

Adaptation de la culture de soja au changement climatique : importance du facteur hydrique

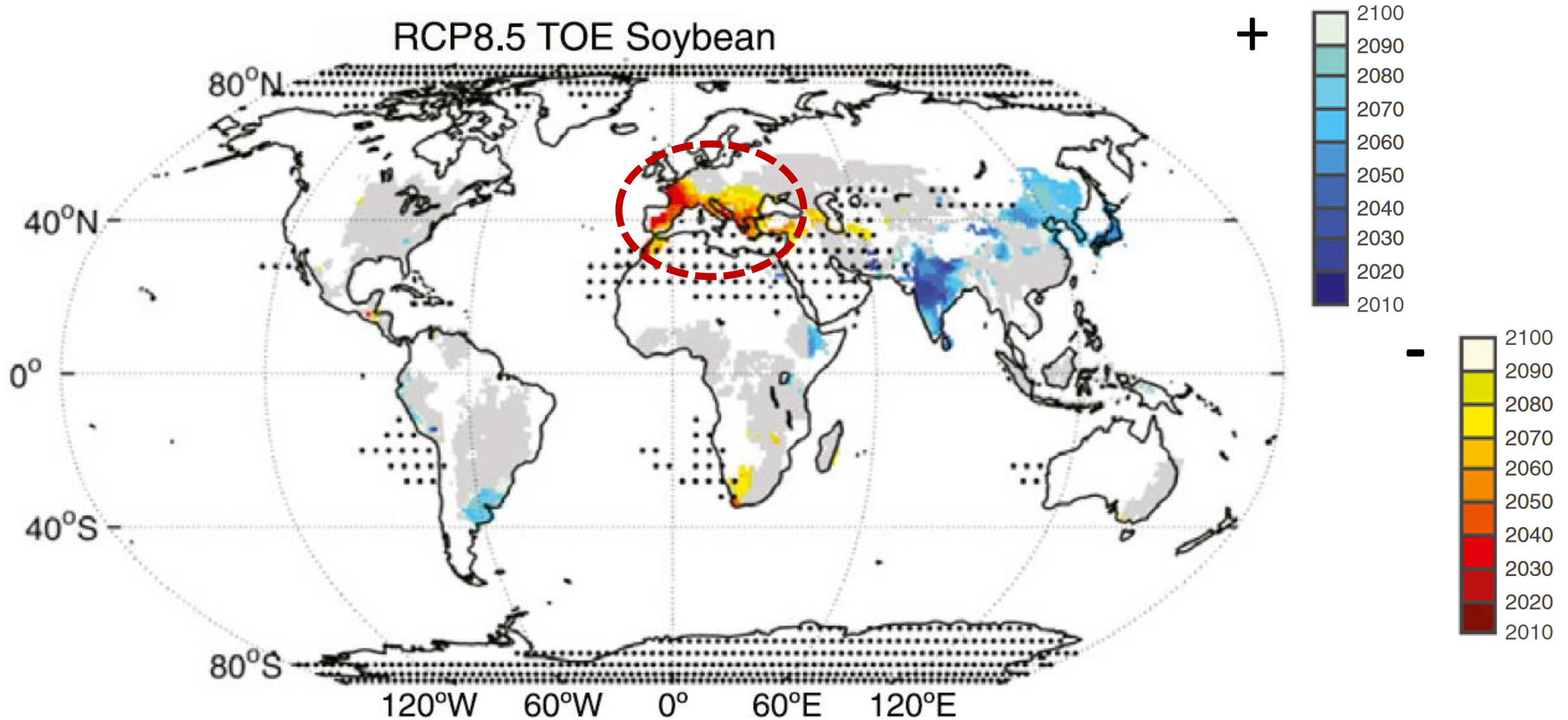
Philippe Debaeke, Pierre Maury,
Dorian Bourgeois, Elana Dayoub, Lin Kang

*Université de Toulouse, INRAE, INPT, EI PURPAN, AGIR,
Castanet-Tolosan, France*

INRAE

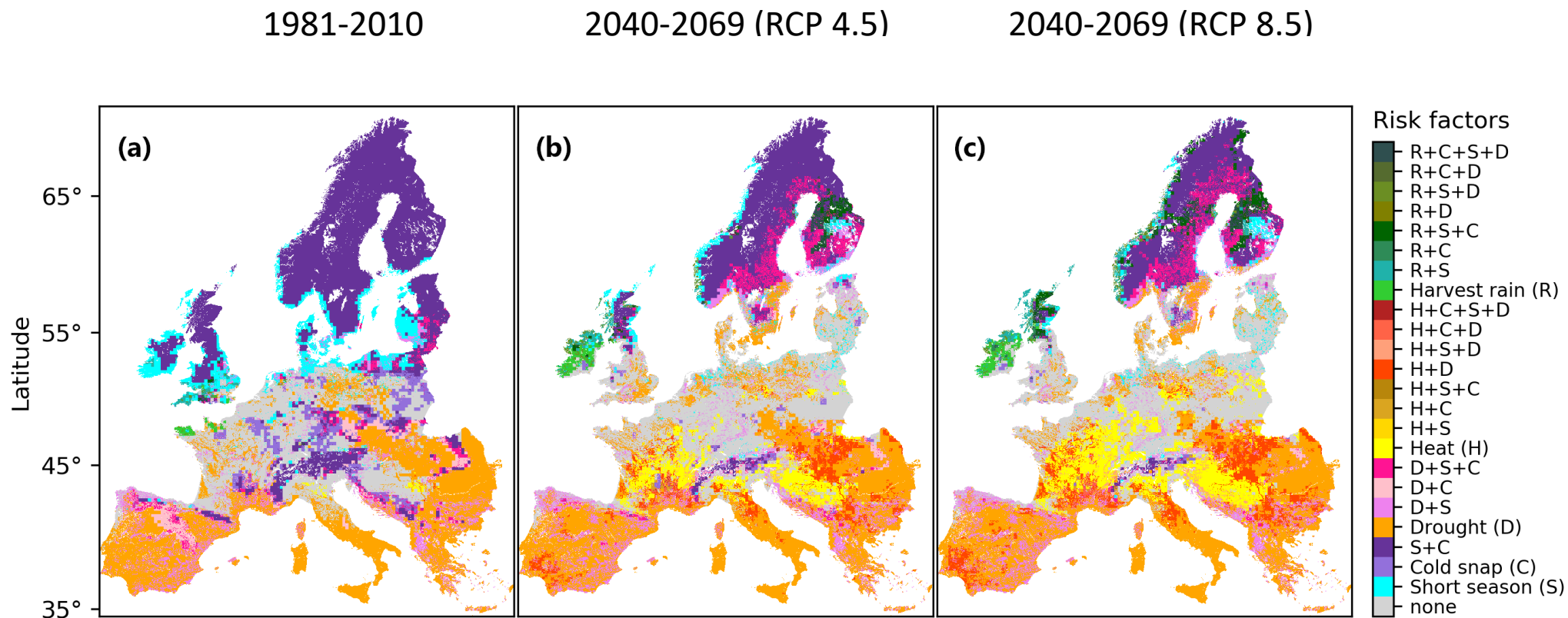


En Europe, la saison de culture du soja serait affectée la première par un déficit de précipitations (RCP 8.5)



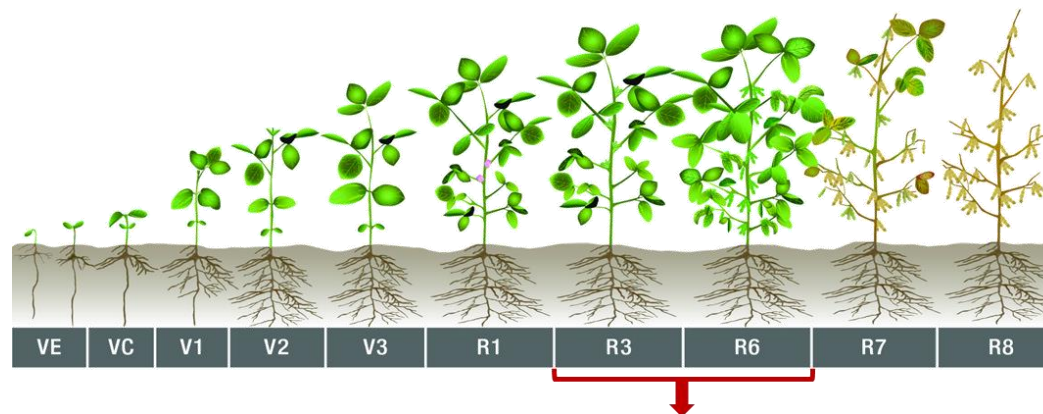
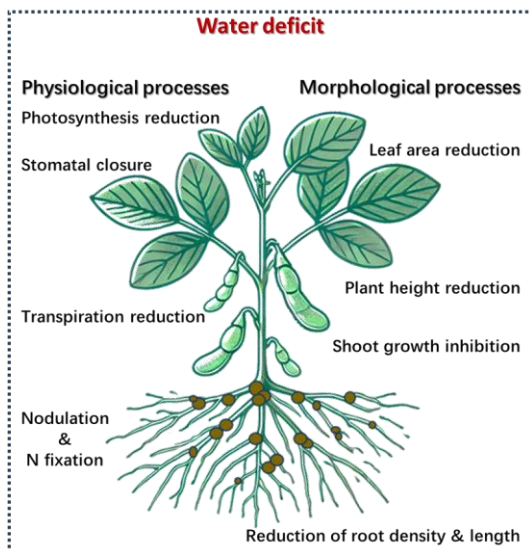
Rojas *et al.* (2019)

Quels facteurs limitants pour le soja en 2050 ?

