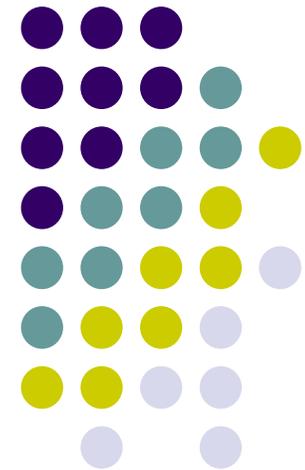


Conception et évaluation de systèmes de culture en conditions hydriques limitantes ou incertaines

Philippe Debaeke
INRA, UMR AGIR
Toulouse (France)



AgduMed09, Rabat, 14-16 Mai 2009



Situations d'étude



- Systèmes de culture non irrigués :
 - Zones à pluviométrie faible et irrégulière
 - Sols superficiels (« petites terres à cailloux »)
 - sécheresses **édaphiques** structurelles
 - quels itinéraires techniques et successions de cultures pour optimiser l'usage de la ressource (sol, pluie) ?

- Systèmes de culture irrigués :
 - Irrigation déficitaire
 - Zones où la réduction du recours à l'irrigation est prioritaire
 - sécheresses **hydrologiques**, moyens d'arrosage insuffisants, tension sur les usages, interdictions d'arrosage...
 - quel assolement, quelles stratégies d'irrigation, quelles méthodes alternatives ?

Stratégies d'adaptation à la sécheresse



Stratégie	Leviers techniques	Compromis à gérer
Conserver l'eau au semis	Précédent, gestion de l'interculture, travail du sol	Couverture du sol : CIPAN, affouragement
Esquiver la sécheresse	Cultures d'hiver, Var.précoces, Semis anticipé	Pb.bioagresseurs ↗ Tolérance froid ↘
Rationner l'eau	Réduire peuplement + azote ↗ Ecartement entre rangs	Evaporation Salissement Rendement potentiel ↘
Tolérer la sécheresse	Choix de cultures et de variétés tolérantes	Offre variétale, Marchés & prix
Atténuer la sécheresse	Irrigation (appoint)	Disponibilité de la ressource ; autres priorités



Les Echos
LE QUOTIDIEN DE L'ÉCONOMIE

Sécheresse : le maïs montré du doigt

Une expertise pilotée par l'Inra a étudié le lien entre aridité et agriculture en France. L'organisme plaide pour une diversification des cultures.

Stratégies pour réduire les volumes d'eau d'irrigation

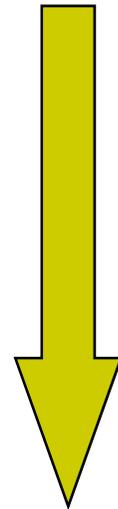


1. Mieux raisonner les **apports d'eau** :

- ❑ *choix et réglage du matériel*
- ❑ *suivi des avertissements 'irrigation'*
- ❑ *outils de pilotage (dose, débit)*

2. Diminuer les **besoins en eau d'irrigation** par une adaptation de l'itinéraire technique (y.c. choix variétal)

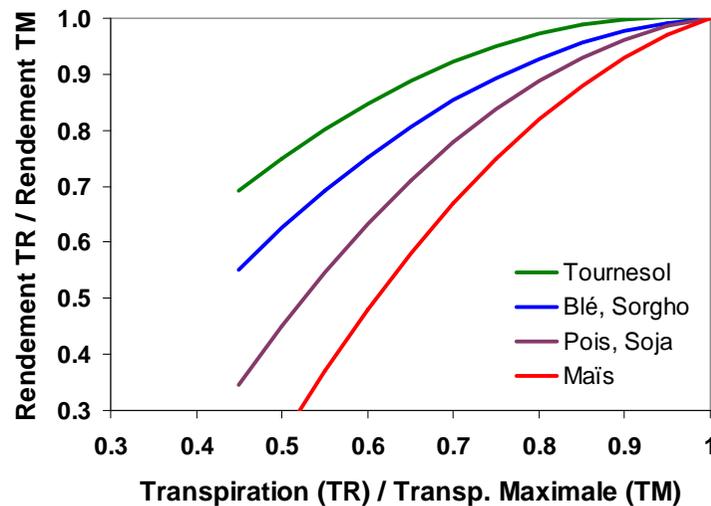
3. Augmenter la contribution dans l'assolement des **cultures (& variétés) économes en eau ou à besoins décalés**



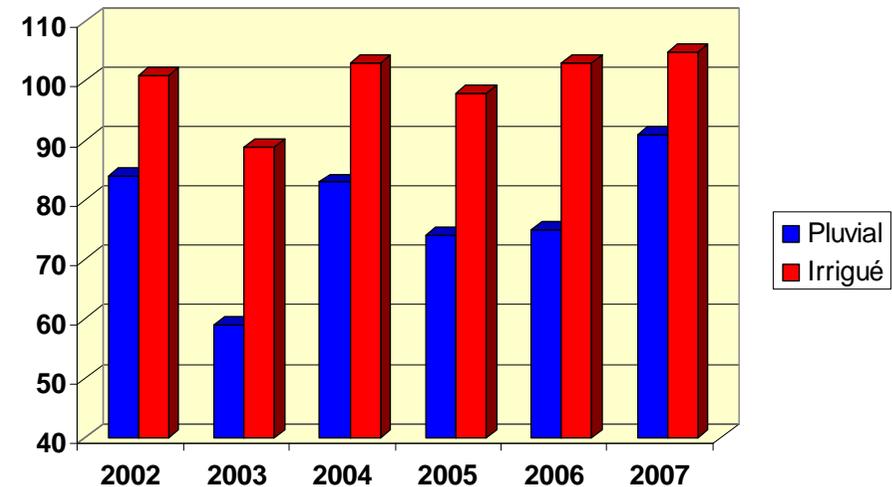
Quelles méthodes pour concevoir et évaluer des systèmes de culture?



- **Expérimentation (+ enquête)** : méthodes privilégiées en agronomie pour établir des lois d'action et fournir des références
 - * Fonctions de réponse du rendement à l'eau
 - * Fonctionnement des systèmes de culture irrigués



Fonctions de production



Rendement maïs (SCEES)

Quelles méthodes pour concevoir et évaluer des systèmes de culture?



