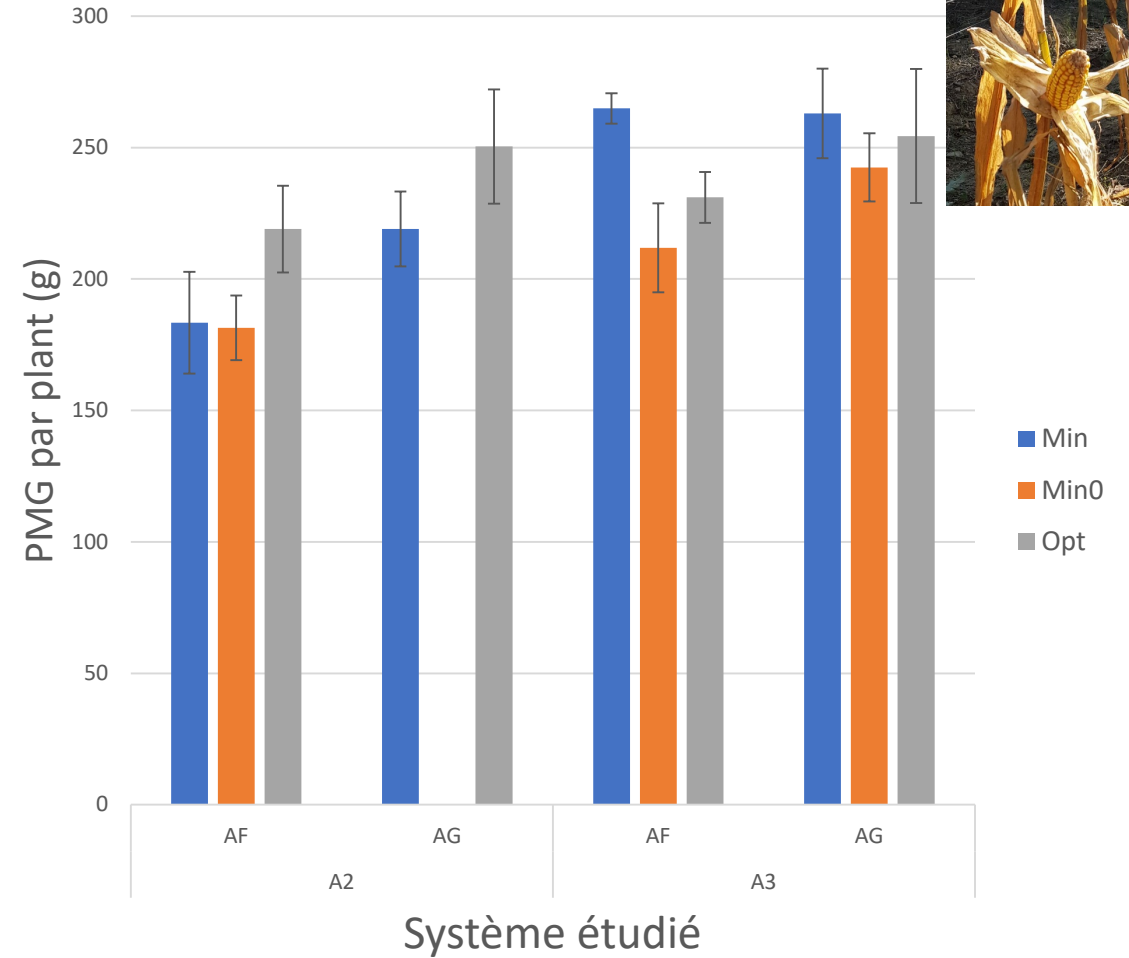
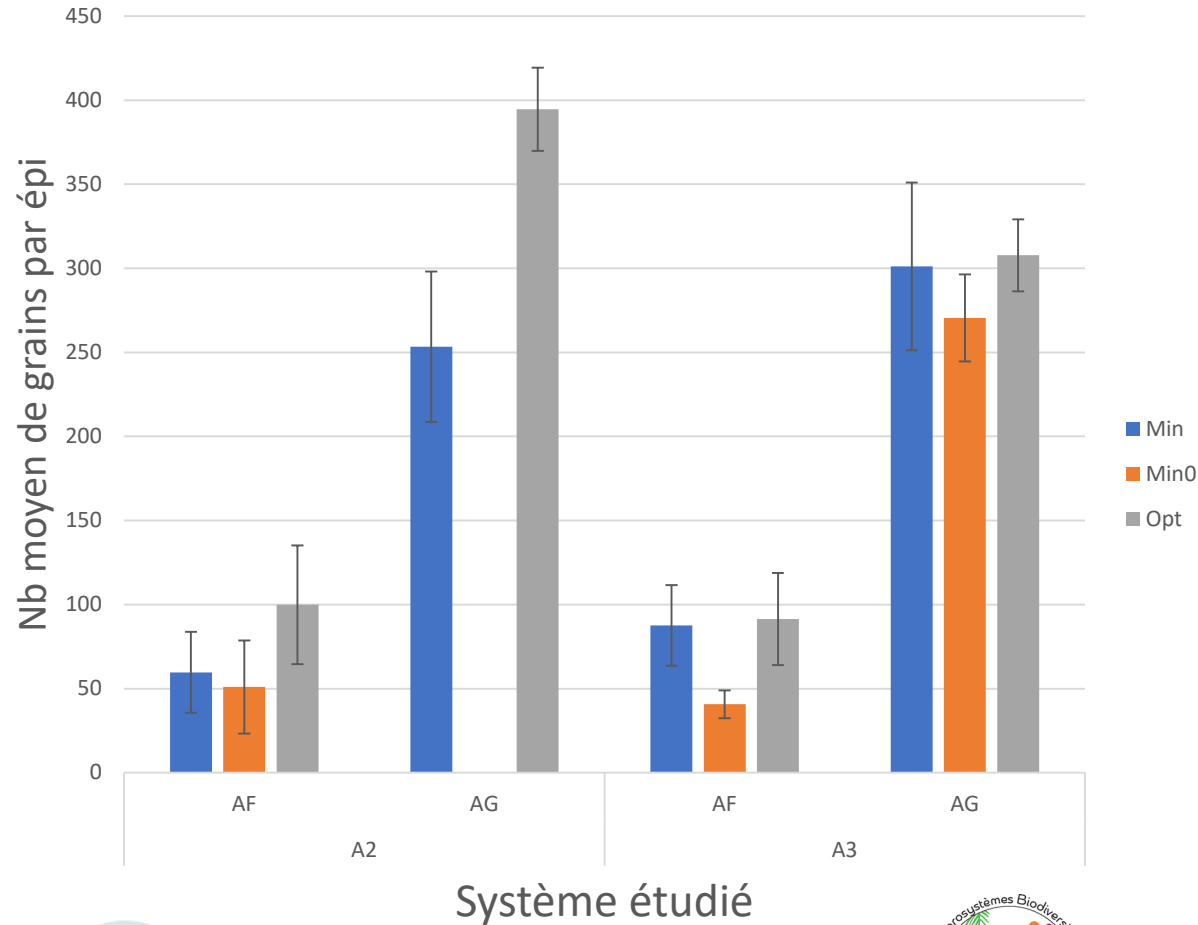
➔ Peu de différence entre les différents régimes d'irrigation