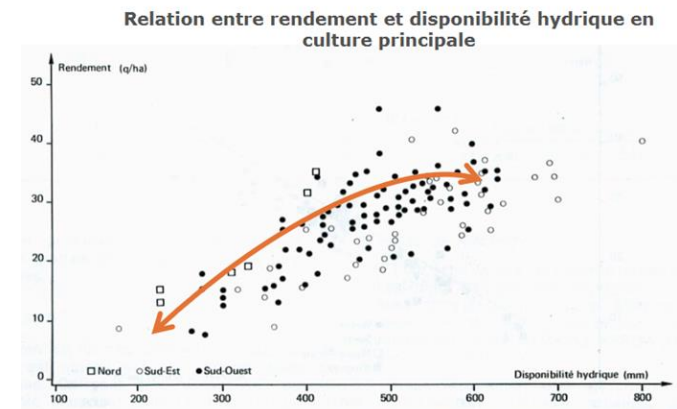


D : sécheresse **(+29 %)** ; H : hautes températures durant la floraison (> 30 °C)
S : saison de culture raccourcie **(-29%)** ; R : conditions humides à la récolte **(+307 %)**
C : épisodes de froid (< 5°C) en Juillet-Août **(-46 %)**

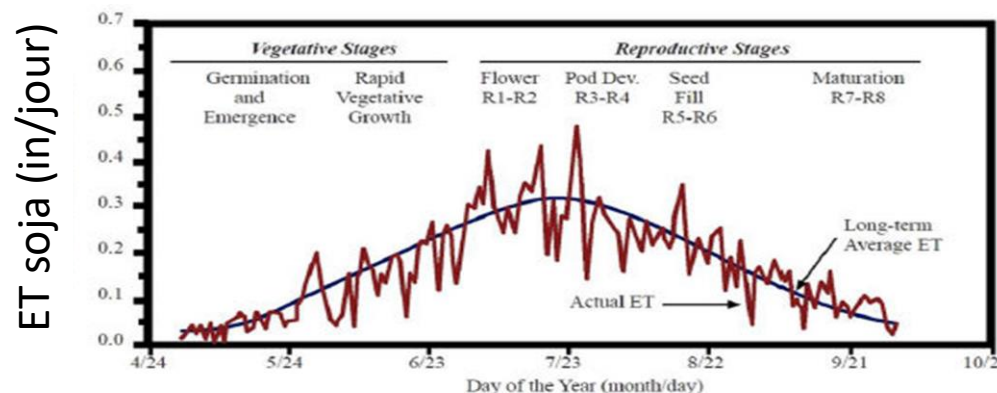
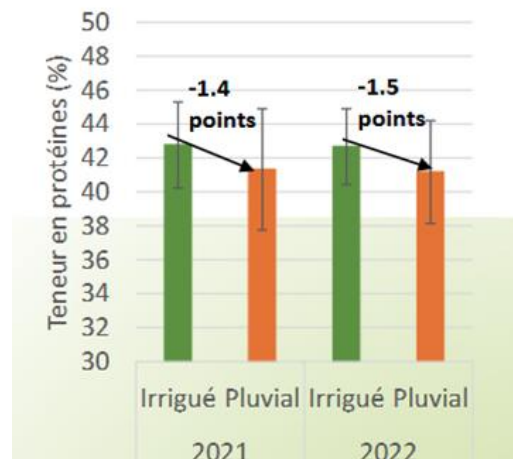
L'eau : un facteur limitant du rendement du soja



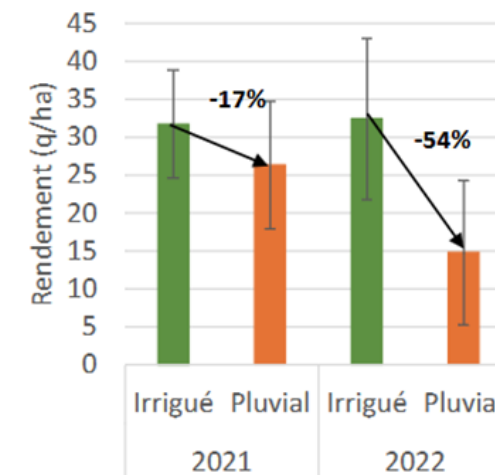
période sensible



Source: Cahier technique irrigation soja – Merrien 1987
Références de 150 parcelles suivies en pluriannuel

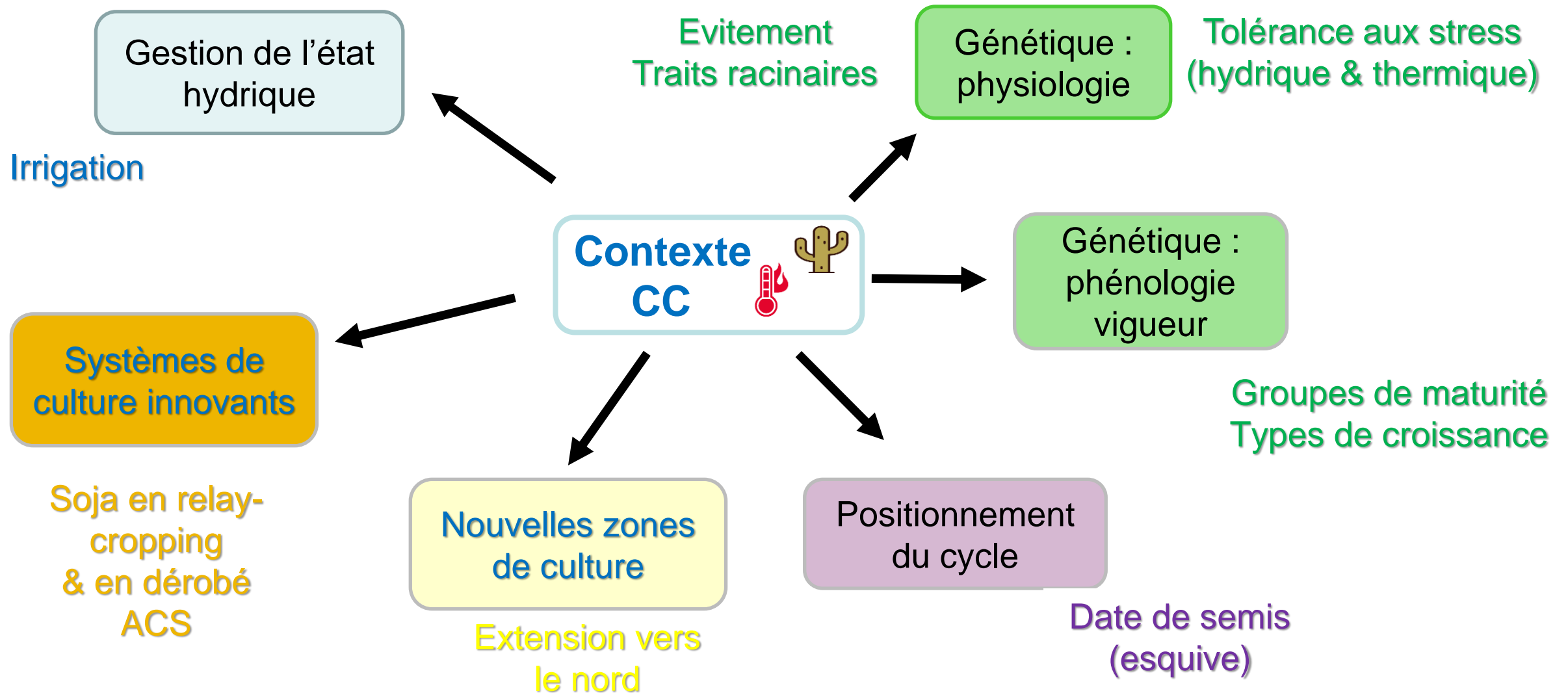


Kranz et Specht (2012)

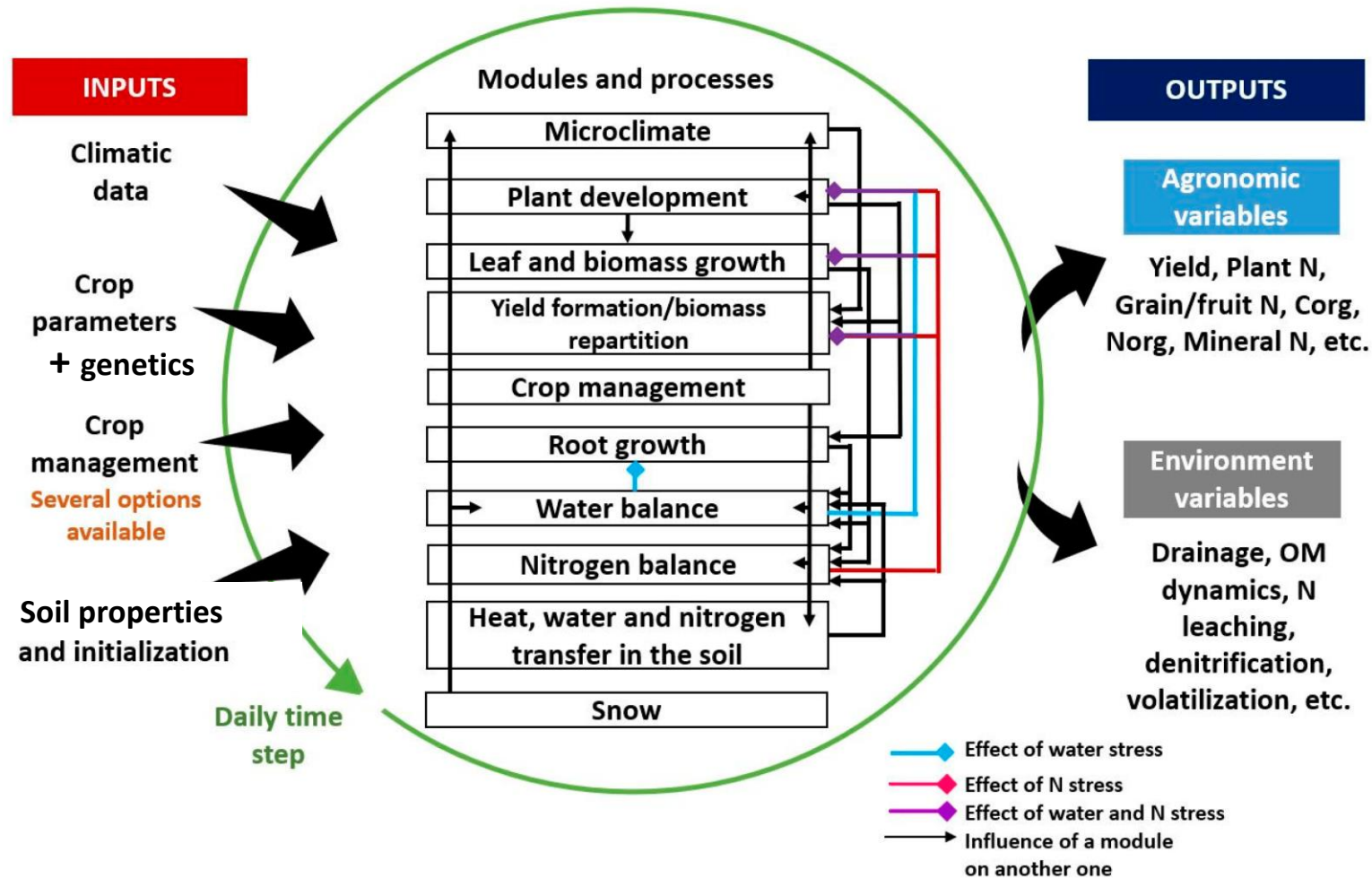


53 % des surfaces ont été irriguées en 2022

Leviers d'adaptation du soja au changement climatique



Apport des modèles de culture pour explorer des solutions en soja : ex STICS (Brisson *et al.*, 2003 ; 2009)



