

# EVALUATION DE VARIETES TOLERANTES A LA SECHERESSE ET AUX FORTES TEMPERATURES

## Jean-Charles DESWARTE

J-C DESWARTE, D. GOUACHE, A. BONNARD, P. GATE – ARVALIS



I. GARCIA de CORTAZAR-ATAURI, N. BRISSON, M. LAUNAY  
INRA Agroclim (Avignon)



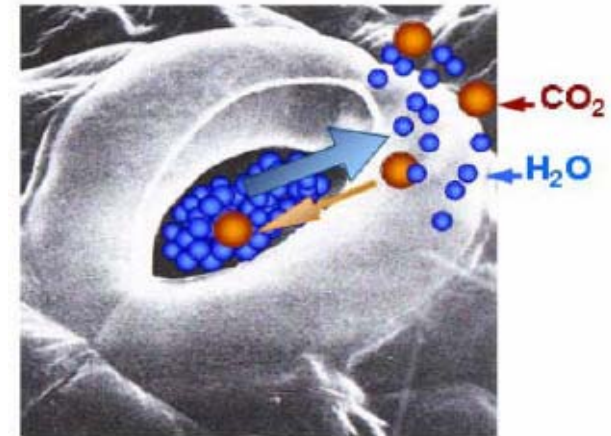
C. GIROUSSE – INRA UMR1095 (Clermont-Ferrand)

Avec l'appui de:

F. CASSIGNOL (UFS),  
S. DUTRIEZ (Caussade Semences),  
P. GIRAUDEAU (Secobra),  
P. SENELLART (Syngenta),  
J. STRAGLIATI (Limagrain),  
S. SUNDERWIRTH (Momont),  
G. TCHERKEZ (Institut de Biologie des Plantes)

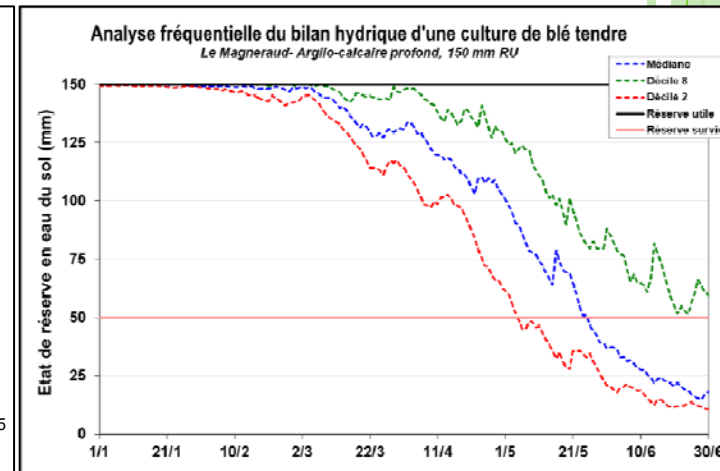
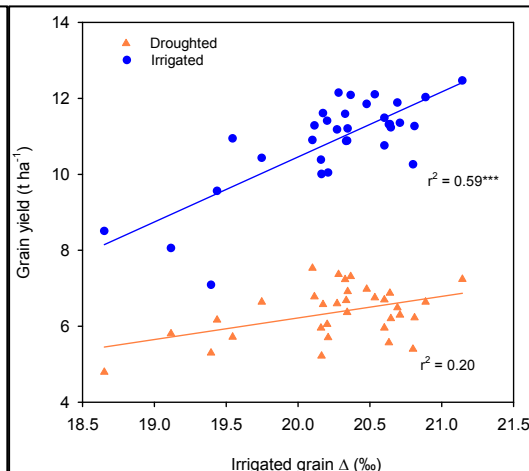
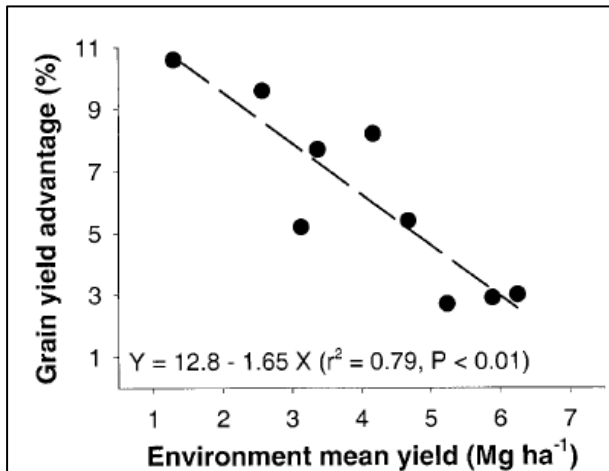
# Discrimination isotopique du carbone : *Introduction*

❖ Travaux de Farquhar et al – 80's et 90's: relation entre la composition isotopique du carbone photosynthétique et l'efficacité intrinsèque de l'eau.



