

Des variétés et des pratiques pour gérer les risques météorologiques et changements climatiques

F. Tardieu

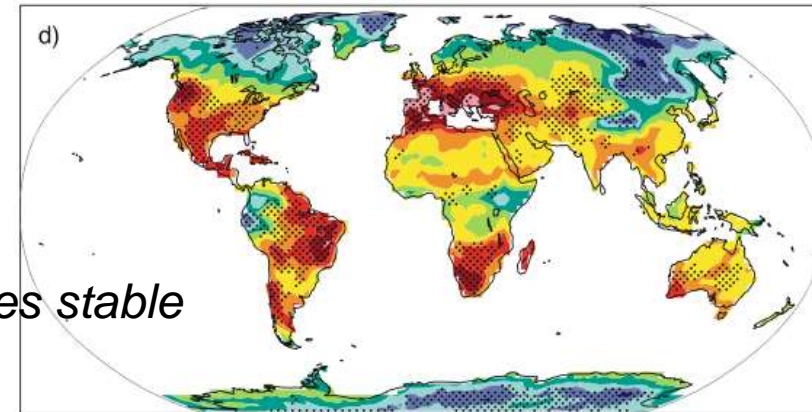


L'agriculteur adapte ses techniques/espèces au climat moyen, ce qui le gêne est la variabilité

Le Sahara n'est pas 'sec' pour l'agriculture parce qu'il n'y a pas d'agriculture

L'Australie considérée comme peu vulnérable, les systèmes de culture resteront adaptés à sécheresses stable

Jours sans pluie, 2050



La variabilité augmente ou diminue?

+ défavorable

Impact: combinaison de

- Conditions climatiques;
- Exposition (techniques: position du cycle dans l'année)
- Vulnérabilité (espèces et variétés)

Tardieu et al 2018, Ann Rev Plant Biol

IPCC (GIEC) 2014



Lauzannier, trois hivers

**L'effet moyen du changement climatique
est plus faible que la variabilité interannuelle**

Il y aura encore des hivers froids ou tièdes, des étés frais ou brûlants

La variabilité fait partie du jeu, aujourd'hui et en 2050

Variabilité: que ressentent les plantes ?

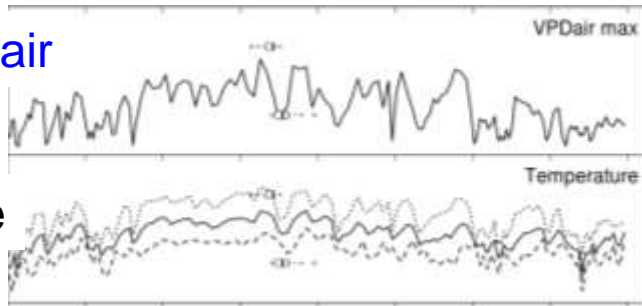
Température, sécheresse de l'air et des plantes, variables entre jours



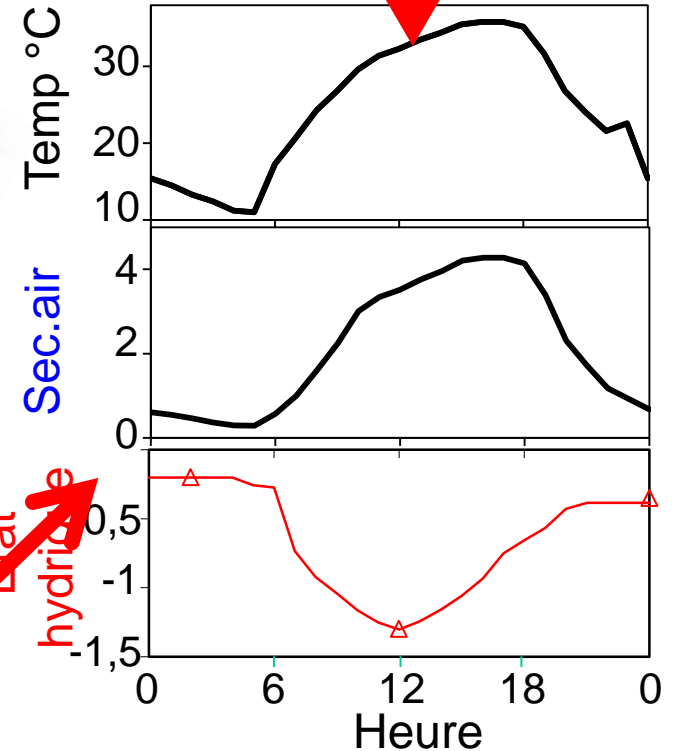
Chaque jour, chaque cellule va de 11 à 35°C de "humide" à "sec"