Version 10.1.1



$$N_{fix} = f(N_{fixPot}, FXN, FXW, FXA, FXT)$$

$$N_{fixPot} = f(stades, N_{sol}, \text{croissance})$$

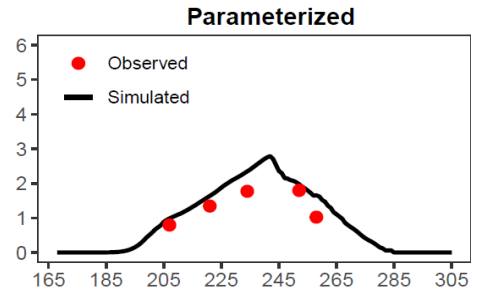
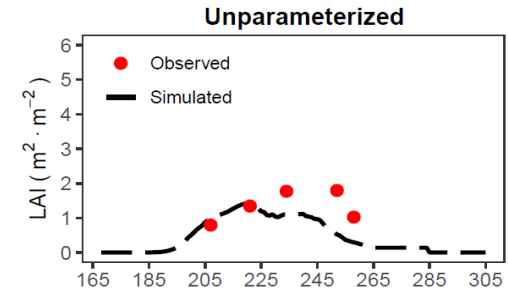
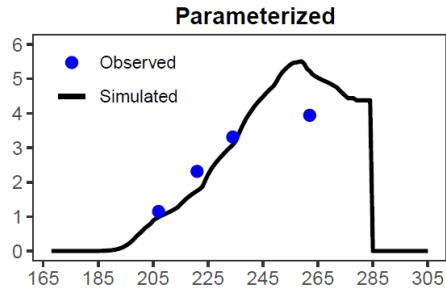
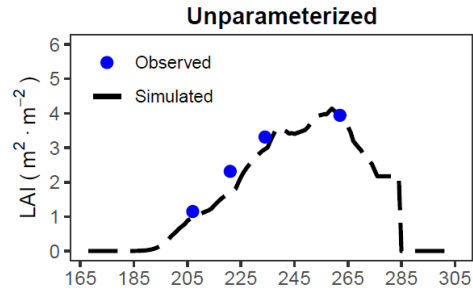
(Ravelojaona *et al.*, 2023)

Soja dérobé (Auzeville 2022)

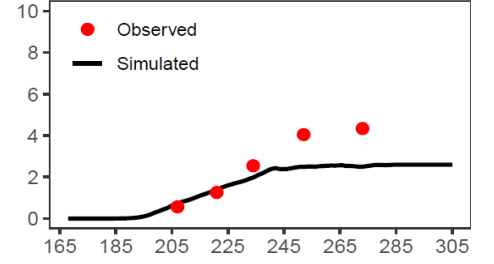
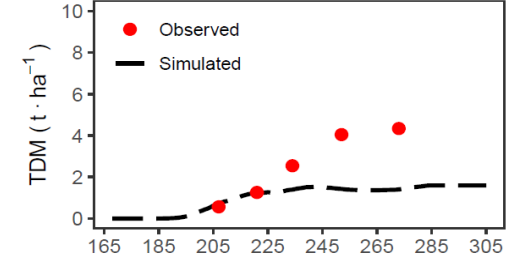
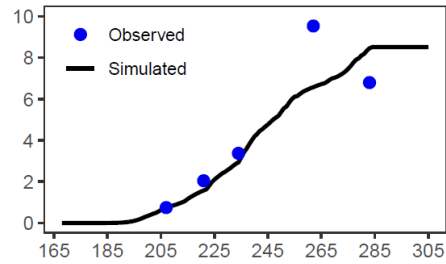
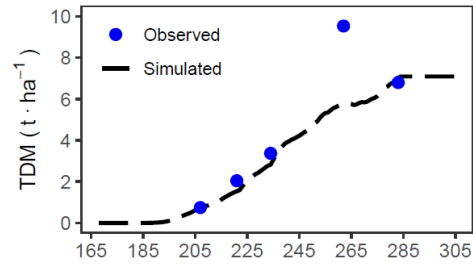
Irrigué Cv. Angelica (00)

Non-irrigué Cv. Angelica (00)

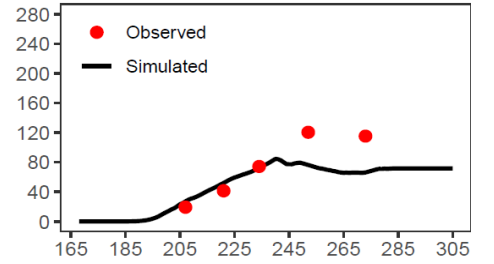
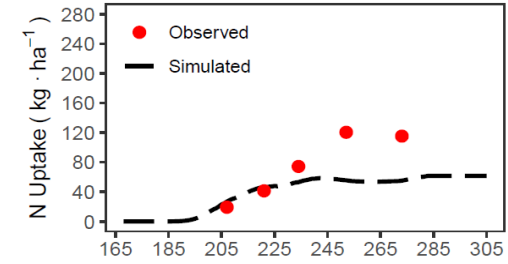
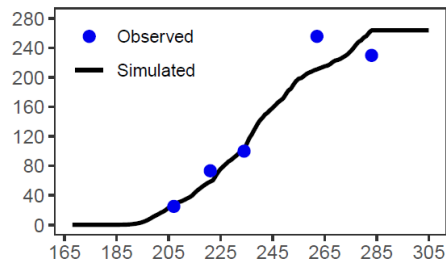
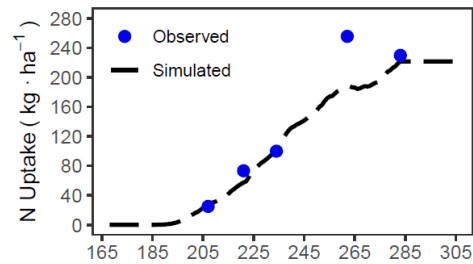
Indice foliaire



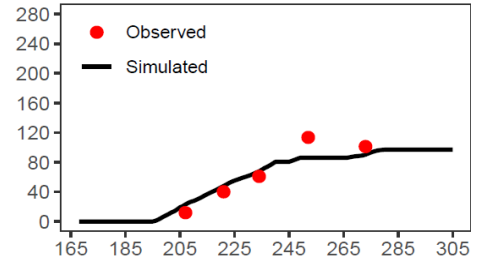
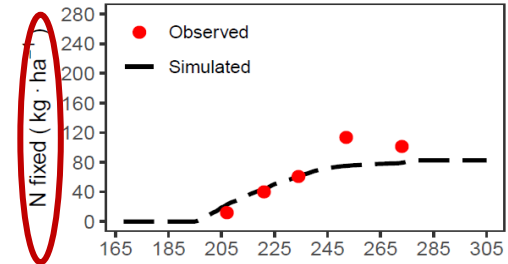
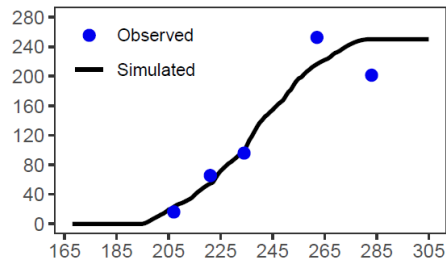
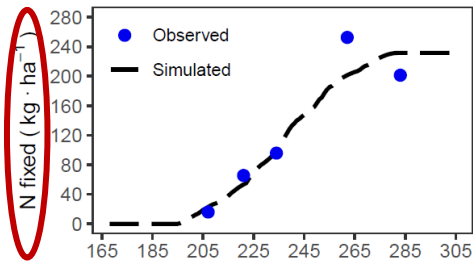
Biomasse