❖ En situation d'eau limitante :

$$\text{Rendement} = \text{Transpiration} * \text{EUE} * \text{IR}$$



(Extrait de Rebetzke et al, 2002)

(Extrait de Ober et al, 2010)

# Discrimination isotopique du carbone: *Matériels et méthodes*

## ❖ **Essais de plein champ :**

- Avec modalités d'irrigation (scénarios hydriques variés), liste variétale courte (4 BTH + BDH)
- Sans modalités d'irrigation, listes variétales longues (>10 BTH)

## ❖ **Variables mesurées :**

- Rendement et composantes
- Composition isotopique sur grain à la récolte (+ feuilles à floraison et courant remplissage)
- Evapotranspiration et LAI (essais du Magneraud)

## ❖ **Variables calculées :**

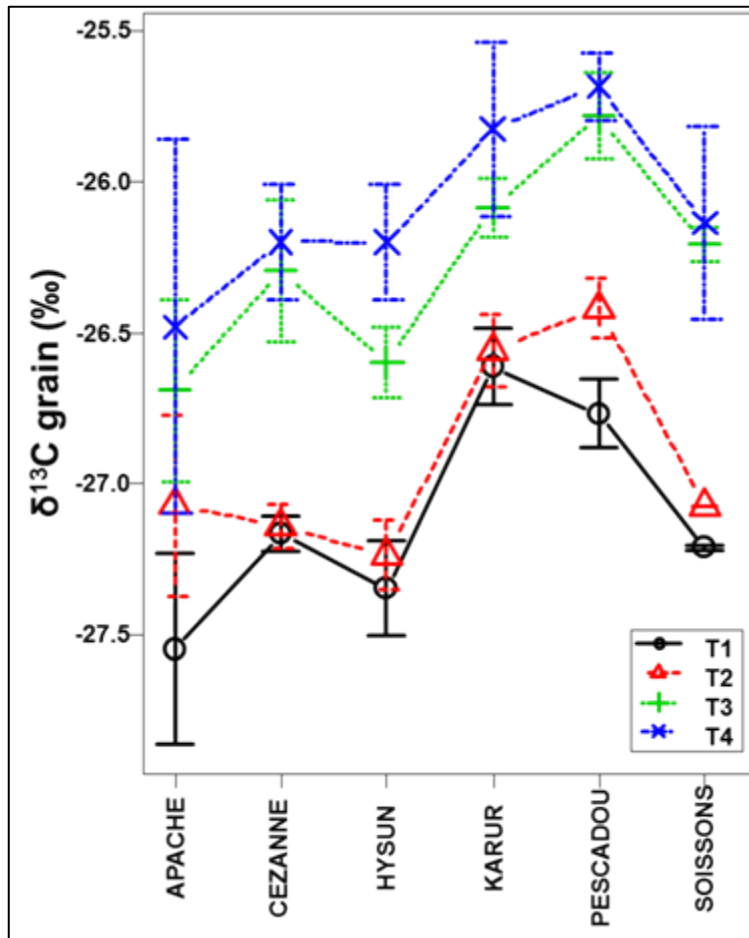
- Bilan hydrique et déficit en eau (ETM-ETR)

# OBJECTIFS

- ❖ **Tester la pertinence de la discrimination isotopique du carbone comme indicateur de tolérance à la sécheresse**
- ❖ **Comprendre la réponse de la croissance du grain aux stress abiotiques (hydriques et thermiques)**
- ❖ **Tester la possibilité d'utiliser un modèle de culture pour tester les effets des stress abiotiques et les parades physiologiques possibles**