Sécheresse air

Température



jours

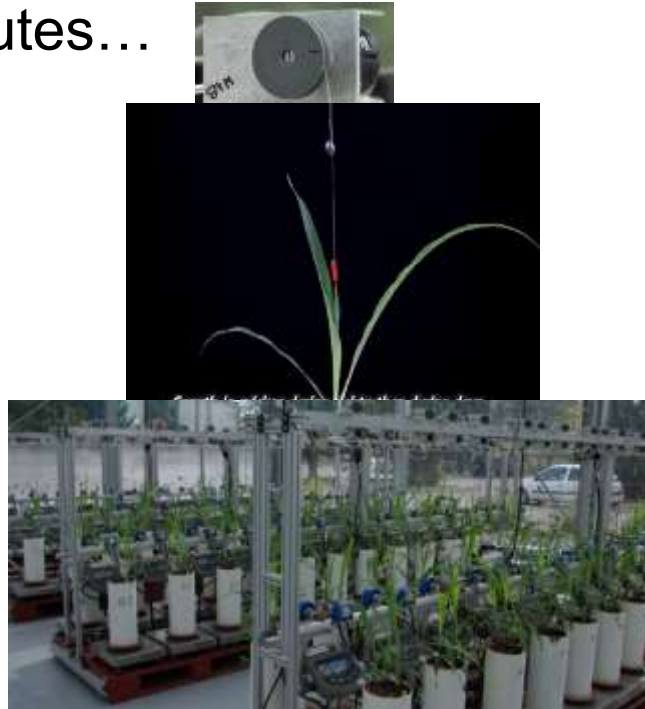


Les plantes vivent le risque climatique chaque minute



Variabilité: que ressentent les plantes ?

La croissance varie aussi entre minutes...

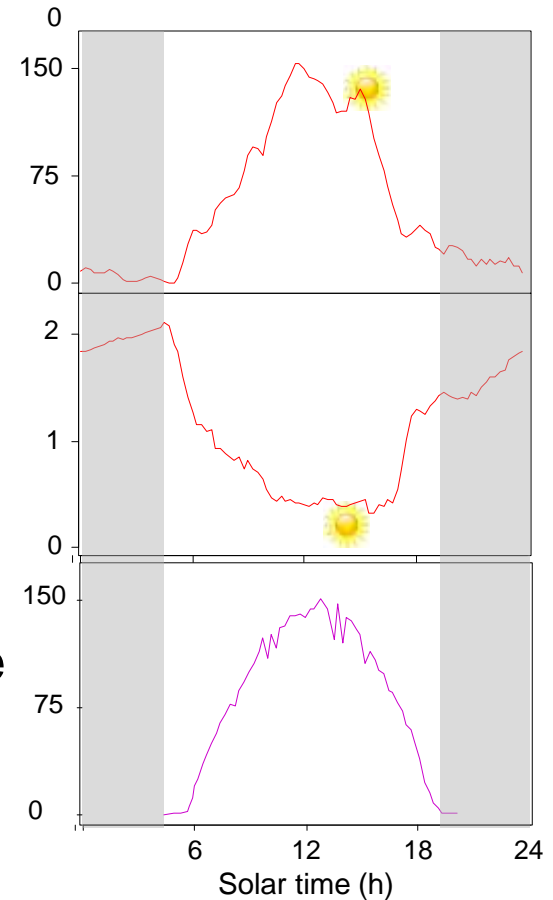


Les plantes vivent le risque climatique chaque minute

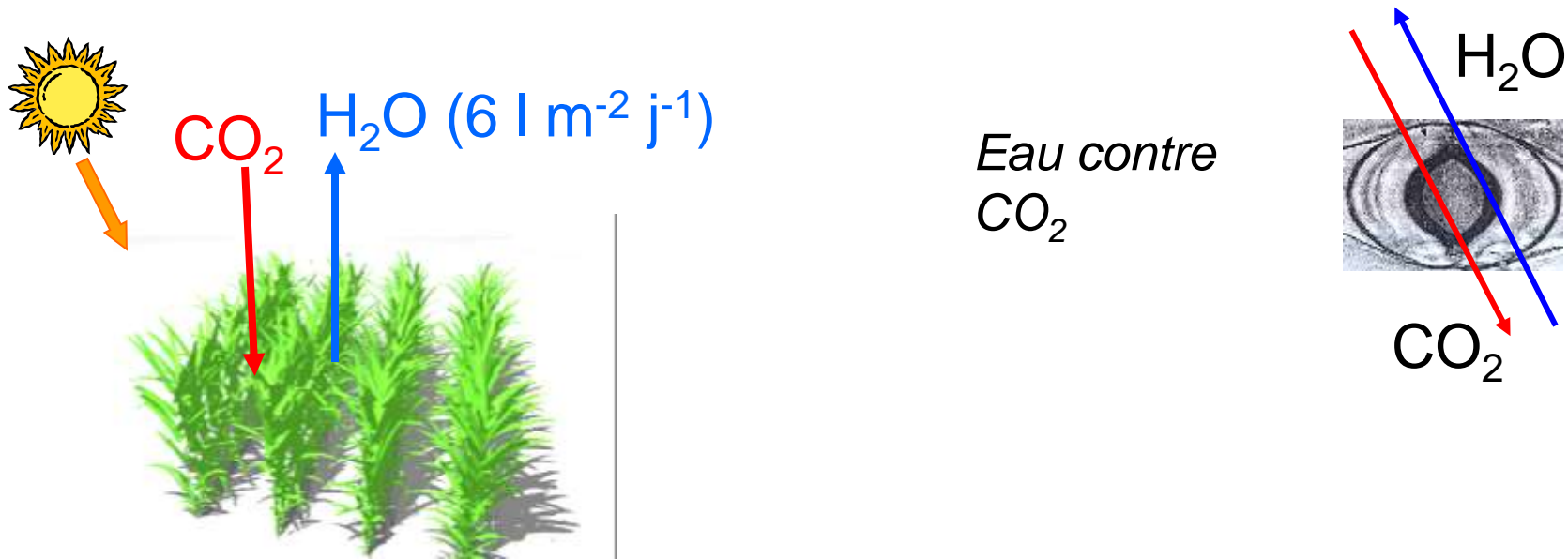
Transpiration
($\text{g h}^{-1} \text{m}^{-2}$)