- **Modélisation (simulation & optimisation) :**

- approche permise depuis 15-20 ans par la formalisation du fonctionnement des cultures sous contrainte hydrique
- approche recommandée au vu de la variabilité inter-annuelle et intra-saisonnière de la disponibilité en eau pour la culture

→ *Modèles de bilan hydrique*

→ *Modèles de simulation des cultures & des successions de culture*

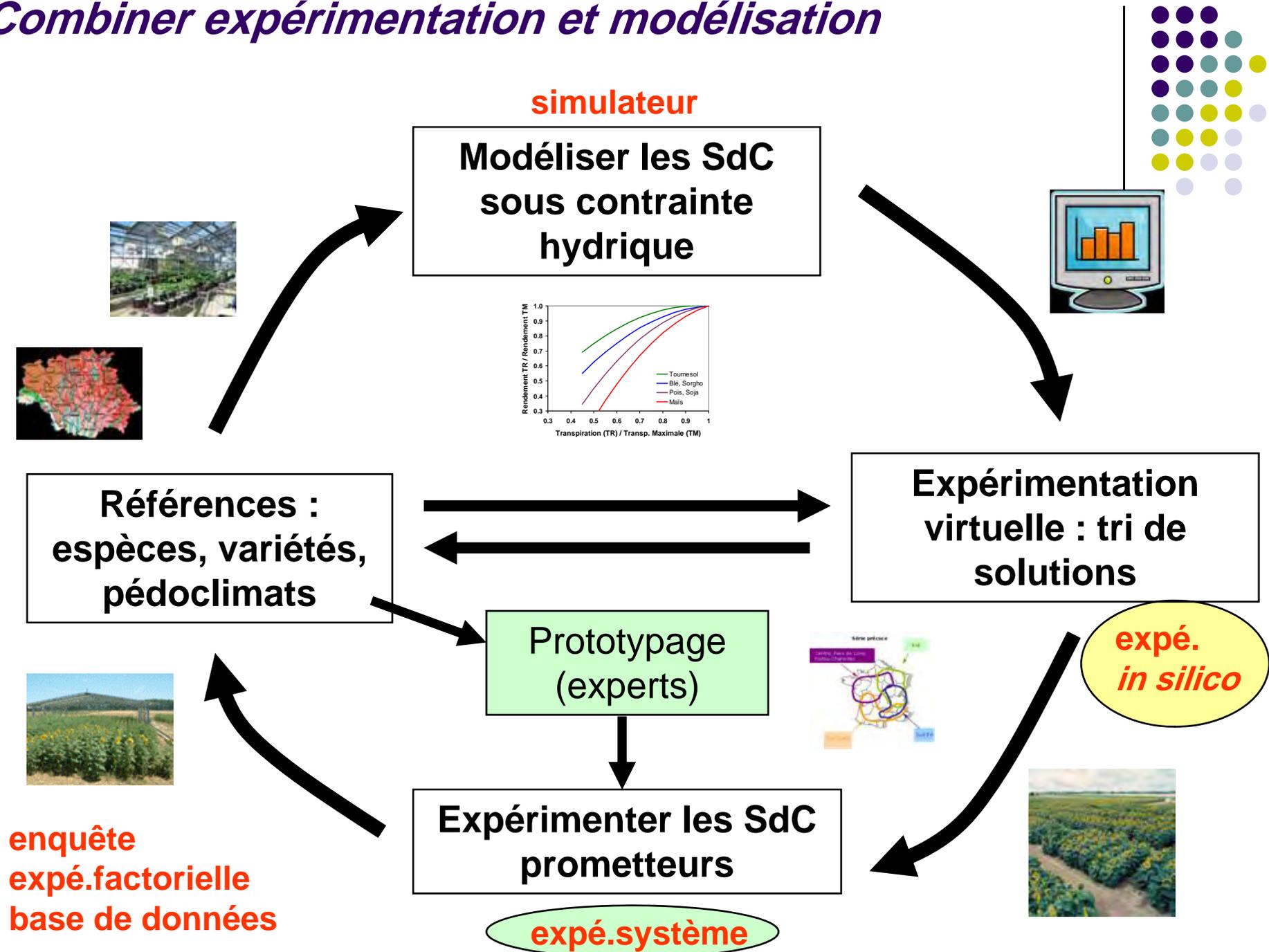
→ *Modèles d'optimisation (assolement, dose-fréquence)*