■ Min
■ Min0
■ Opt

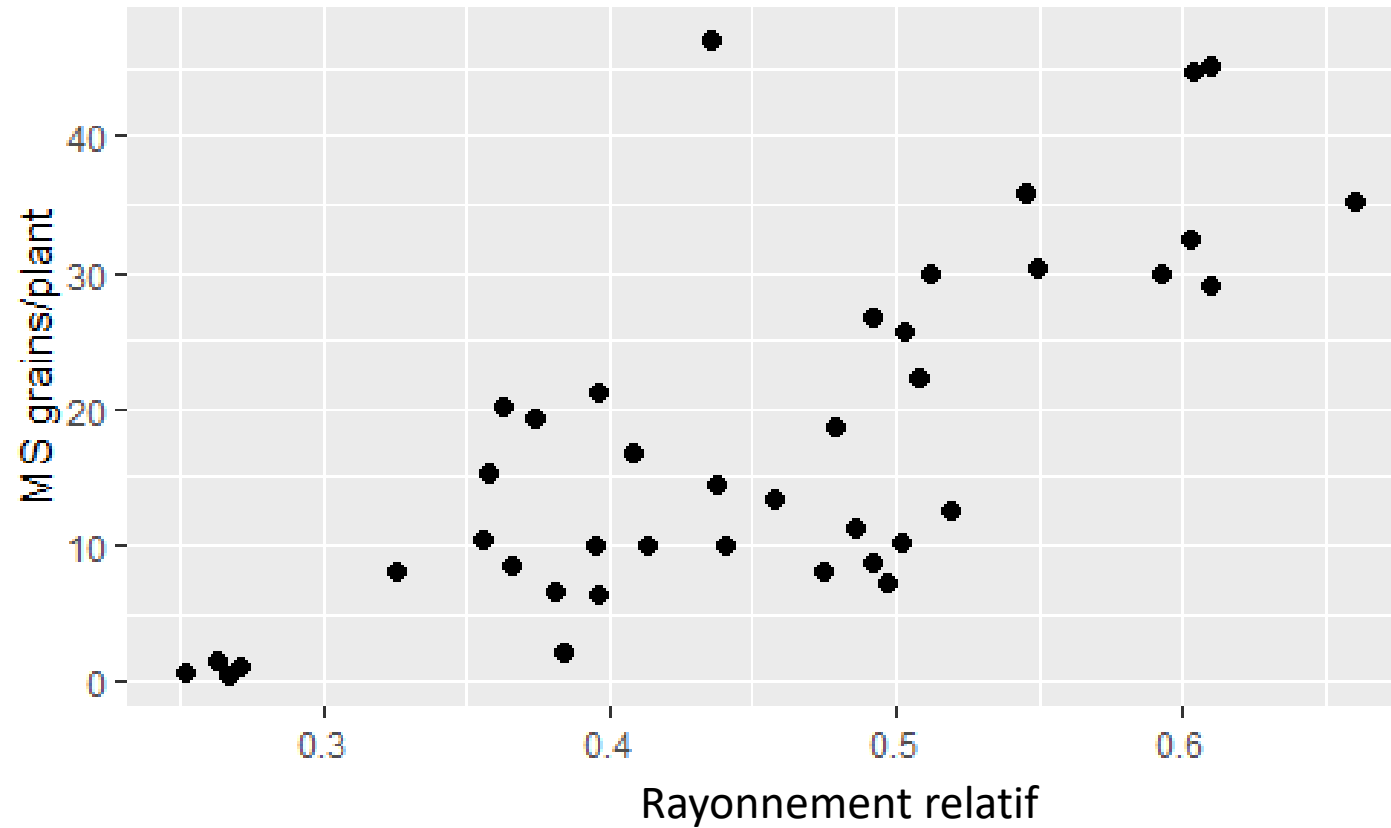
➤ Indice de récolte (=rendement/biomasse aérienne totale)