N absorbé



N fixé

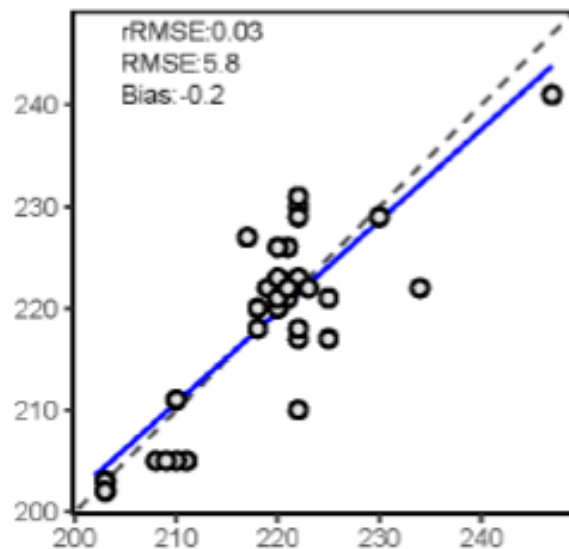


Julian day in 2022

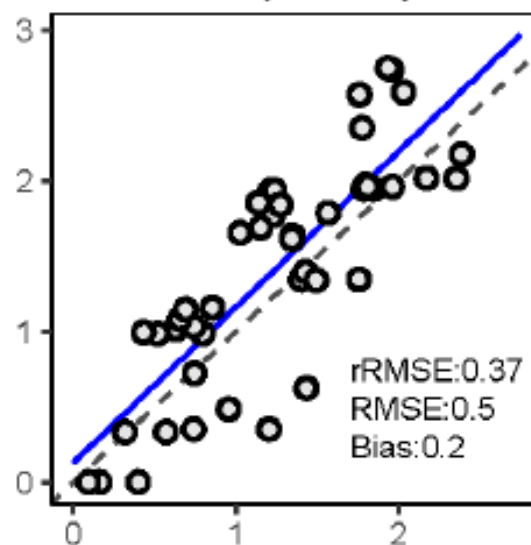
Julian day in 2022

Simulé

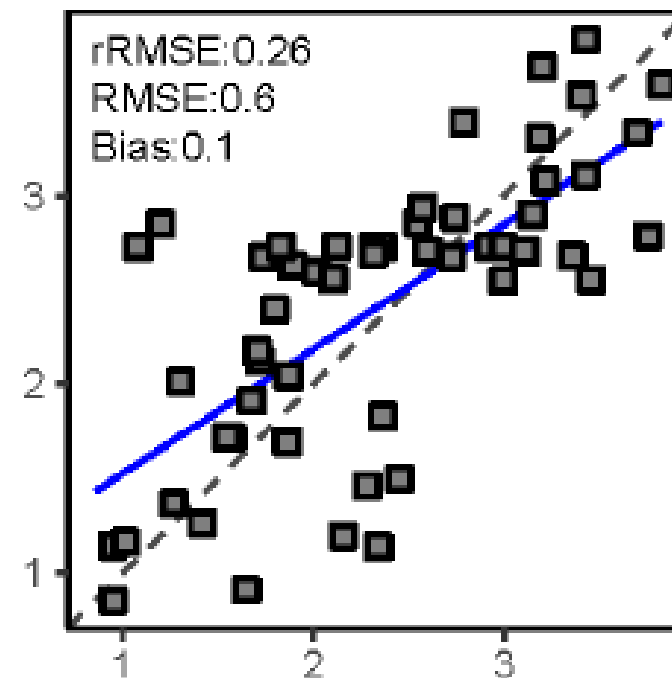
Date de floraison (R1)



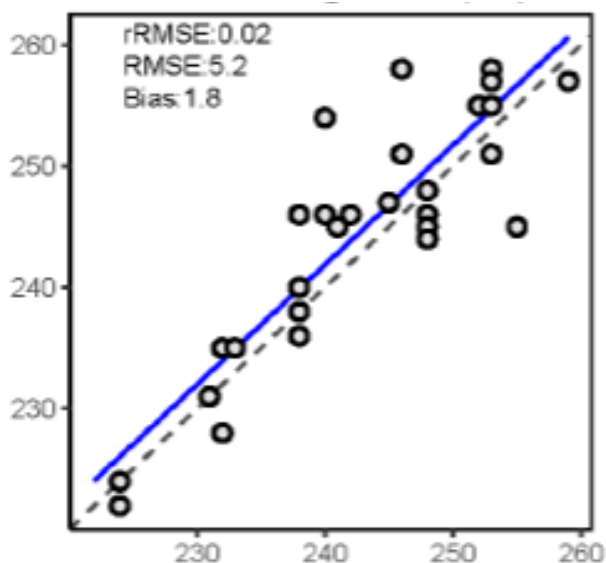
Indice foliaire



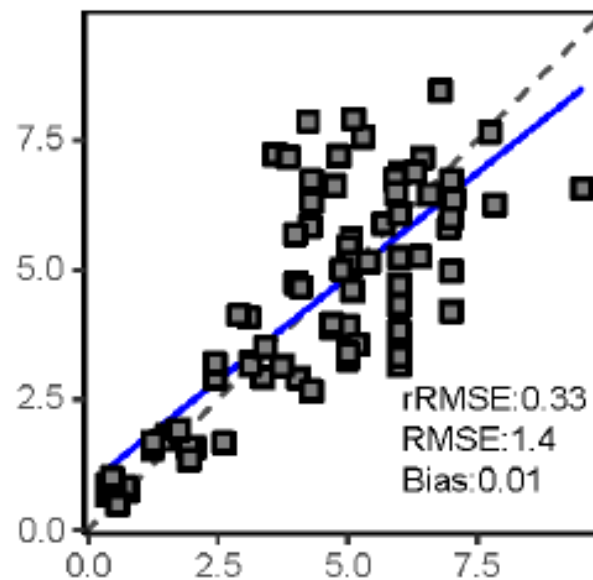
Rendement



Début remplissage (R5)



Biomasse aérienne



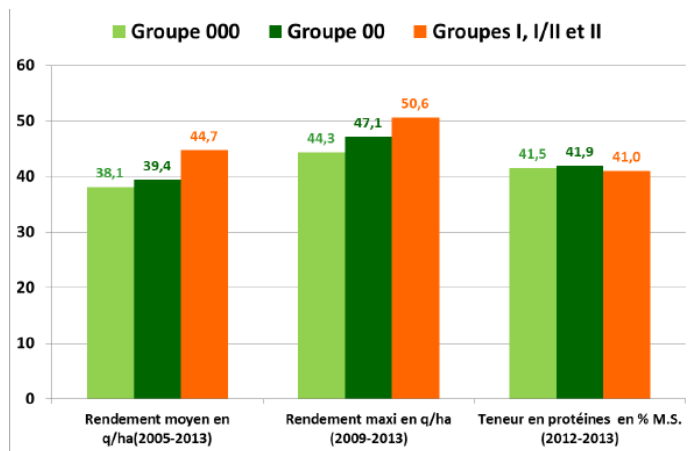
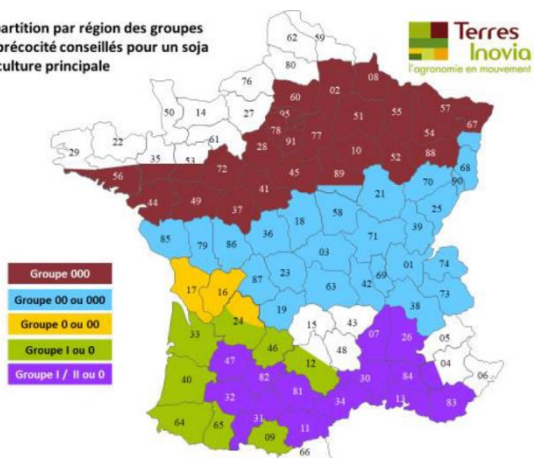
Des performances acceptables pour une application en simulation

Observé

Sélectionner des variétés pour s'adapter à la durée de cycle et esquiver les contraintes hydriques et thermiques



Répartition par région des groupes de précocité conseillés pour un soja en culture principale



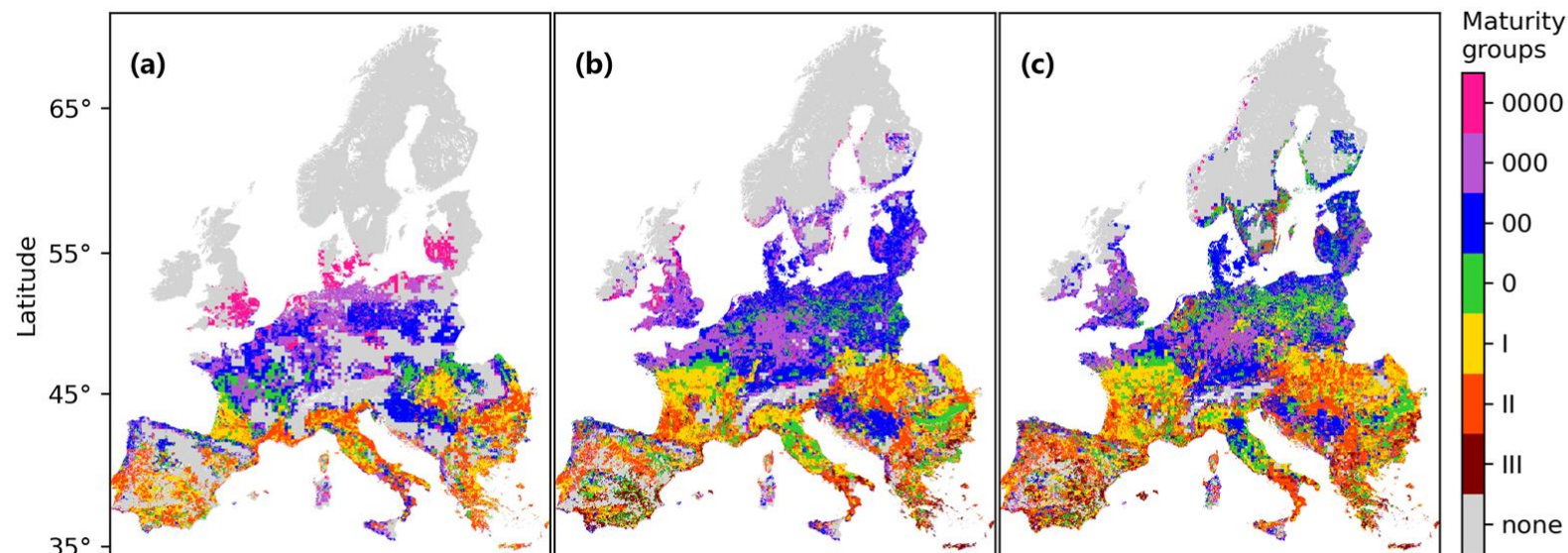
Potentiel de rendement et teneur en protéines des principaux groupes de précocité cultivés en France en soja sur la période 2009-2013.