# Discrimination isotopique du carbone : *Résultats (1)*

## ❖ *Précision de la mesure et sensibilité*



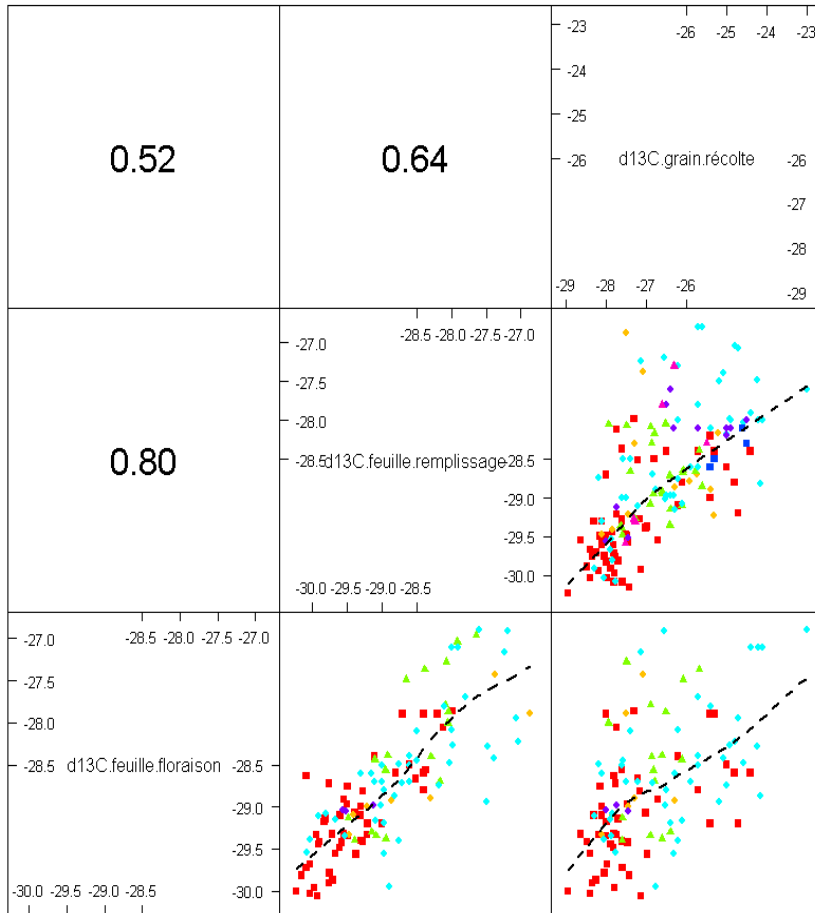
**Essai d'Ouzouer-le-Marché (2010)**  
(mesures du  $\delta^{13}\text{C}$  à la parcelle)

→ *Effets du traitement  $\text{H}_2\text{O}$  et de la variété; pas d'interaction*

→ *Moindre variabilité en condition bien irriguée*

# Discrimination isotopique du carbone : *Résultats (2)*

## ❖ *Différences entre organes et stratégies d'échantillonnage*



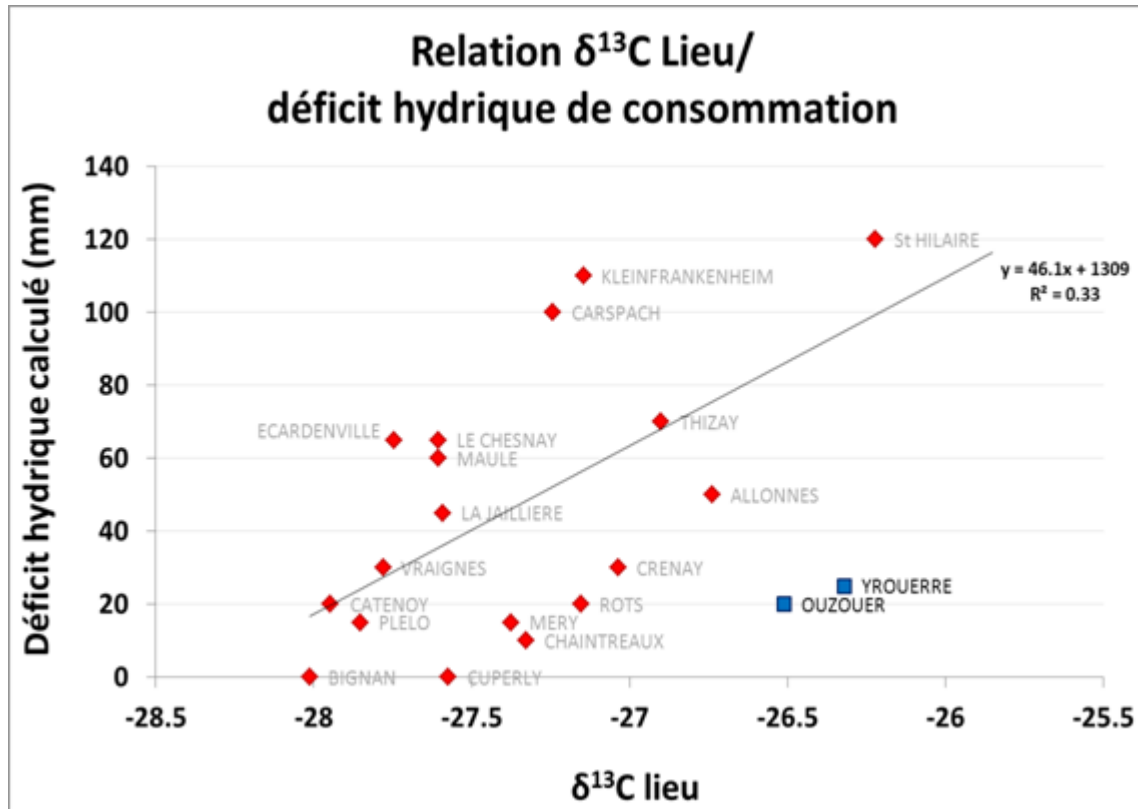
- **Mesure intégratrice des conditions de croissance**
- **Effet « organe » fort**
- **Possibles effets de réallocation**