Croissance
($\text{mm h}^{-1}_{20^\circ\text{C}}$)

Photosynthèse
($\mu\text{mol plant}^{-1} \text{s}^{-1}$)

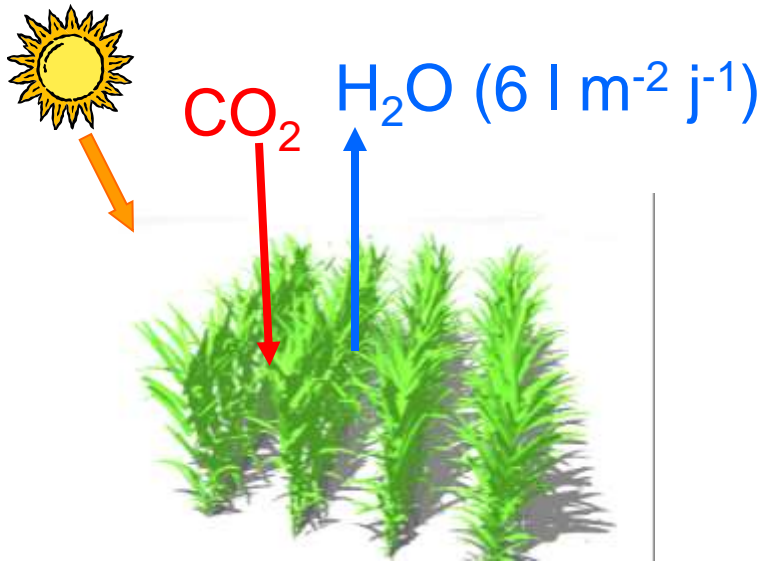


Quantité d'eau transpirée chaque jour = 100% poids de plante



Les stomates (trous dans les feuilles) servent à la fois à transpirer et à capter le gaz carbonique

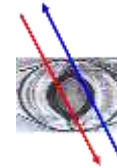
Quantité d'eau transpirée chaque jour = 100% poids de plante



Les stomates (trous dans les feuilles) servent à la fois à transpirer et à capter le gaz carbonique

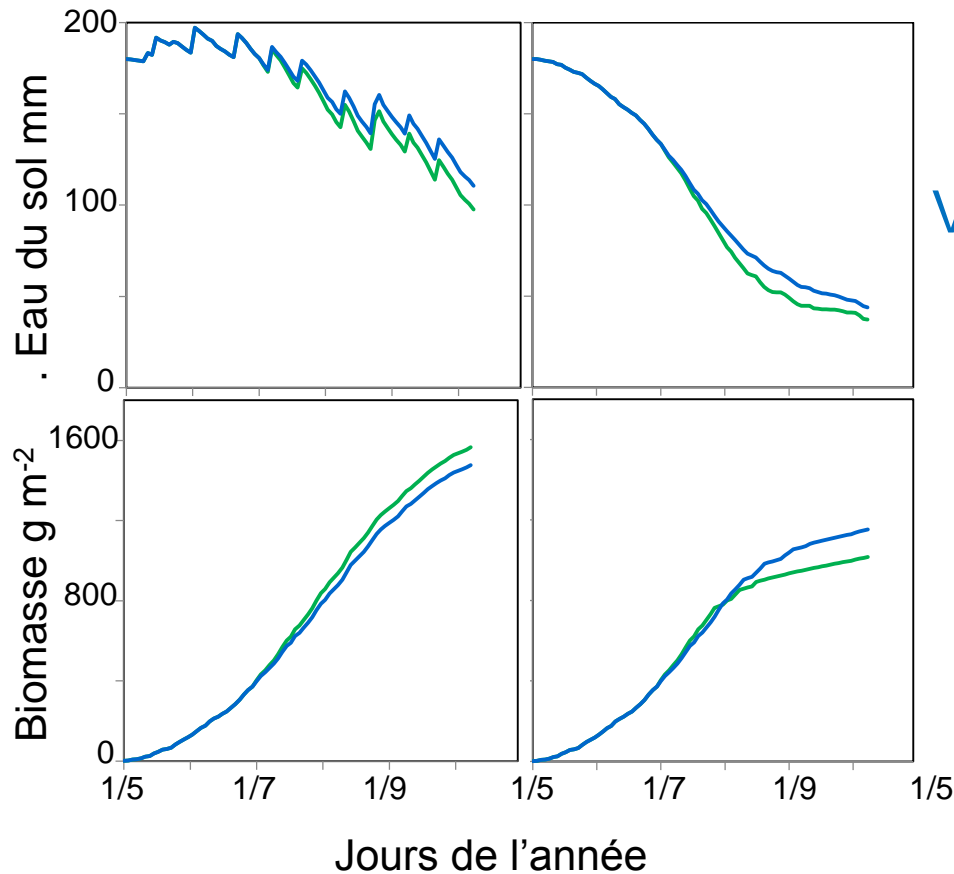
***Pas de transpiration, pas de croissance
L'agriculteur optimise l'eau vs le CO₂
dans le climat moyen de son champ***

Choisir une variété - qui croît et transpire beaucoup ?
 - qui économise ?