Groupe de maturité maximisant le rendement

1981-2010

2040-2069 (RCP 4.5)

2040-2069 (RCP 8.5)



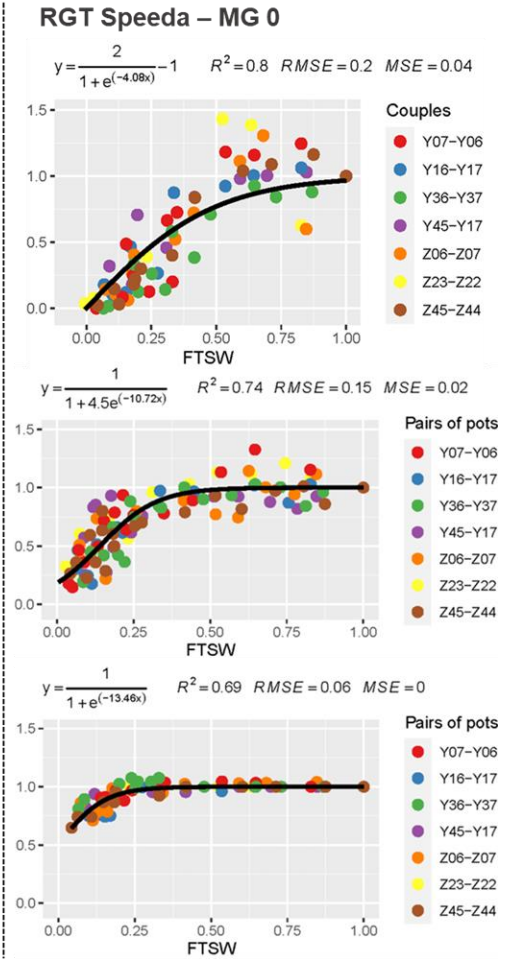
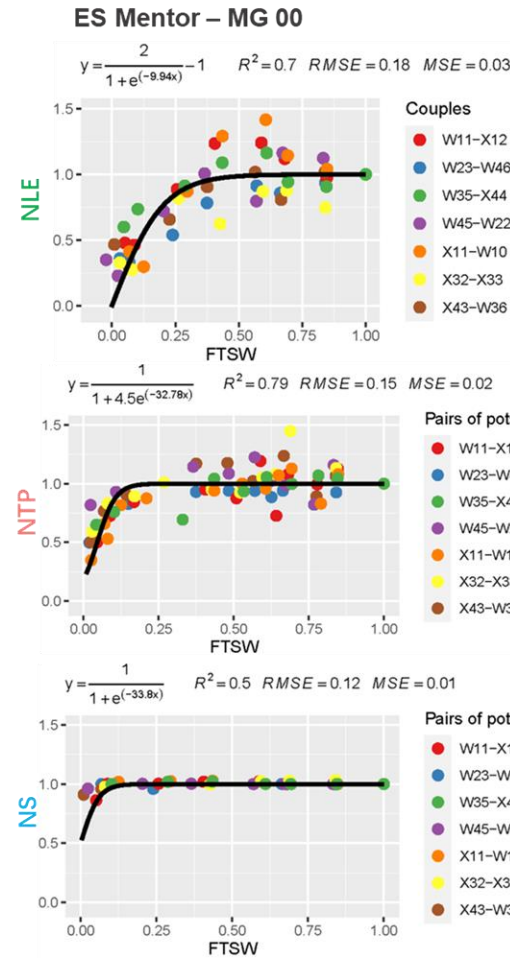
4 modèles de culture dont STICS

Nendel *et al.* (2023)

➤ Sélectionner des variétés adaptées aux scénarios de sécheresse



Variété tolérante à la sécheresse

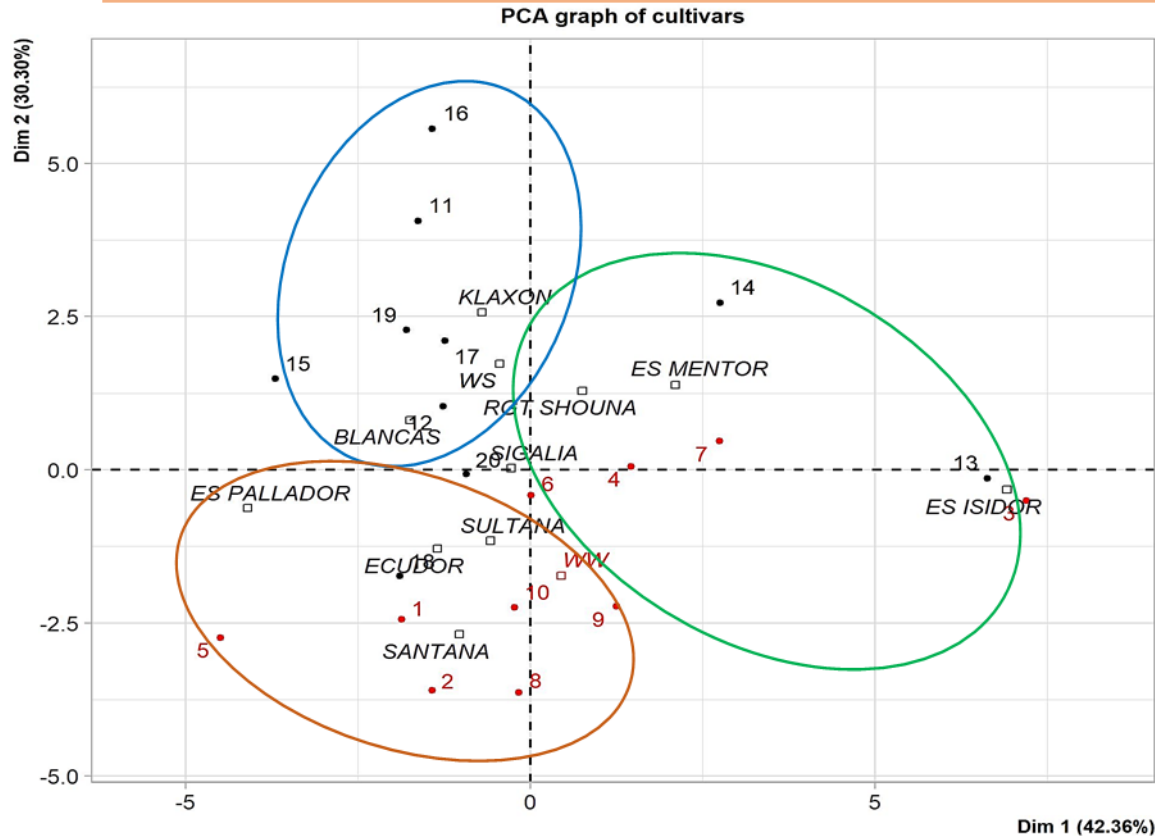


Variété évitant la sécheresse

Sélectionner des variétés tolérantes à la sécheresse : vigueur initiale et croissance racinaire précoce



Typologie de croissance précoce des variétés

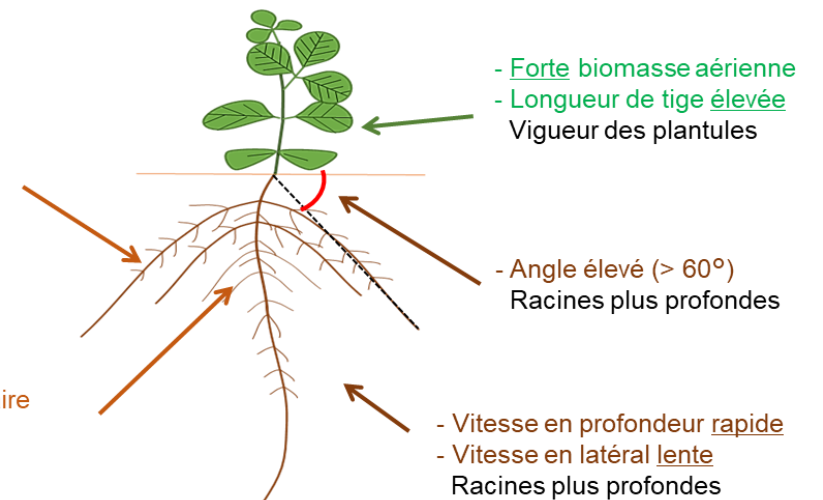


- **Groupe 1 (cv. Isidor)** → croissance précoce élevée
- **Groupes 2 et 3 (cv. Pallador)** → croissance précoce faible et interactive avec l'état hydrique du sol



- **Forte biomasse racinaire**
- **Longueur élevée**
- **Diamètre faible**
- **Volume et surface élevés**
- Acquisition des ressources