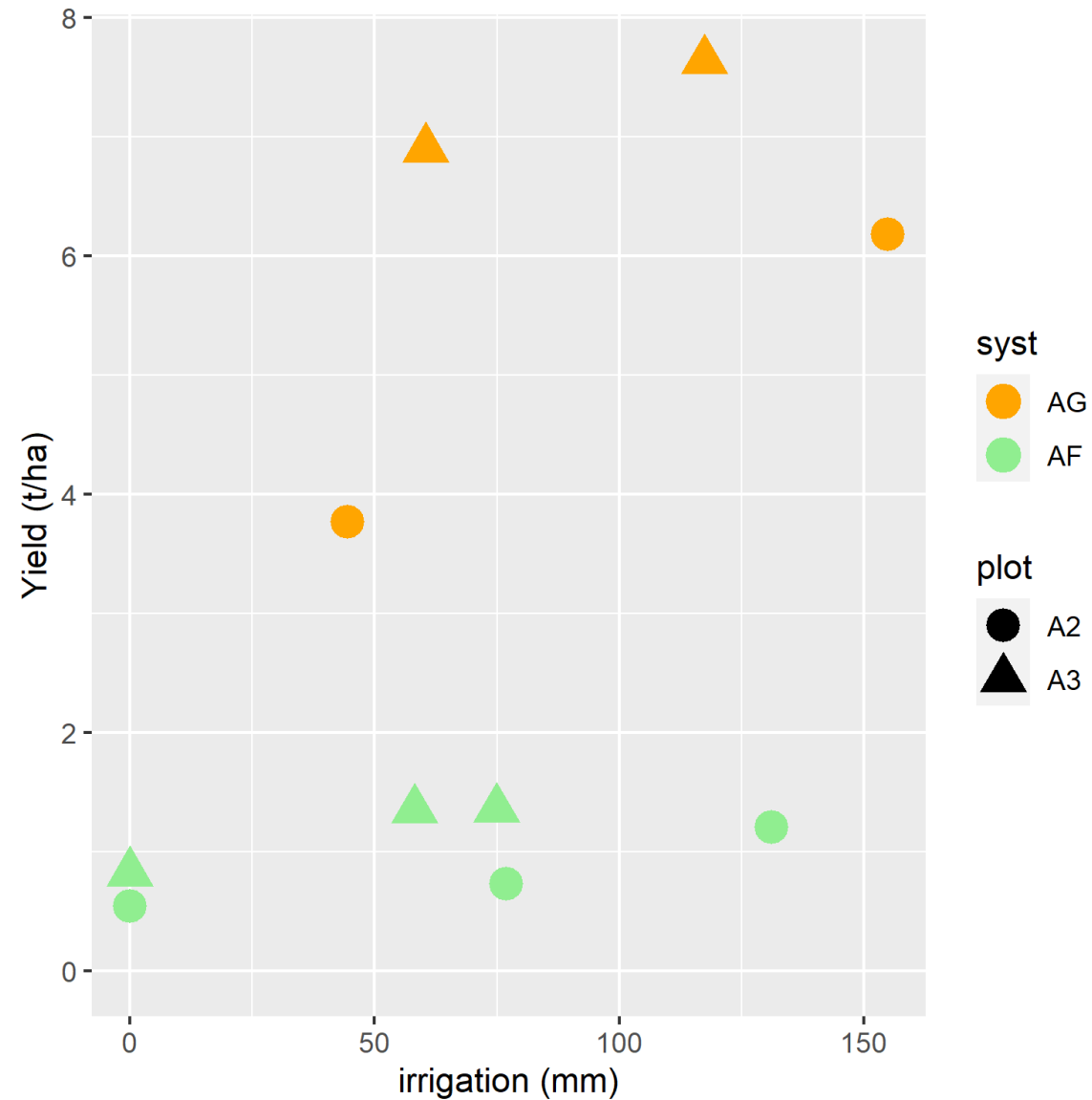
➤ Nombre de grains par épis et remplissage du grain



➤ Rendement en fonction du rayonnement incident



➤ Rendement en fonction de l'eau apportée



➤ Conclusion expé maïs

- La réduction de l'évapotranspiration en agroforesterie augmente la disponibilité en eau du sol et réduit le stress hydrique de la culture
 - Pas encore eu le temps d'analyser les données de teneur en eau du sol
- La réduction du rayonnement arrivant aux cultures et la réduction du stress hydrique réduisent le stress thermique des cultures
 - Diminution jusqu'à 3°C de la température des feuilles
- Le décalage de la maturité permet un allongement du cycle de la culture
 - Oui, mais ce n'est pas suffisant pour compenser la réduction du cycle due à la sécheresse, et ça ne suffit pas du tout à compenser la diminution d'énergie lumineuse... on le savait déjà mais c'est confirmé : le maïs n'aime pas la (très forte) ombre !