Sécheresse intermittente

continue



Variété économe gagne en sec continu
 rapide gagne en intermitant

L'agriculteur ne connaît pas les conditions de l'année, mais il(elle) connaît le risque de gagner ou perdre dans un champ donné



L'agriculteur optimise l'eau vs le CO₂ dans le climat moyen de son champ

On perd si le cycle est trop court (photosynthèse cumulée plus faible)
si le cycle est trop long (fin du cycle en mauvaises conditions)

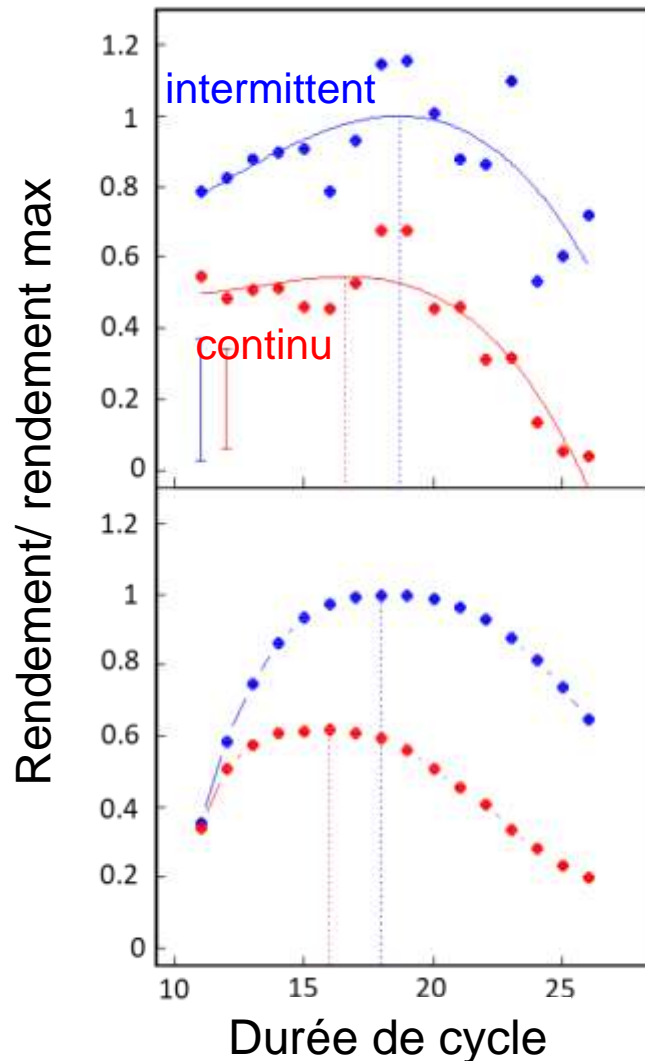
Un optimum est toujours observé

Expériences

6 essais au champ
150 variétés

Optimisation

Modèle:
60 champs
30 ans
600 variétés



On perd si le cycle est trop court (photosynthèse cumulée plus faible)
si le cycle est trop long (fin du cycle en mauvaises conditions)