- **Nombre d'extrémités racinaire**
- Plus des racines latérales



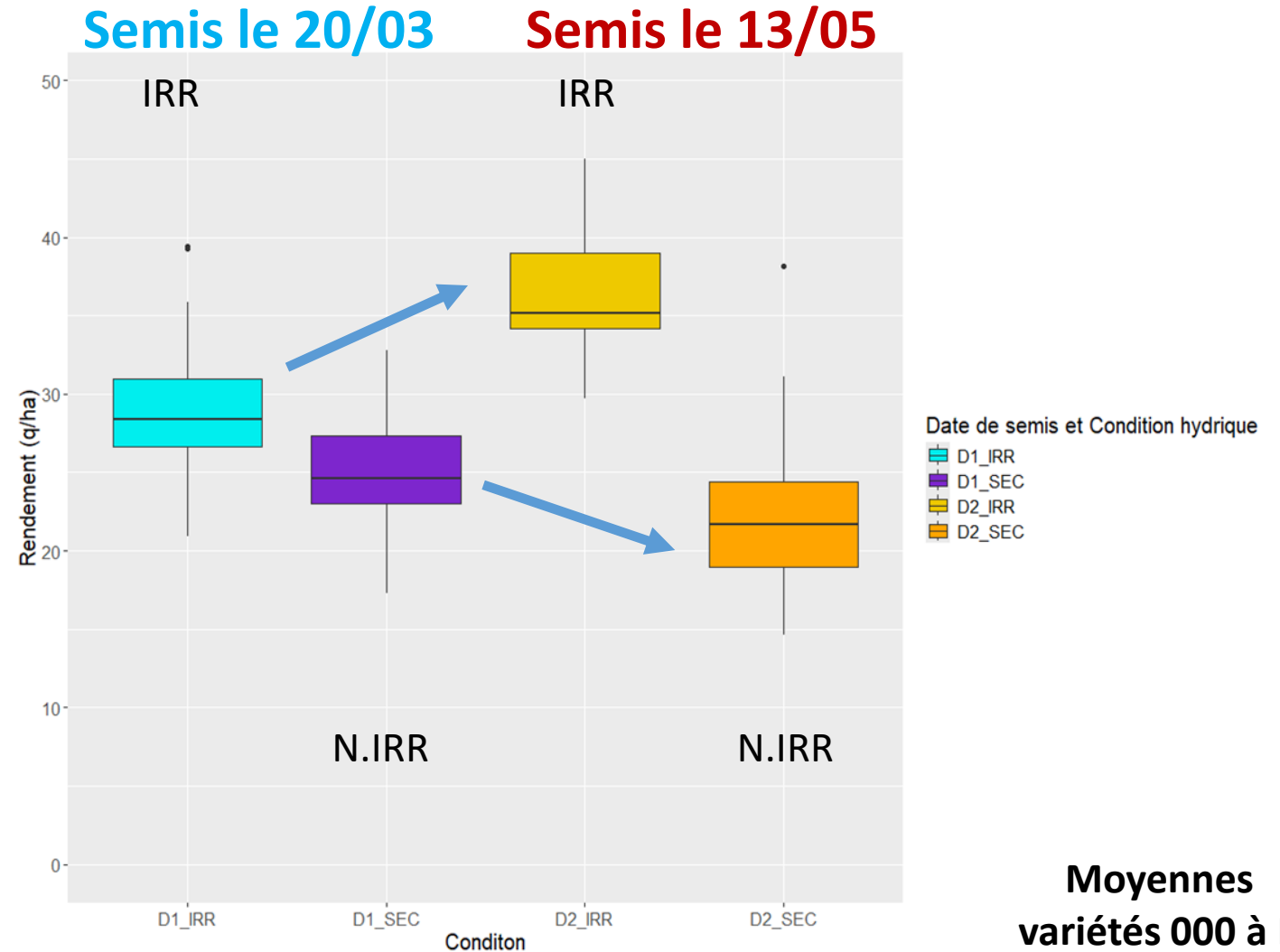
Idéotype de soja

Dayoub *et al.* (2021)

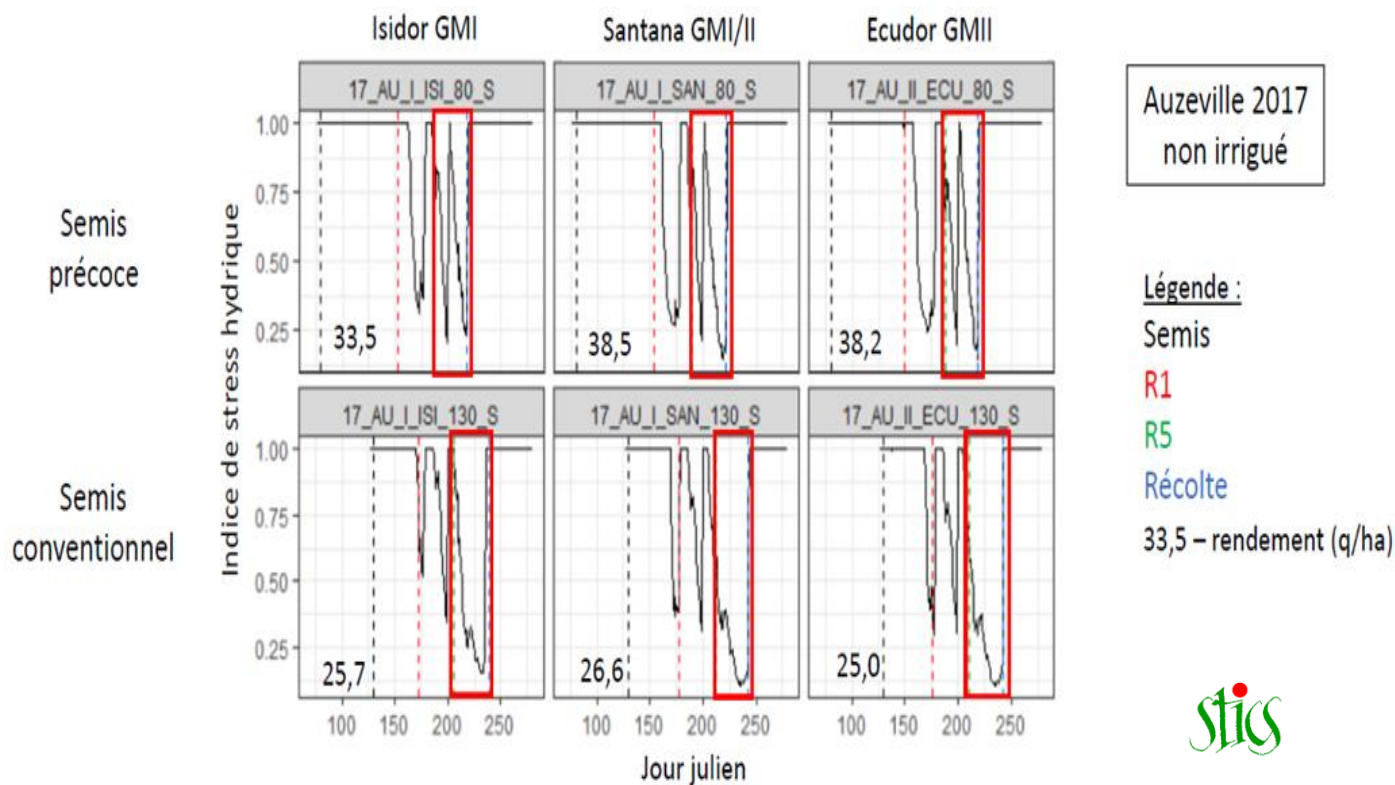
Anticiper la date de semis pour esquiver les stress hydriques et thermiques



Auzeville (2024)



Le semis précoce permet d'esquiver la sécheresse et d'économiser de l'eau d'irrigation

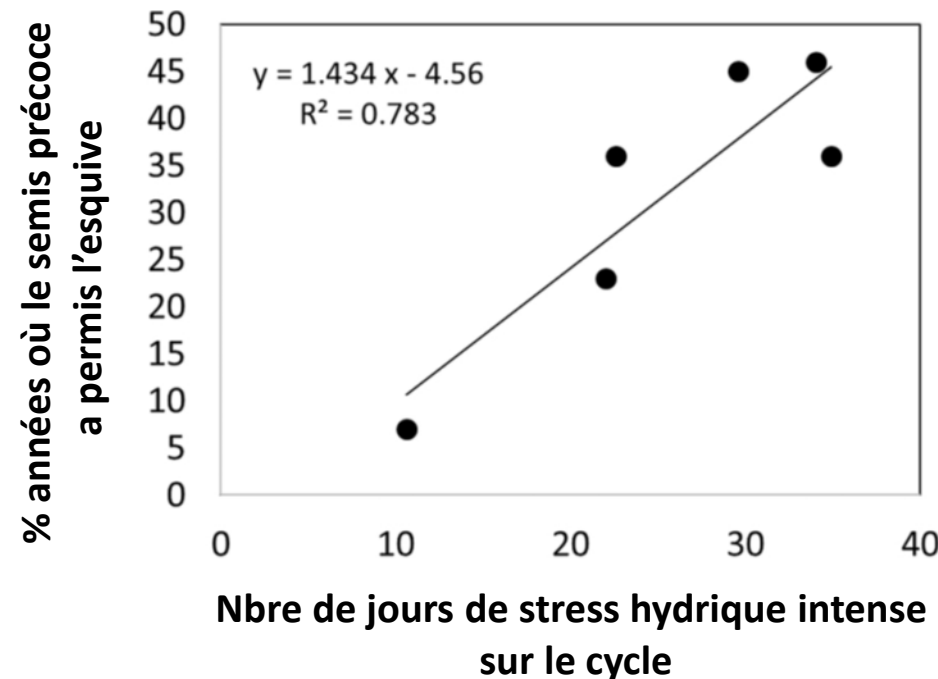


Intensité et durée de stress hydrique plus fortes dans le cas d'un semis conventionnel lors du remplissage des grains

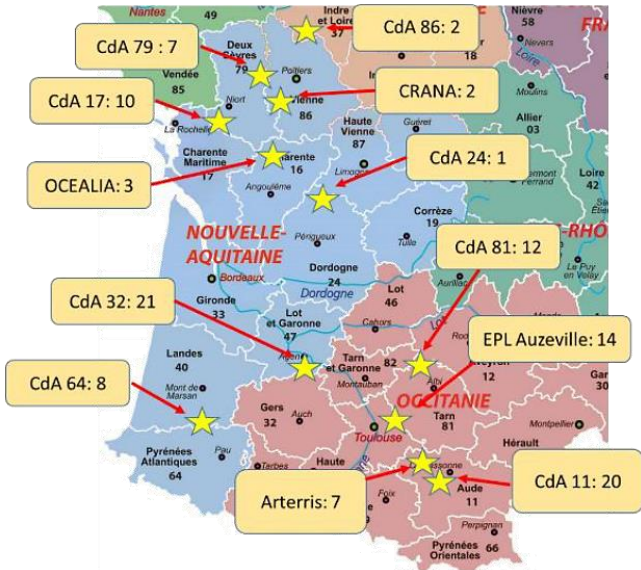
Schoving *et al.* (2022)

Early sowing > Conv. Sowing	Early sowing = Conv. Sowing	Early sowing < Conv. Sowing
2011_BEZIERS_IRR	2013_EN CRAMBADE_IRR	2010_BEZIERS_IRR
2013_EN CRAMBADE_DRY	2013_MONDONVILLE_DRY	2010_RIVIERES_IRR
2017_AUZEVILLE_DRY	2013_RIVIERES_IRR	2011_MONDONVILLE_IRR
	2014_EN CRAMBADE_IRR	2011_RIVIERES_IRR
	2014_RIVIERES_DRY	2012_BEZIERS_IRR
	2014_RIVIERES_IRR	2013_MONDONVILLE_IRR
	2017_AUZEVILLE_IRR	2013_RIVIERES_DRY
		2014_EN CRAMBADE_DRY