➤ Discussion



INRAE

L'agroforesterie pour faire face à la sécheresse
15/12/2021 / Formation FNE / Marie Gosme



➤ Discussion

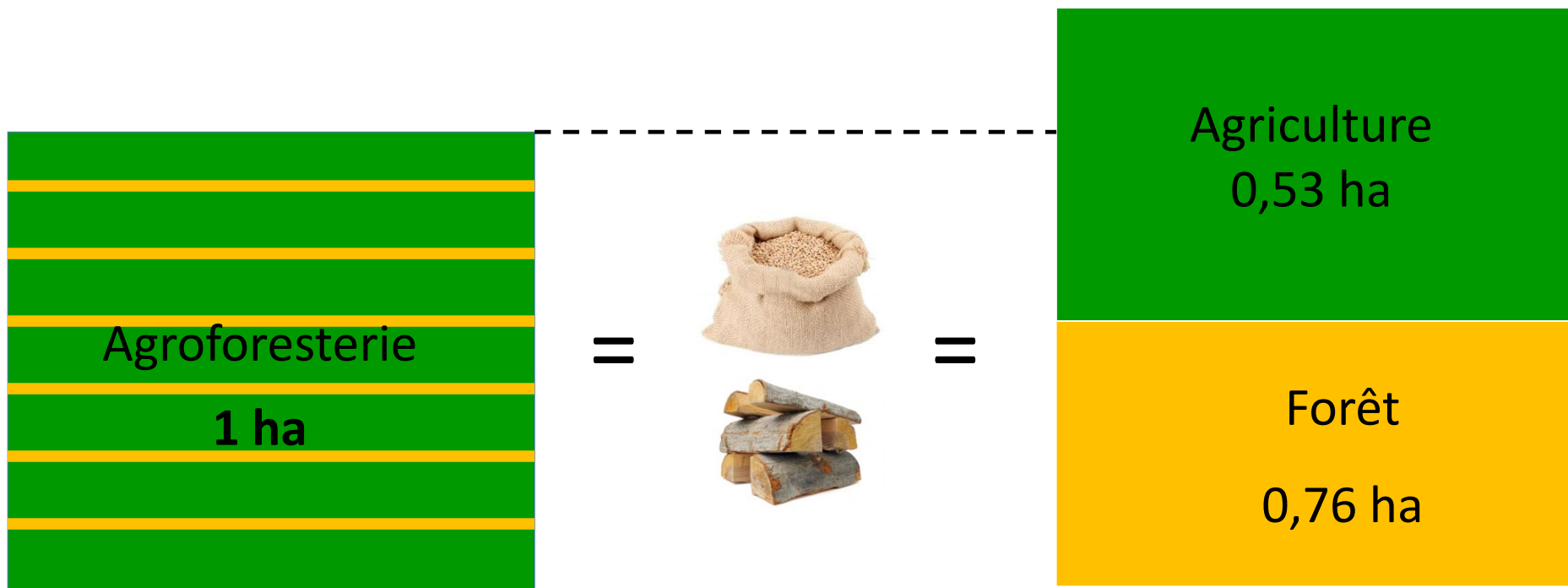
Limites et solutions

- À chaque fois, une année d'expérimentation sur une culture, à un endroit donné
 - => modélisation pour tester d'autres conditions climatiques, sur plusieurs années
- Quid des autres effets du changement climatique ?
 - Thèse qui va débiter en janvier sur les événements extrêmes
- Et l'impact de la sécheresse sur les arbres?
 - Expérimentations à faire dans des parcelles sans nappe accessible

➤ Conclusion

Difficile de trouver des conditions où les facilitations (amélioration du microclimat par exemple) dépassent la compétition pour la lumière.

Ne pas oublier que la productivité de l'AF se mesure avec le LER : prendre en compte la productivité des arbres !