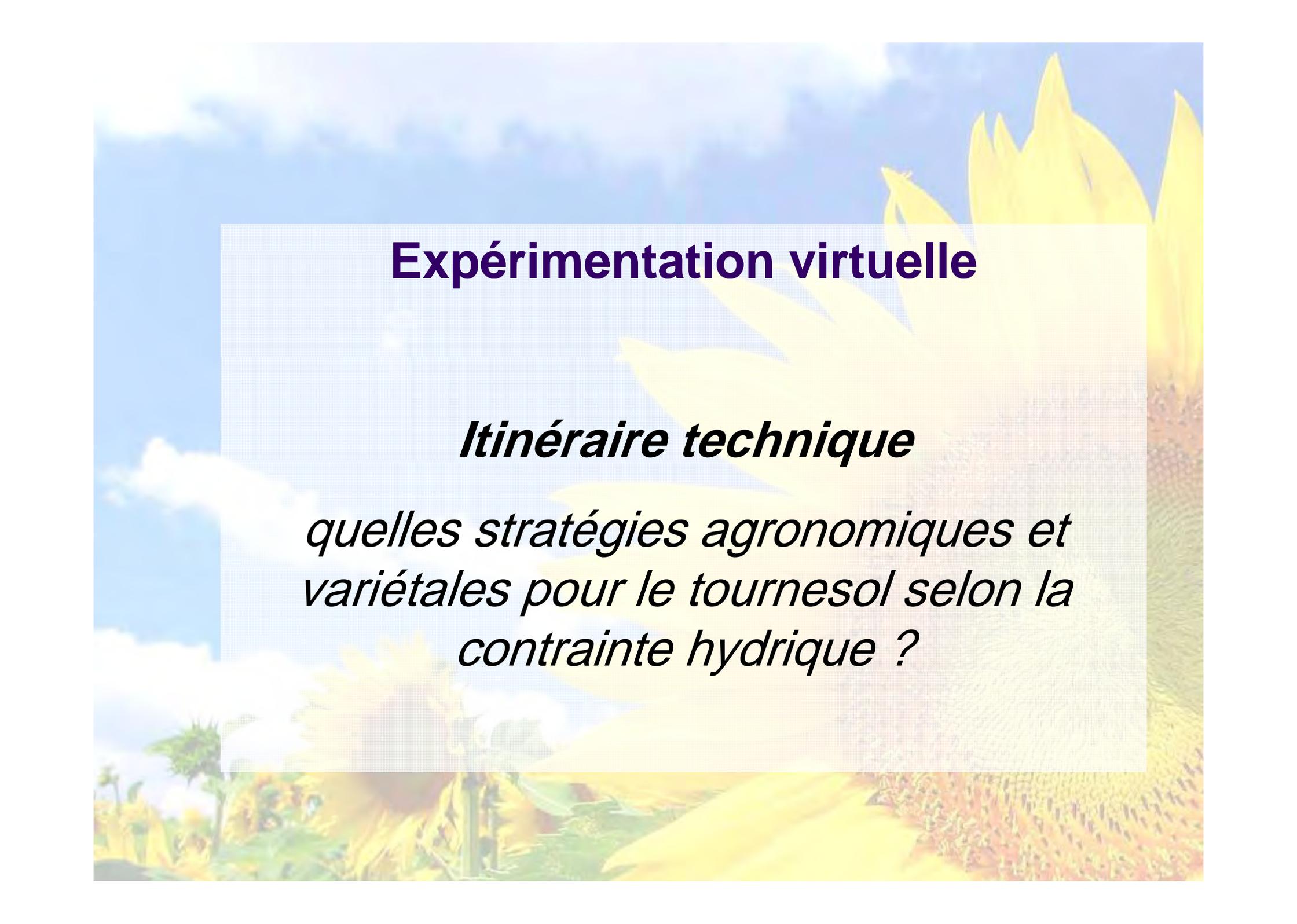
→ *Modèles bio-décisionnels (si....alors)*

→ *Modèles bio-économiques*

→ *Modèles couplés avec l'hydrologie (nappes)*

Combiner expérimentation et modélisation



A background image of a sunflower field under a blue sky with white clouds. The sunflowers are in various stages of bloom, with bright yellow petals and dark brown centers. The image is slightly blurred, giving it a soft, natural feel.

Expérimentation virtuelle

Itinéraire technique

*quelles stratégies agronomiques et
variétales pour le tournesol selon la
contrainte hydrique ?*

Le tournesol :

- plante tolérante à la sécheresse (enracinement...)
- grande plasticité de la surface foliaire
- cultivée en sols superficiels, sans irrigation, dans le Sud de l'Europe