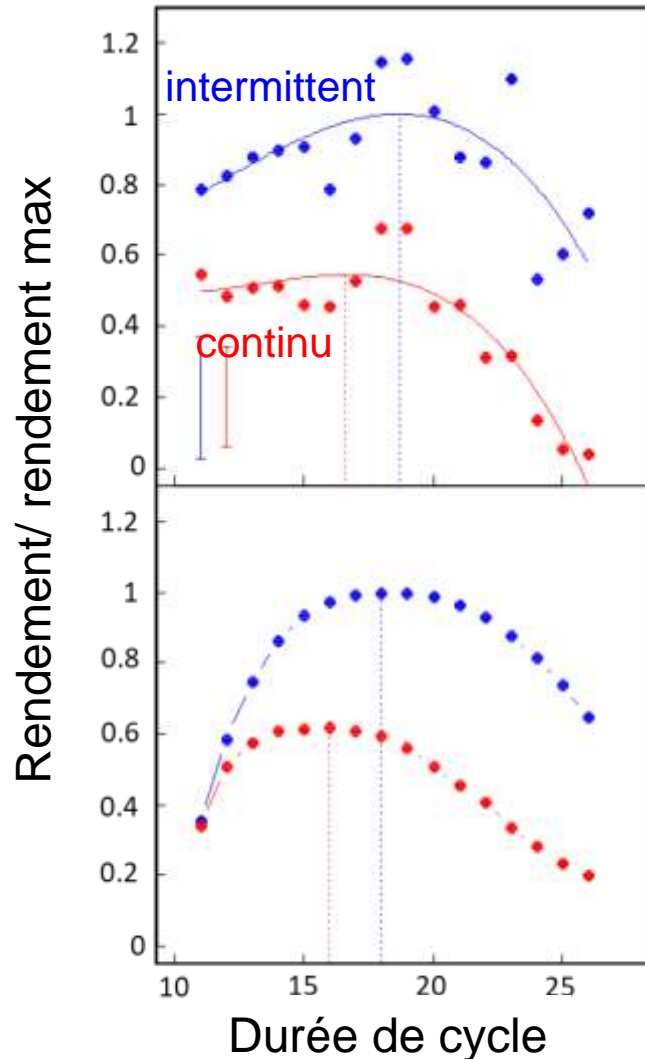
Un optimum est toujours observé

Expériences

6 essais au champ
150 variétés

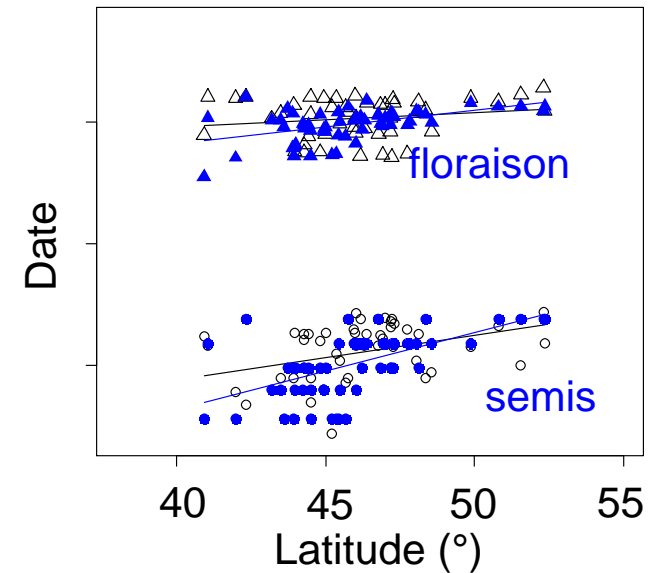
Optimisation

Modèle:
60 champs
30 ans
600 variétés



Les pratiques des agriculteurs
sont proches de l'optimum

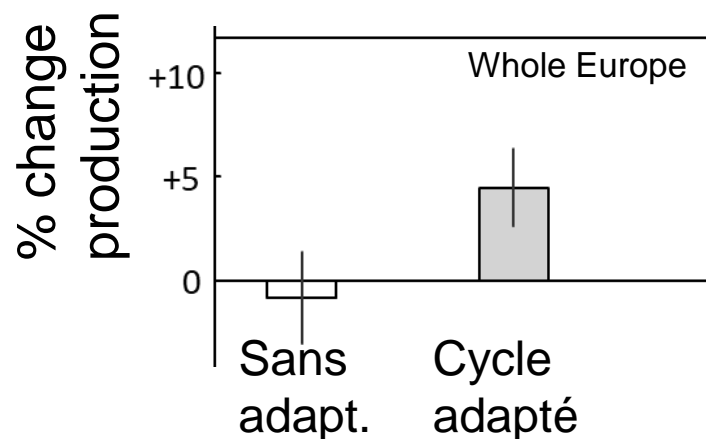
Bases de données
Simulations



Cultiver, c'est optimiser des contradictions, choix de variété (2, durée semis-récolte)

Changement climatique : calcul en 60 champs 30 ans 600 variétés

Les rendements baissent si on suppose que les génotypes seront les mêmes
maintenus si on suppose que les agriculteurs choisiront des génotypes adaptés,
avec les mêmes règles qu'actuellement



actuel
1980-2010



2050
30 ans
RCP4.5



Rendement ($t\ ha^{-1}$)

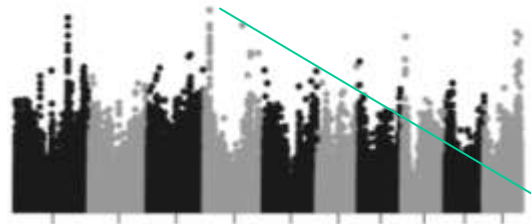


0 4 8 12 16

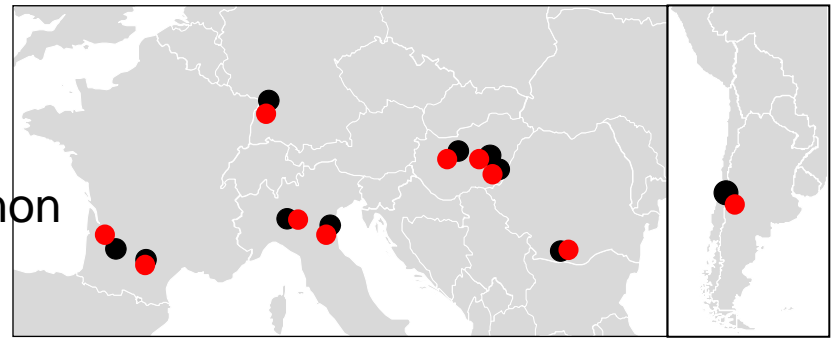
L'agriculteur peut maîtriser une partie des effets du changement climatique

La contradiction aussi au niveau des gènes (alleles)

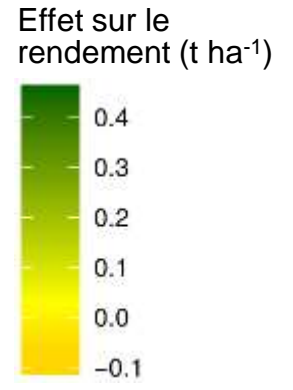
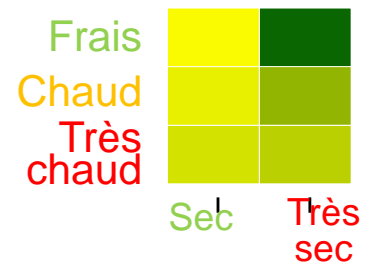
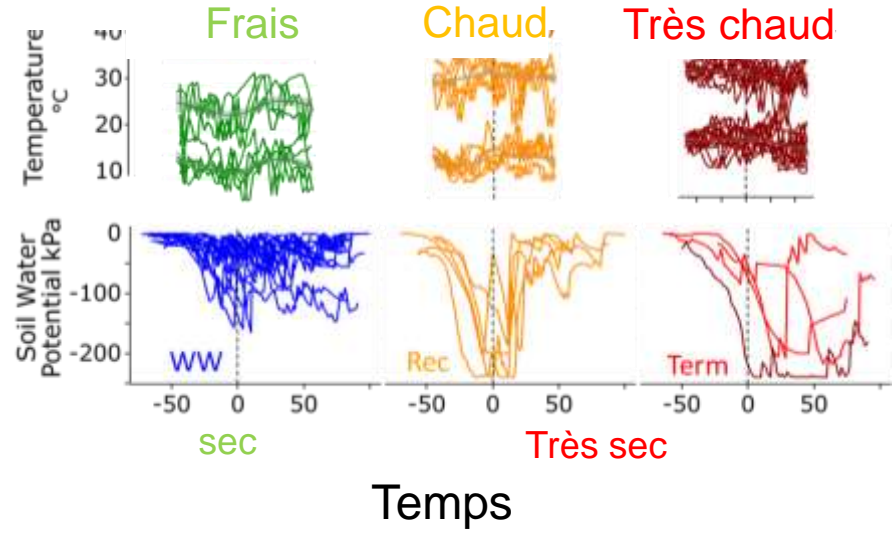
Génétique d'association