Mélange

LER= 1,29

Séparation

➤ Merci pour votre attention

Et un grand merci à l'équipe technique
Jean-François Bourdoncle et Alain Sellier

Et au stagiaire
Mattia Bradley

Les expérimentations ont été réalisées grâce au soutien financier
du projet Européen FP7 AGFORWARD, du projet Européen H2020 Agromix
et du département de l'Hérault (programme PIRAT)

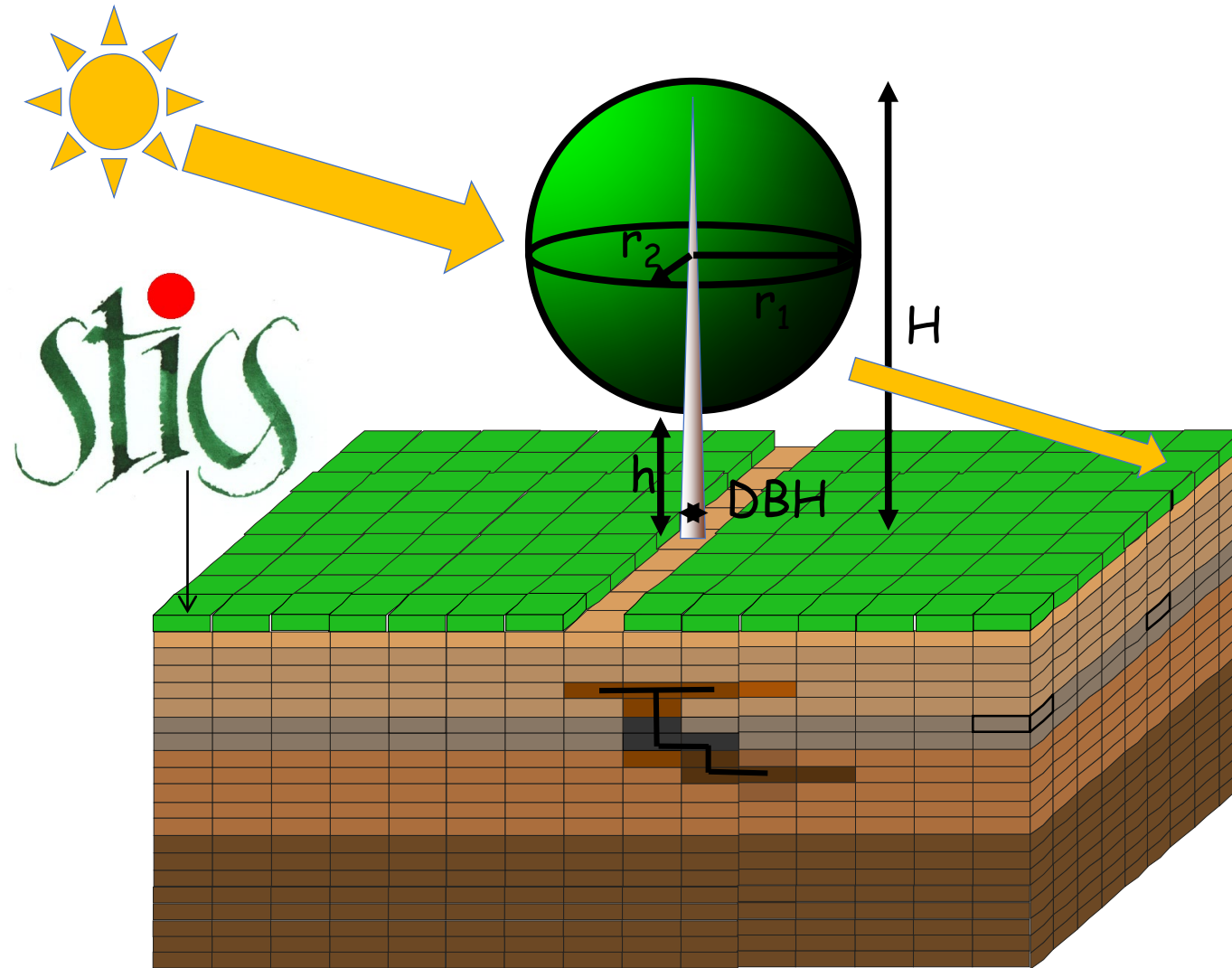


INRAE

L'agroforesterie pour faire face à la sécheresse
15/12/2021 / Formation FNE / Marie Gosme