Pas de stress hydrique

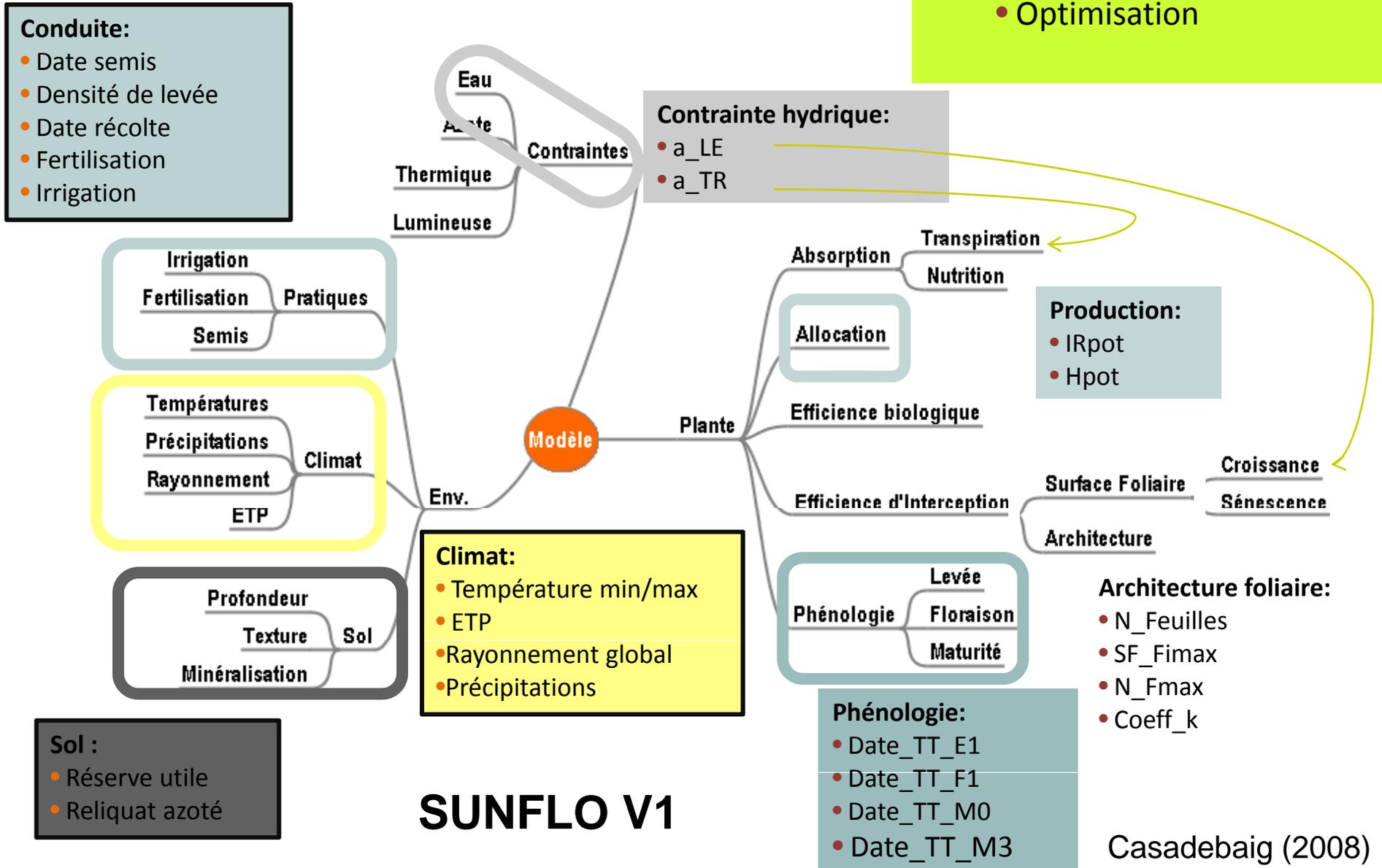


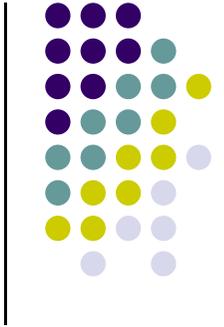
Stress précoce

Variables d'entrées

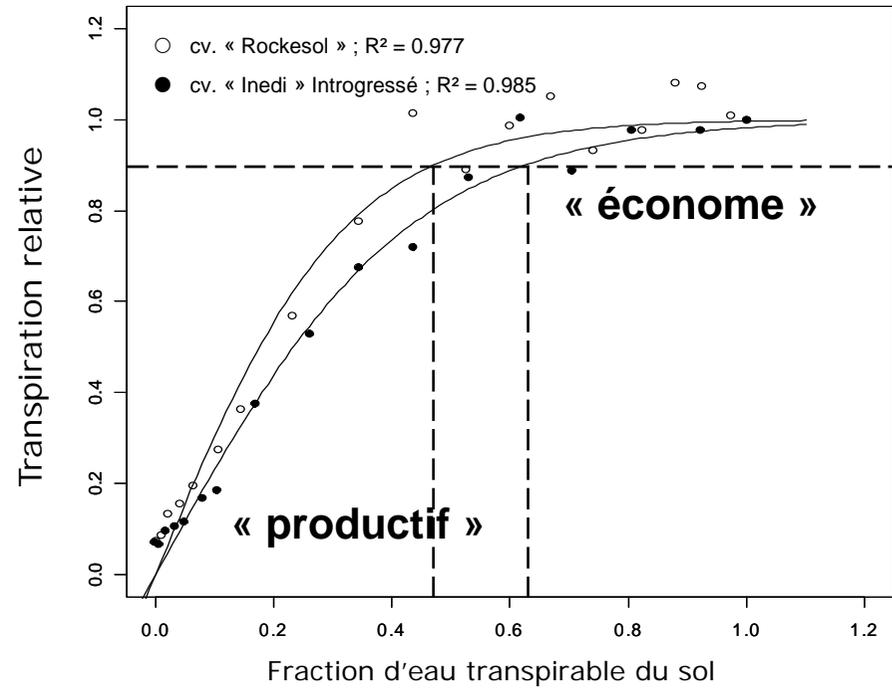
12 Paramètres génotypiques

- Mesure Champ/Serre
- Optimisation