16 champs
 X
 2 ans
 X
 Irrigué ou non

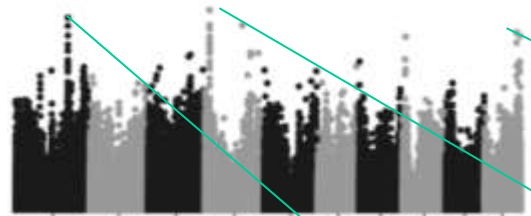


Chaque pic, une région du génome qui contrôle le rendement, positif ou négatif suivant le scénario

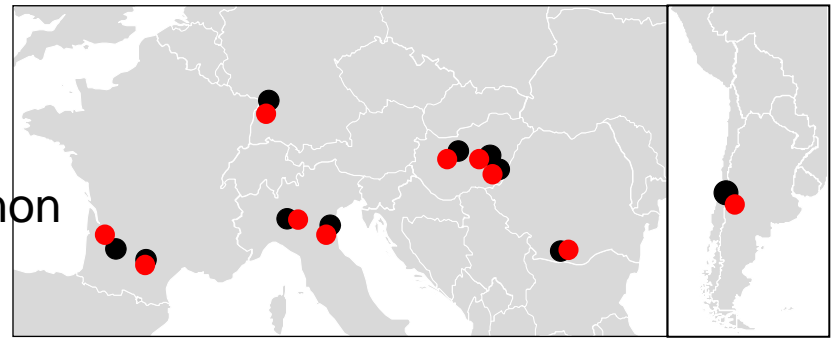


La contradiction aussi au niveau des gènes (alleles)

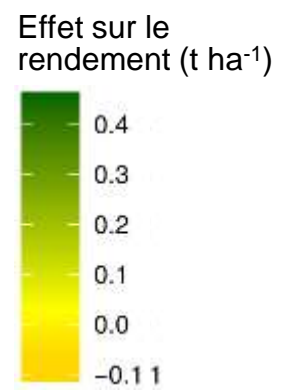
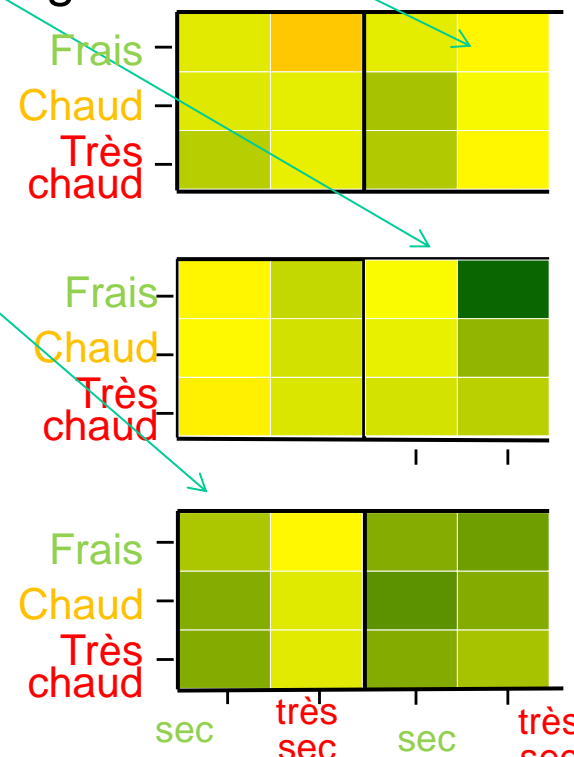
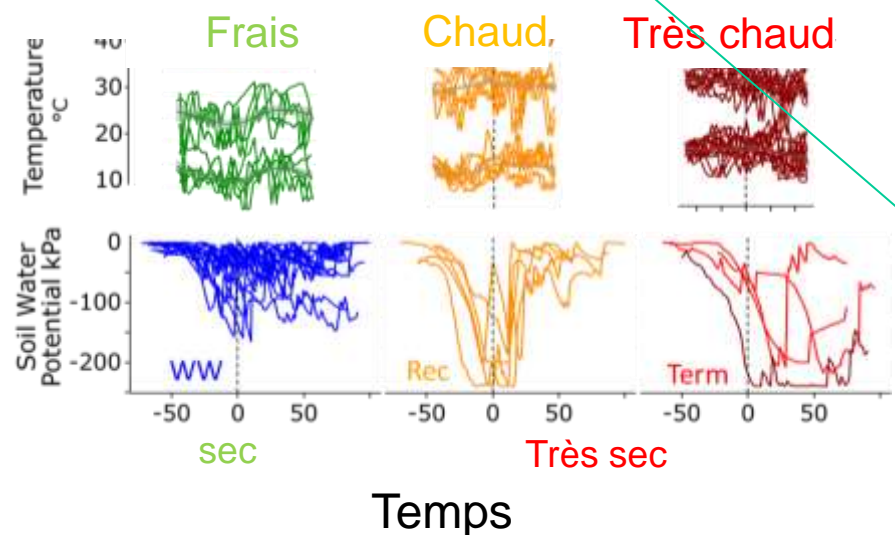
Génétique d'association