SOJAMIP



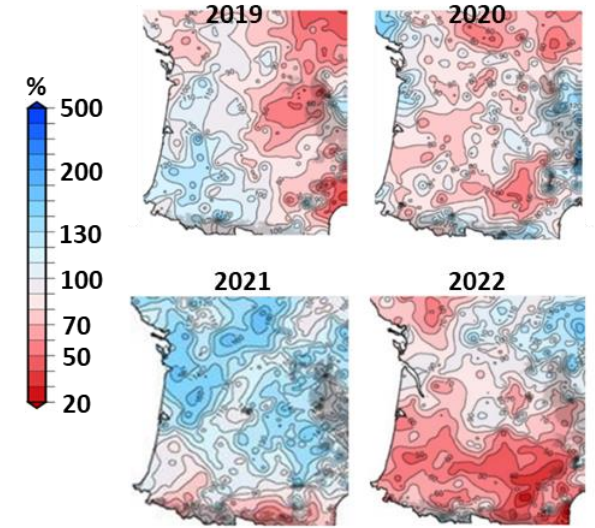
Opportunités liées à la double culture de soja



- 32 parcelles de soja
- 2/3 irriguées
- 78% récoltées
- Potentiel de rendement : 25-30 q/ha

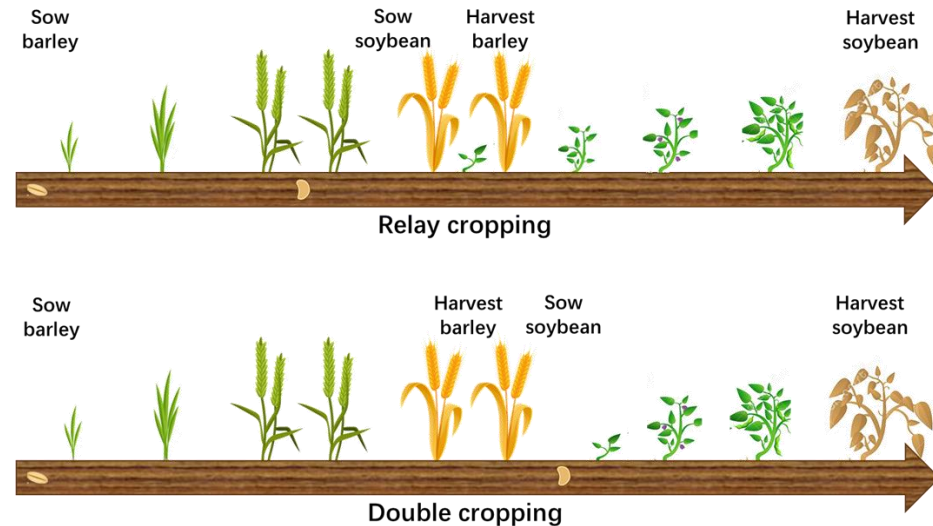


(CRAO & CRANA, 2019-2023)

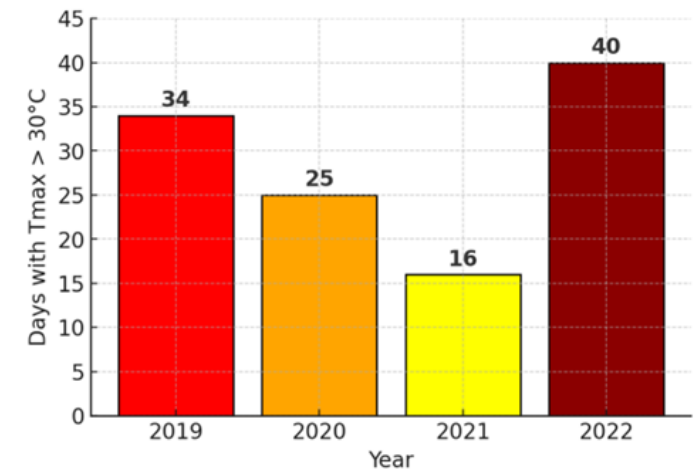


Facteurs de succès

1. Irrigation
2. Date de semis & de récolte
3. Choix variétal



High-Temperature Days (July-August) in Toulouse (2019-2022)



(Pitchers *et al.*, 2023 ; Debaeke *et al.*, 2024)

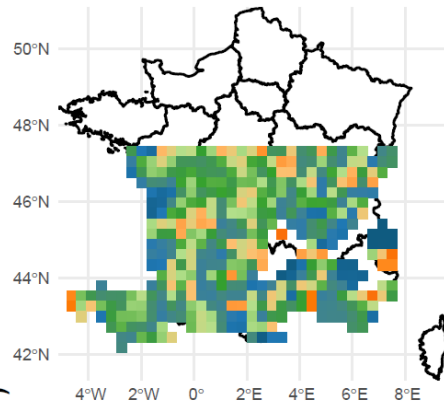
Potentiel de rendement du soja déroché



1980–2010 Hindcast

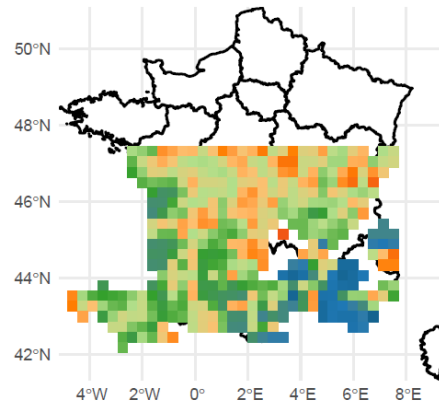
MG00–Angelica (irrigated)

Sowing date: 20 June, 1980–2010 Hindcast



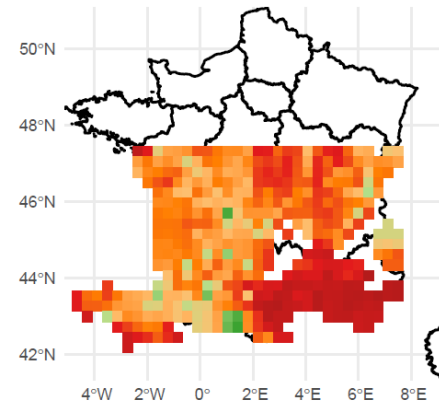
MG00–Angelica (irrigated)

Sowing date: 05 July, 1980–2010 Hindcast



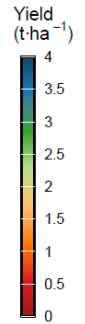
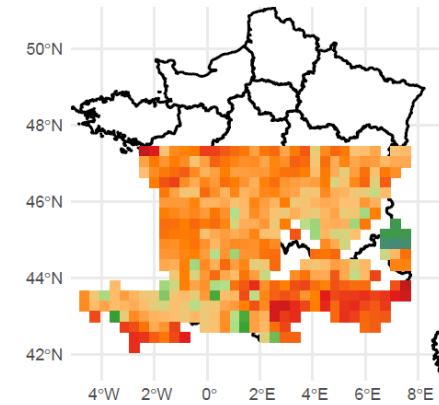
MG00–Angelica (rainfed)

Sowing date: 20 June, 1980–2010 Hindcast



MG00–Angelica (rainfed)

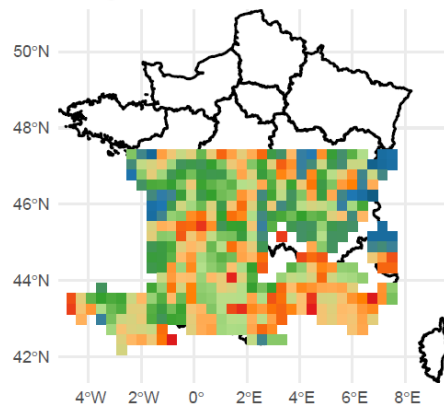
Sowing date: 05 July, 1980–2010 Hindcast



2040–2069 RCP 8.5

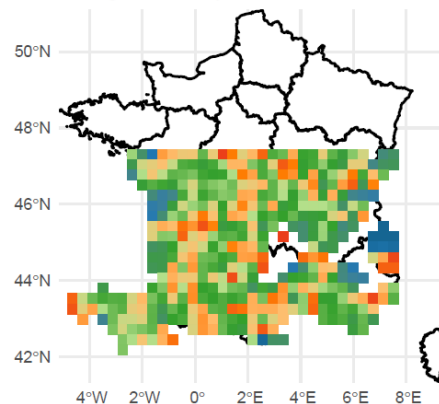
MG00–Angelica (irrigated)

Sowing date: 20 June, 2040–2069 RCP 8.5



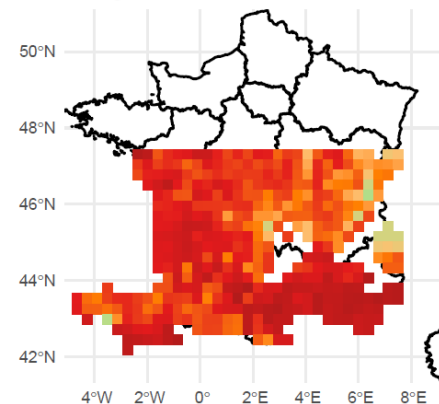
MG00–Angelica (irrigated)

Sowing date: 05 July, 2040–2069 RCP 8.5



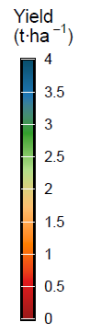
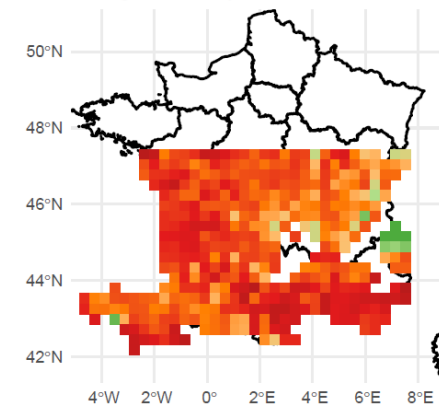
MG00–Angelica (rainfed)