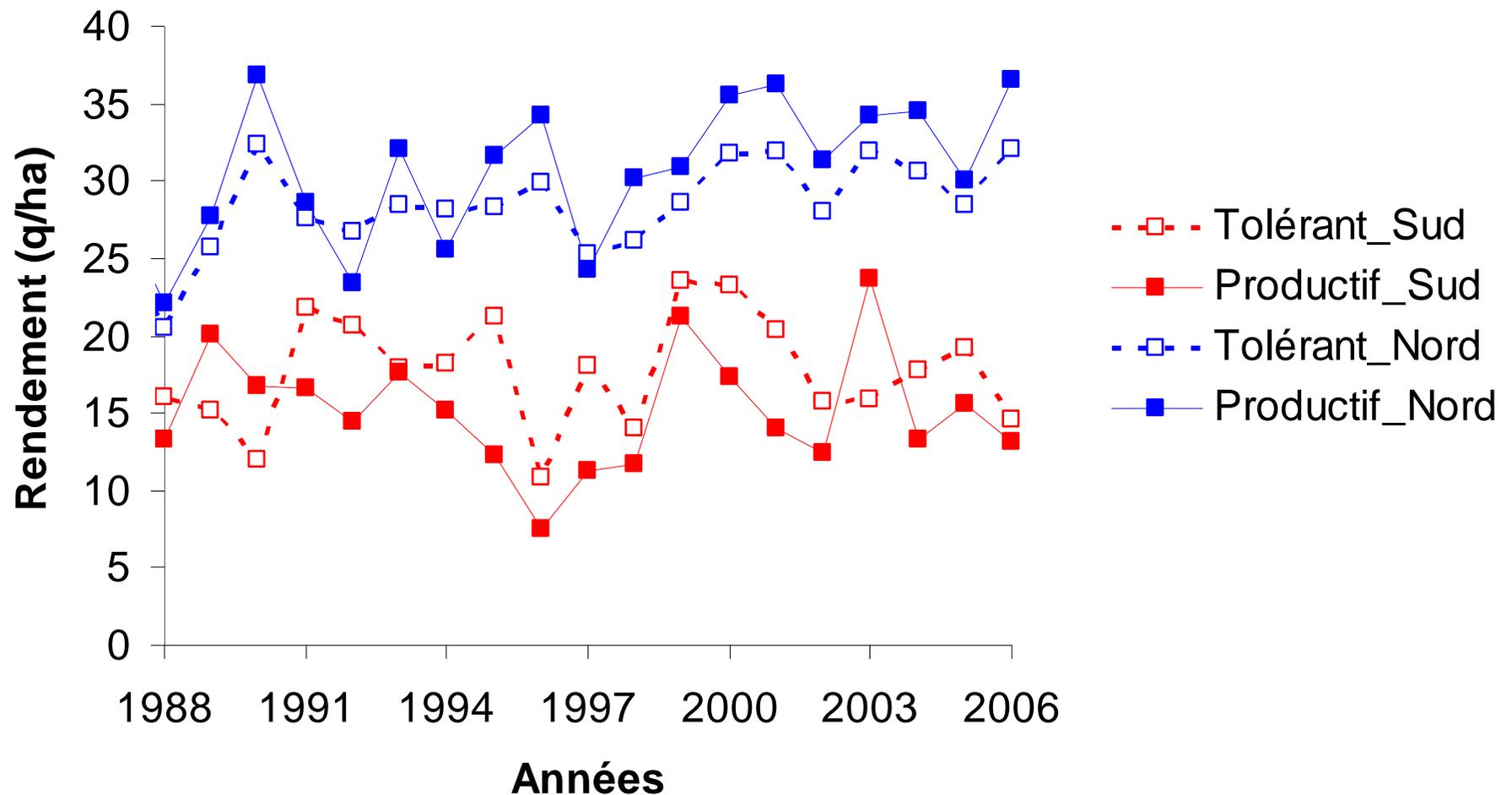


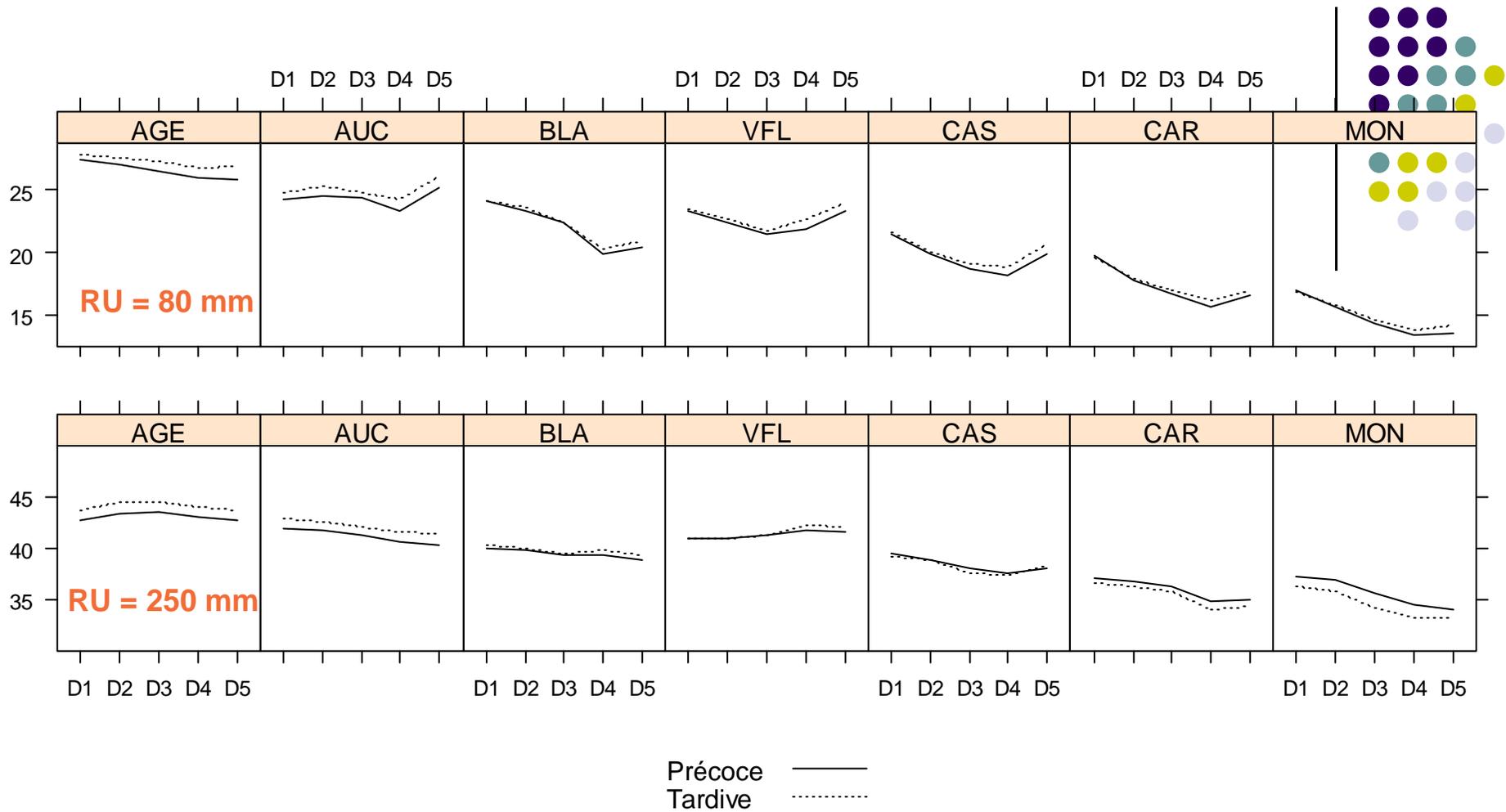


Paramétrage de la réponse de la transpiration à la contrainte hydrique (en serre)



Evaluation par modèle de 2 stratégies variétales (« tolérance » vs « productivité ») selon la disponibilité en eau