16 champs
X
2 ans
X
Irrigué ou non



Chaque pic, une région du génome qui contrôle le rendement, positif ou négatif suivant le scénario



Les plantes vivent dans la variabilité, chaque minute, jour et année

L'agriculteur adapte ses techniques au climat moyen du champ
il gère la variabilité comme un risque de prendre la mauvaise décision

L'adaptation des agriculteurs limite l'impact des changements climatiques

Les gènes universels d'adaptation ('variétés résistantes') n'existent pas

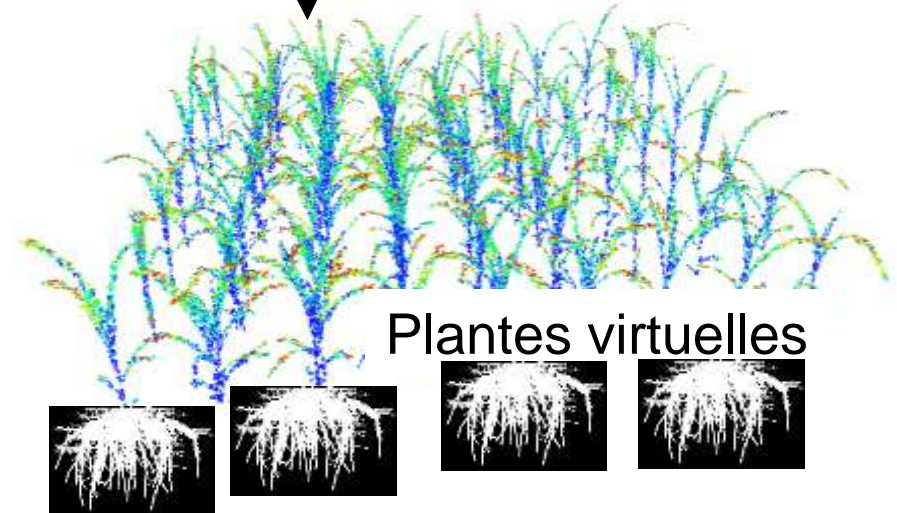
“Ca depend” : une approche probabiliste des adaptations

Que faire ? : 1. caractériser des centaines de génotypes

2400 plantes



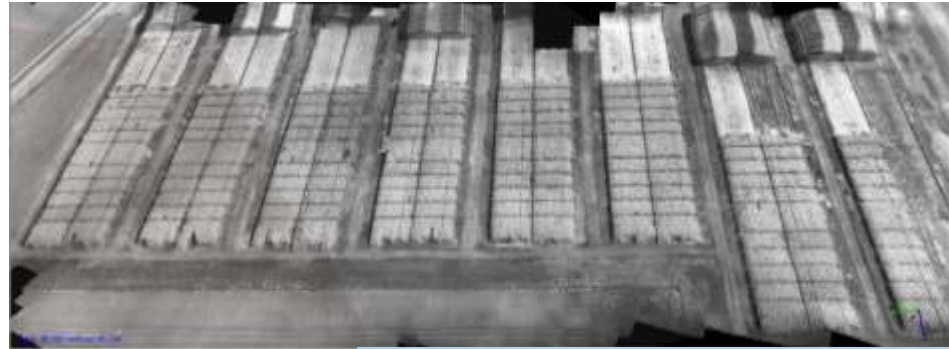
racines



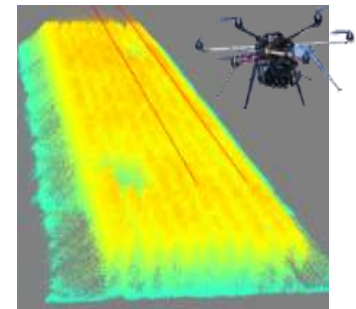
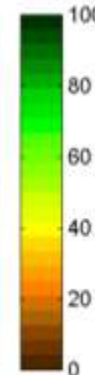
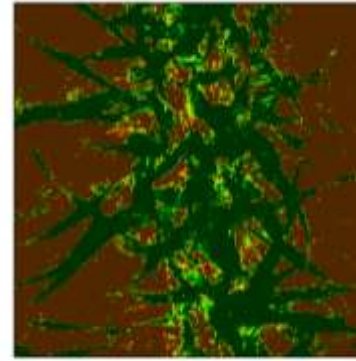
Plantes virtuelles

Que faire ? : 1. caractériser des centaines de génotypes

Champ



Contrôle puie et CO₂

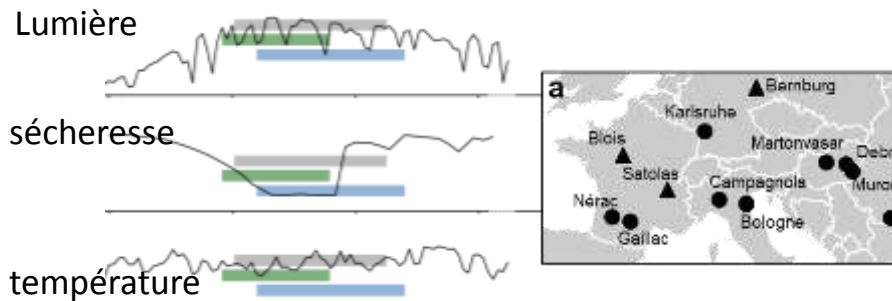


1. Stades du cycle végétatif, 248 variétés, plateforme



Temps corrigé par la température
(‘degrés jours’)