Sowing date: 20 June, 2040–2069 RCP 8.5



MG00–Angelica (rainfed)

Sowing date: 05 July, 2040–2069 RCP 8.5

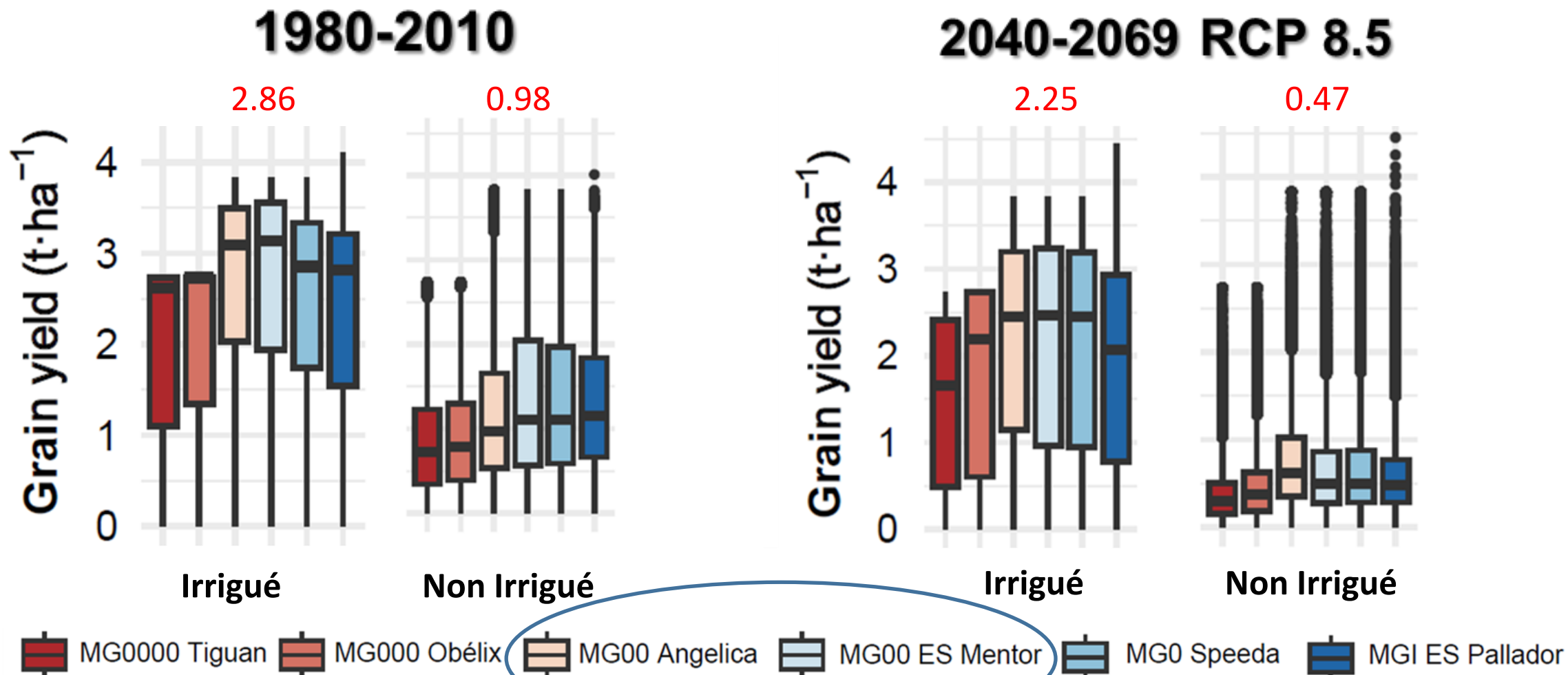


Longitude (°)

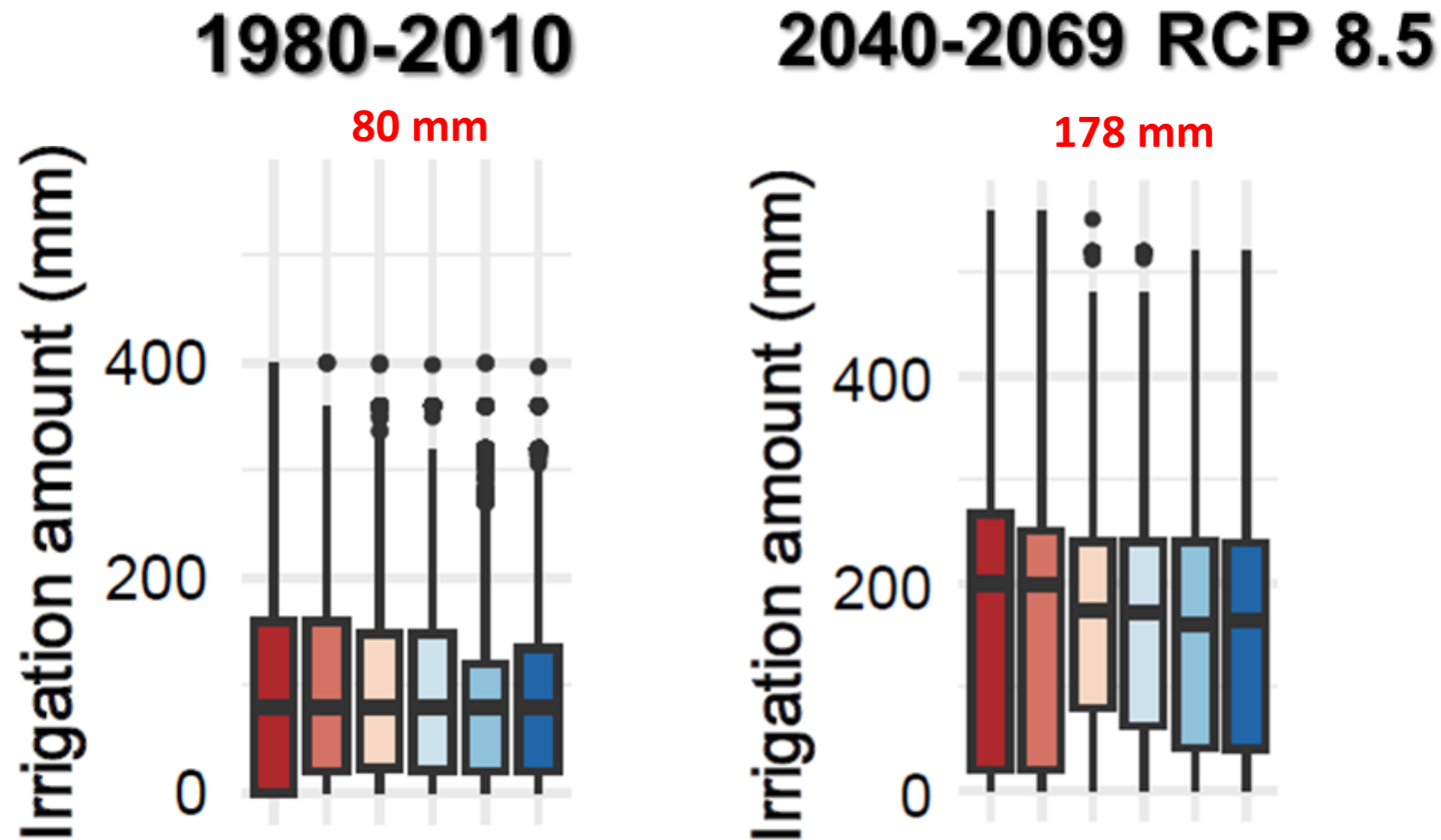
2 dates de semis × 2 scénarios climatiques × 2 régimes d'irrigation : ex Angelica - 00

Kang (2025)

Potentiel de rendement du soja en dérobé



➤ Besoins en irrigation du soja en dérobé



MG0000 Tiguan MG0000 Obélix MG00 Angelica MG00 ES Mentor MG0 Speeda MGI ES Pallador

Semer 2 cultures dans l'année : le relay-cropping



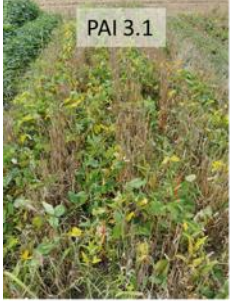




2 années : 2021, 2022

21/20 variétés semées en relay : 06/05 (2021) – 09/05 (2022)

5 groupes de précocité (II/I/0/00/000)



	compétition	récupération
2021	28 mm	124 mm
2022	85 mm	203 mm

PAI 3.1	PAI 3.4	PAI 3.7	PAI 3.8	PAI 4.0
				
RGT SPHINXA (000)	RGT STUMPA (00)	ES TRIBOR (0)	RGT STOCATA (I)	WENDY PZO (I)
10.2 q/ha	17.7 q/ha	26.8 q/ha	29.9 q/ha	33.0 q/ha

Rendement : - 54 % par rapport à une culture pure (2021)



- La culture de soja est une option intéressante pour répondre aux enjeux écologiques et climatiques en vue d'une plus grande souveraineté européenne en matière de protéines
- Ceci passe par la mise en œuvre de plusieurs stratégies d'adaptation au changement climatique, incluant le déplacement des zones de production
- Des stratégies d'irrigation plus restrictives combinées à la sélection de variétés conservatives ou tolérantes (selon les contextes) et de semis anticipés pourraient permettre de faire face aux tensions sur la ressource en eau
- De manière opportuniste, la double culture de soja peut être envisagée du fait de l'allongement de la saison de végétation, là où la disponibilité en eau le permet
- Le soja pourrait aussi trouver sa place en agriculture de conservation des sols (Vincent-Caboud *et al.*, 2019)
- Les outils de modélisation sont des outils précieux pour explorer le champ des possibles

Remerciements



Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale développement agricole et rural CASDAR


MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE
*Liberté
Égalité
Fraternité*



中國農業大學
China Agricultural University