Recherche de la date de semis optimale dans le Sud-Ouest : esquive

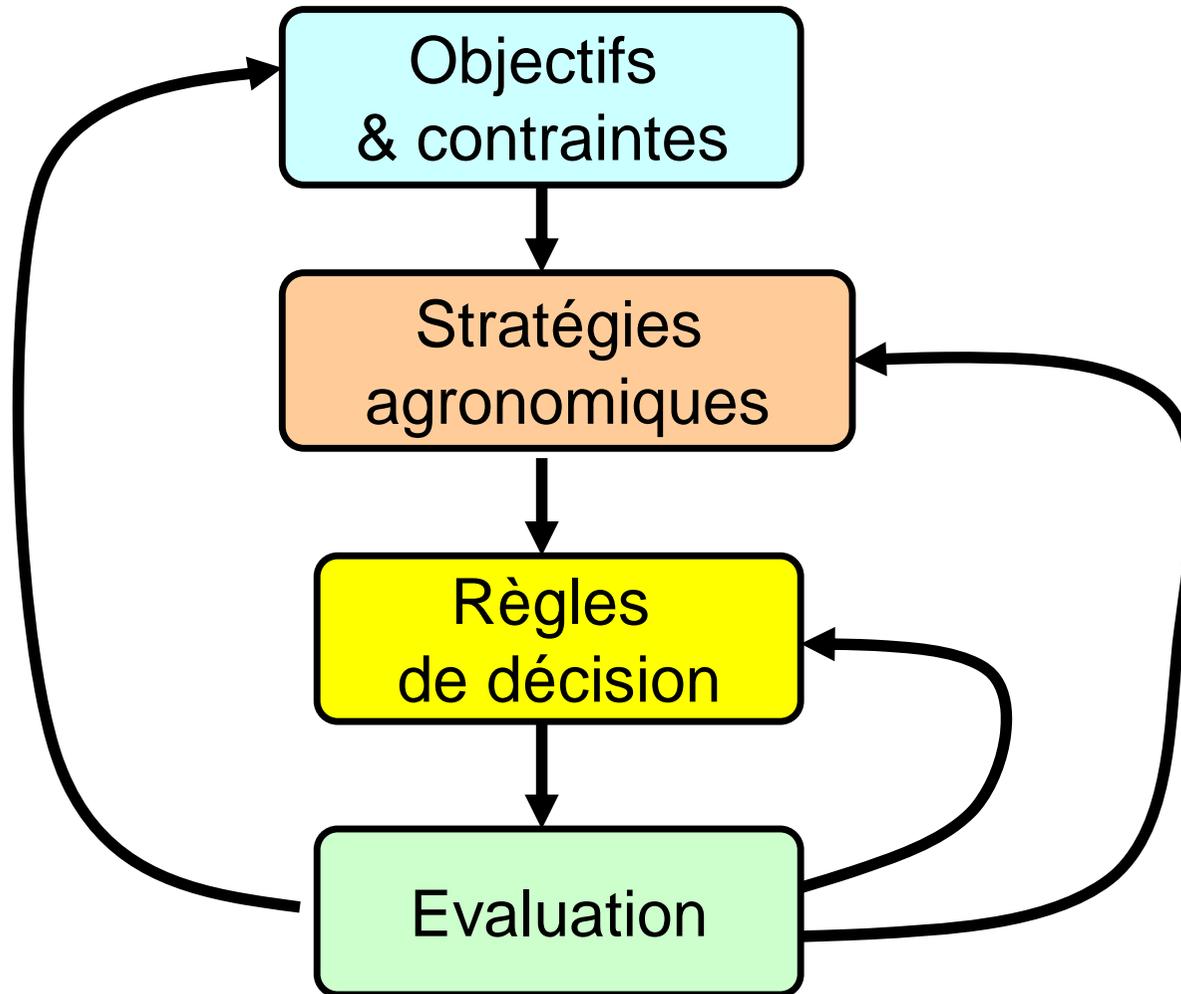
- > Une « règle empirique » retrouvée par modélisation : perte de rendement de 0.5 q/10j de retard de semis **sur certains sites** (Casadebaig, 2008)

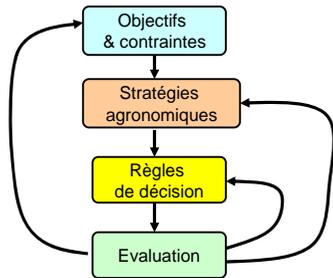
Expérimentation Système

*Quels systèmes de culture pour
s'ajuster à la ressource en eau
d'irrigation ?*



La boucle conception-évaluation de l'expérimentation système





Expérimentation Système Toulouse (1995-2002)



Systèmes intégrés, flexibles, rentables		
Contraintes sur le volume en eau d'irrigation		
A : 240 mm	B : 120 mm	C : sec
Choix de cultures valorisant l'irrigation : maïs, soja, pois print.	Choix de cultures économes en eau ou tolérantes à la sécheresse : sorgho, tournesol, pois hiver	
Assurer le besoin en eau sans gaspillage	Irriguer en période sensible + rationner par N et densité	Esquiver le déficit hydrique + rationner fortement par N et densité
Règles pour choisir la densité de semis, la dose N, l'apport d'eau (bilans prévisionnels)		
Expérimentation en grandes parcelles : évaluation par diagnostic, essais factoriels, modèles dynamiques eau * N		



Système B

- Maximisation Marge Brute
- Irrigation limitée



Rendement élevé
($Y_t = 8.5 \text{ t/ha}$)

Durée de
végétation
longue

Fort IF

Irrigation

Semis précoce : « dès le 20 Avril »

Variété demi-précoce : « cv.DK 26 »

Peuplement : « 30-35 plants/m² »

Fertilisation N élevée et fractionnée
(« 25 kg N/t of grain »)

« Si $TR / TM < s$; $s = f(\text{stade phénologique})$;
 $0.5 \leq s \leq 0.8$ »

Réduction de
la fréquence
et de l'impact
du stress eau
($Y_t = 6.5 \text{ t/ha}$)

Esquive du
stress

Rationnement
végétatif

Tolérance

Floraison
précoce

Réduction
IF

Variété
tolérante ?

Variété précoce : « cv.DK 18 »

Peuplement : « 25-30 plants/m² »

Fertilisation N modérée, au semis
(« 23 kg N/t of grain »)