2. Réseaux de capteurs : Prévoir les stades de chaque variété dans chaque champ

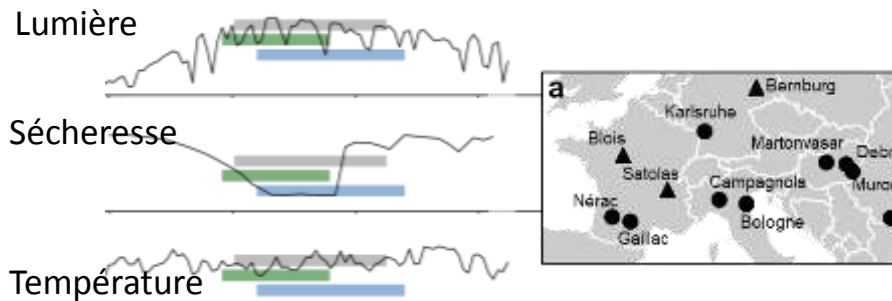


Que faire ? : 3. Réponses aux conditions mesurées, calcul du rendement

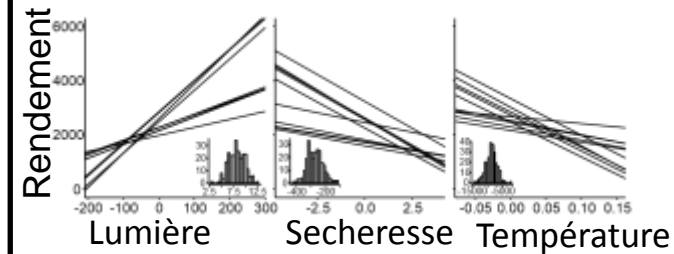
1. Stades du cycle végétatif, 248 variétés, plateforme



2. Réseaux de capteurs : Prévoir les stades de chaque variété dans chaque champ



3. Courbes de réponse aux conditions



4. Rendement, 25 champs, 248 variétés

$$GY_{ij} = (\mu + e_j + g_i + \sum_{l=1}^s \beta_{l,i} cov_{l,i,j}) \times GW_i$$

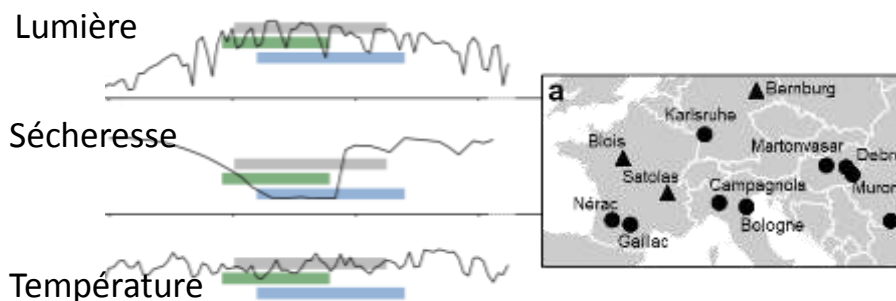
Où et quand une combinaison d'alleles est favorable (probabiliste) ?

1. Stades du cycle végétatif, 248 variétés, plateforme

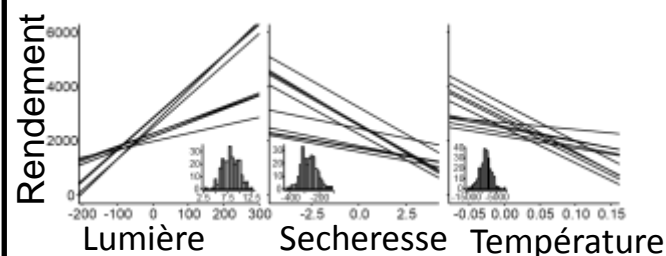


Temps corrigé par la temperature
(‘degrés jours’)

2. Réseaux de capteurs : Prévoir les stades de chaque variété dans chaque champ



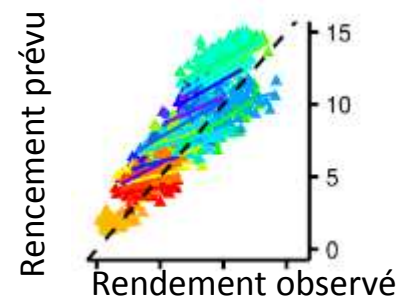
3. Courbes de réponse aux conditions



4. Rendement, 25 champs, 248 variétés

$$GY_{ij} = (\mu + e_j + g_i + \sum_{l=1}^s \beta_{l,i} cov_{l,i,j}) \times GW_i$$

5. Prédiction génomique



100s variétés, 100s champs, 30s d'années

Le risque fait partie du jeu: une approche probabiliste en agronomie et génétique (modélisation)

Les biotechs, la phénomique et les big data essentiels dans cette approche
(mais les “gènes universels de résistance à la sécheresse” n’existent pas)

L’adaptation des agriculteurs permet de limiter les effets du changement climatique

Il s’agit maintenant de l’accompagner: prévoir le rendement de centaines de génotypes dans des milliers de sites

L’agriculteur choisira la meilleure stratégie