➤ Expérimentation virtuelle

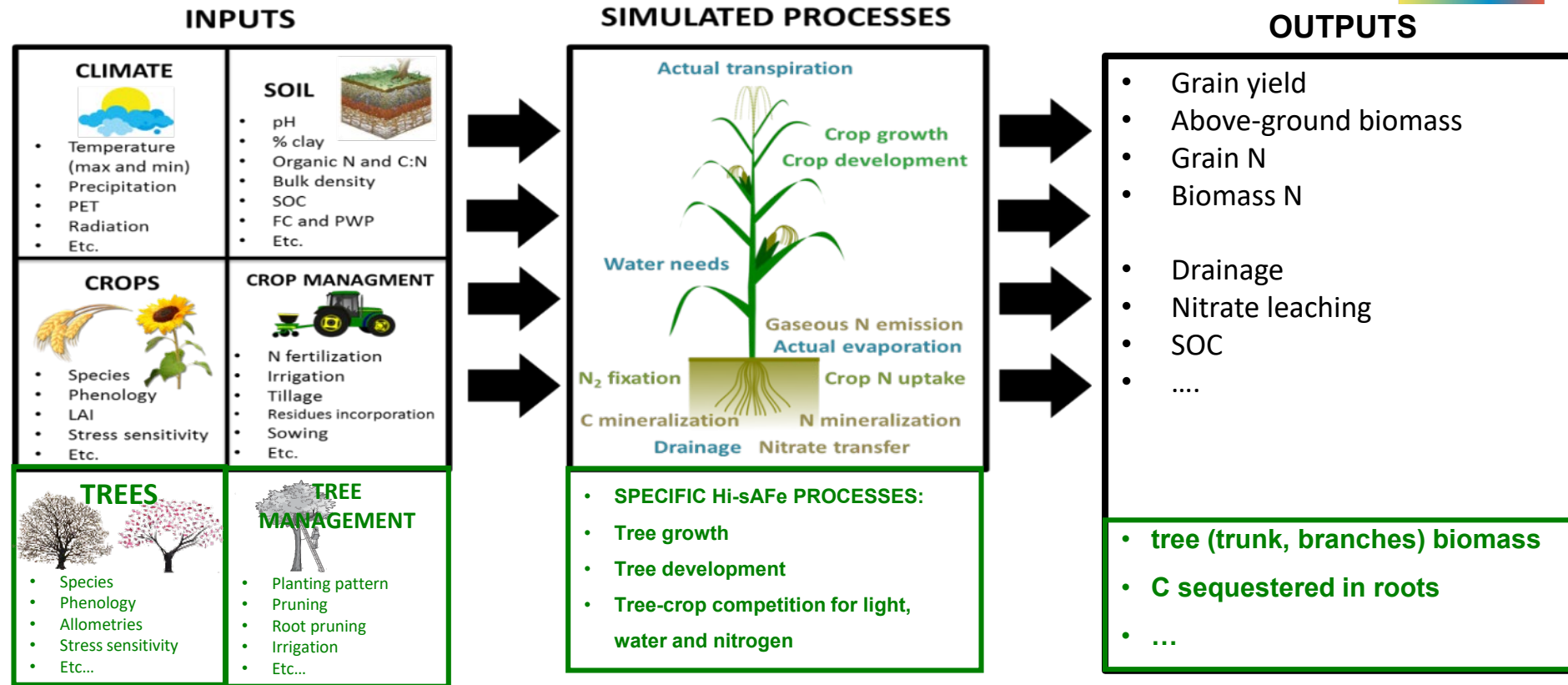


Compétition arbre-culture pour

- lumière
- eau
- azote

Dupraz et al. 2019. Sustainability

➤ Hi-sAFe : entrées et sorties du modèle



- STICS: Simulateur multi-disciplinaire pour les Cultures Standard
- Hi-sAFe: Hi-definition simulator of AgroForestry systems