Non disponible

Système C

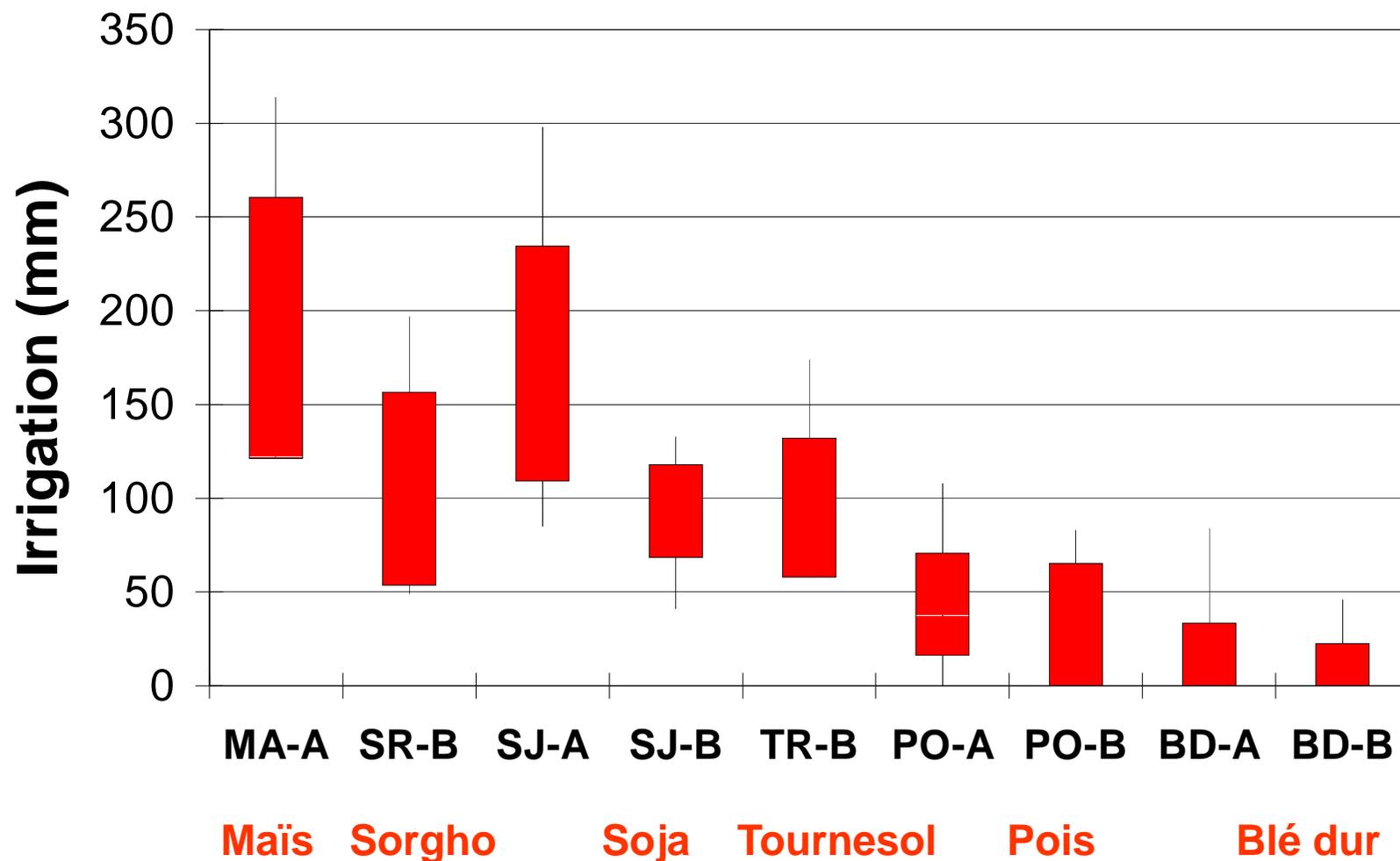
- Maximisation Marge Brute
- Pas d'irrigation



Sorgho : stratégies & règles de décision



Application des règles de décision : ex. irrigation (effet conduite & année)

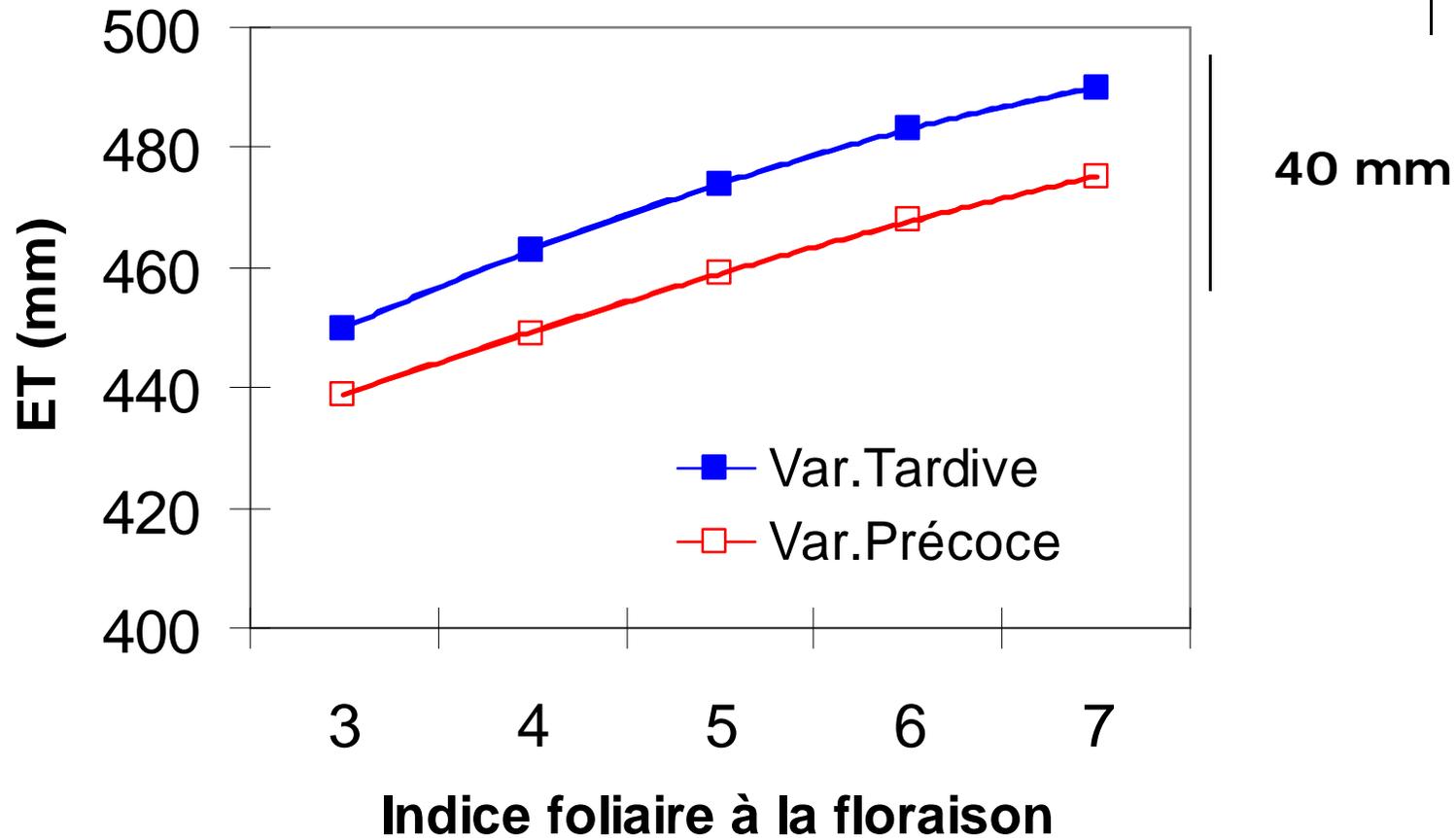


L'évaluation des systèmes de culture



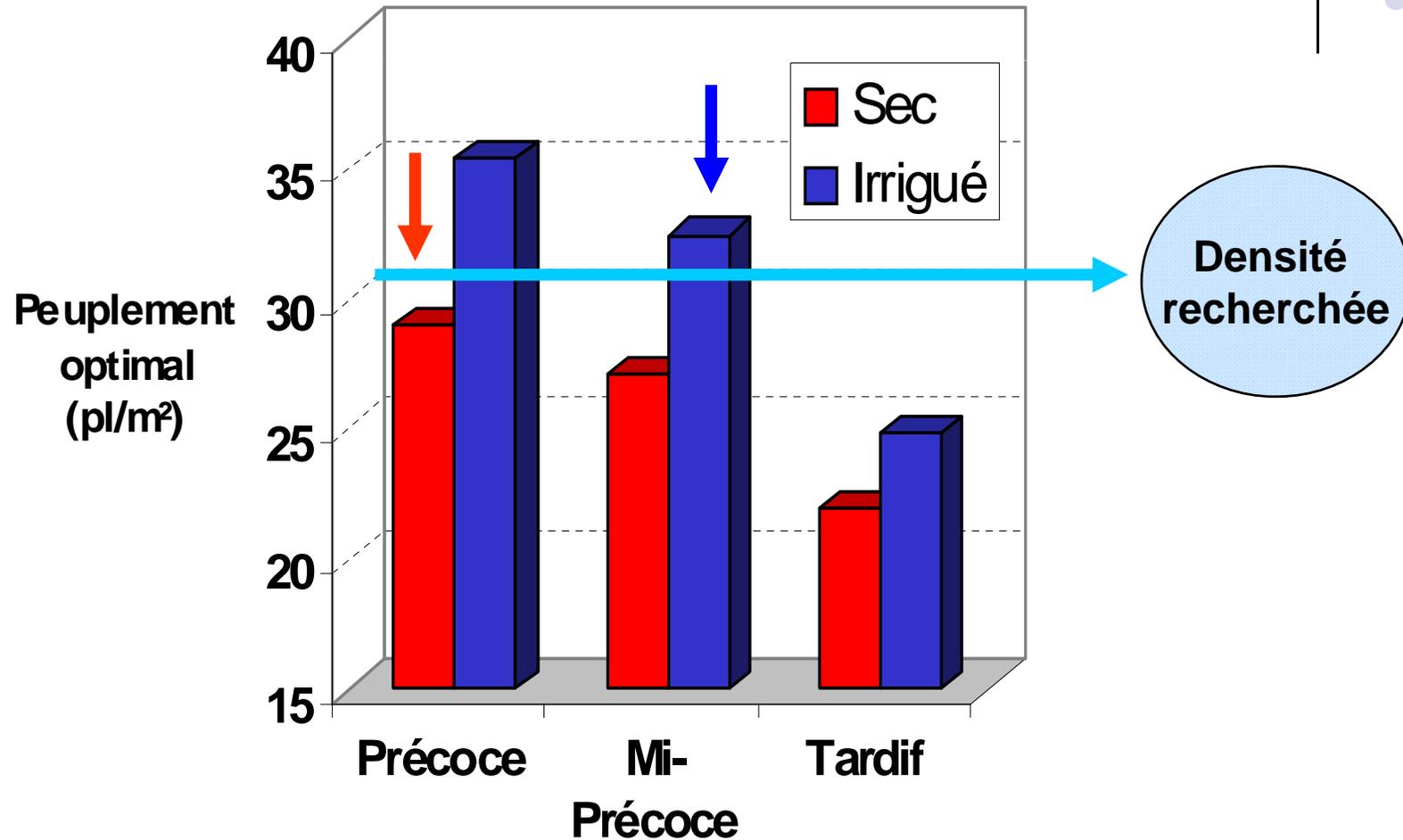
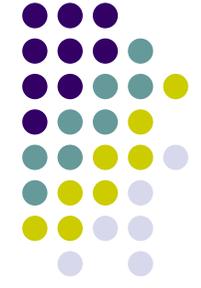
- **Globale** : comparaison des résultats globaux (économiques, environnementaux...) aux objectifs assignés au système de culture
ex. rentabilité en sec et en irrigué ?
- **Agronomique** : atteinte ou non des objectifs agronomiques ----> bien-fondé des stratégies et règles de décision : *2 outils, le diagnostic agronomique et l'essai factoriel*
ex. le rationnement permet-il de réduire le besoin en eau ?
ex. l'adaptation de la densité de peuplement à la variété et à l'irrigation est elle optimale ?

Validation de la stratégie de rationnement végétatif : sorgho



Debaeke et al. (2006)

Evaluation d'une règle de décision : *la densité de semis du sorgho*

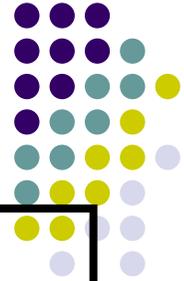


Densité recherchée

Précocité du cultivar

1995-99

Conclusions



Contexte :

- + de risque de sécheresse
- + de pénurie d'eau d'irrigation
- + de variabilité climatique inter-annuelle
- + de contraintes sur la production (réglementation, marchés)



Thématiques prioritaires

- * évaluer la **flexibilité** des systèmes de culture (actuels)
- * concevoir et évaluer de façon **multicritère** des systèmes de culture répondant au changement de contexte



Méthodes

- * privilégier la modélisation (scénarios, variabilité....) en univers incertain
- * rôle de l'expérimentation :
 - paramétrage / validation des modèles
 - test de prototypes

Je vous remercie de votre attention