➤ Comparaison d'une année sèche et d'une année humide: déterminants du rendement simulé

AC

AF

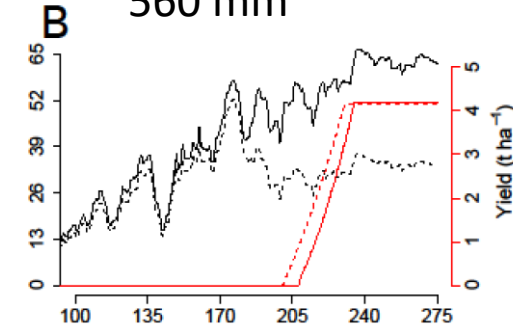
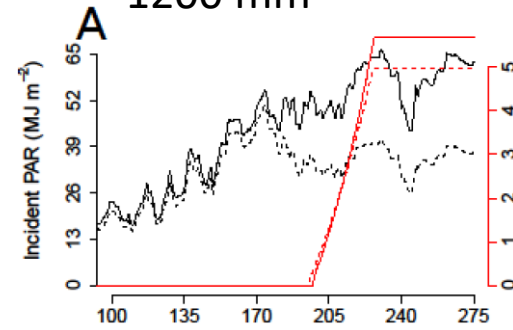
PAR incident

LAI

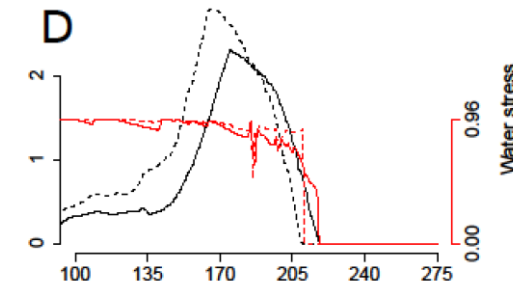
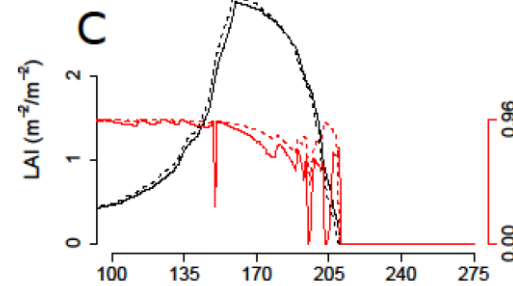
Evapotranspiration

Année humide:
1200 mm

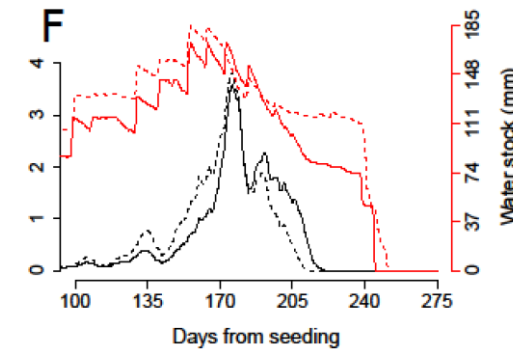
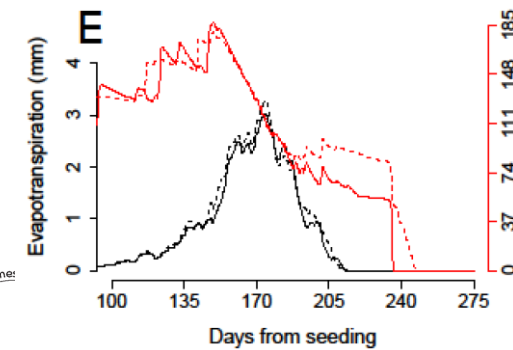
Année sèche:
560 mm



rendement



Stress hydrique



Stock d'eau



INRAE

L'agroforesterie pour faire face à la sécheresse
15/12/2021 / Formation FNE / Marie Gosme