T1 : ETM  
T2 : irrigation pour un stress précoce  
T3 : irrigations avant epiaison pour stress tardif  
T3b: même irrigation un peu plus tardive  
T4 : Sec  
T5 : 3 irrigations  
T6 : 2 irrigations  
T7 : 1 irrigation  
T9 : 50% ETM



# Discrimination isotopique du carbone : *Résultats (3)*

## ❖ *Caractérisation des conditions de croissance*

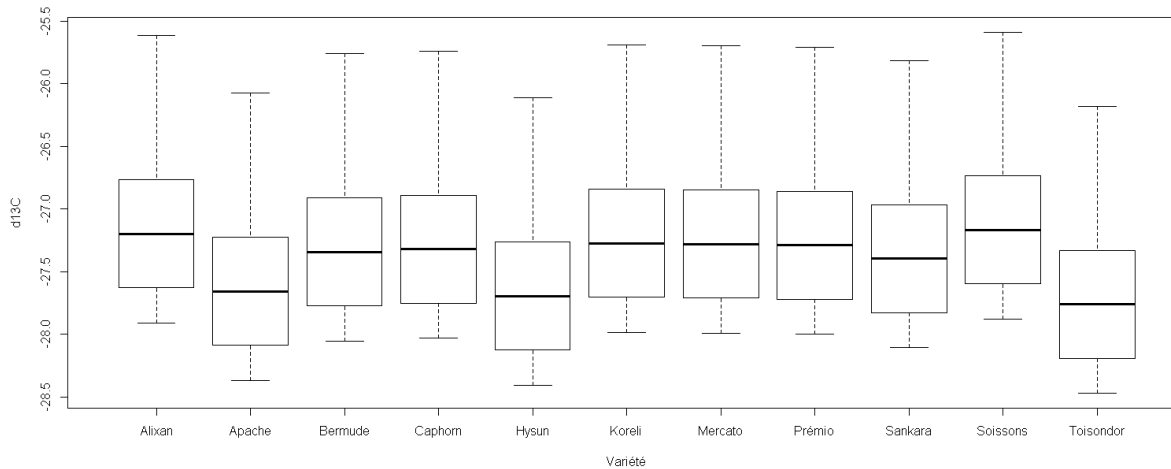


**Outil de caractérisation des conditions de croissance :**

- ❖ Site mal caractérisé
- ❖ Conditions spécifiques

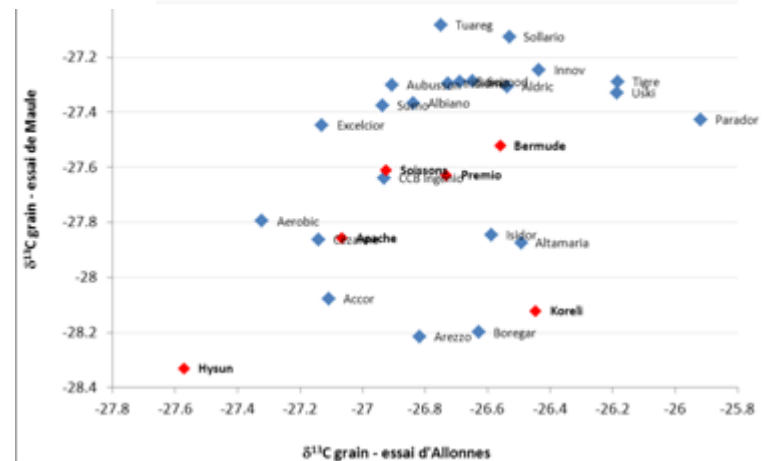
# Discrimination isotopique du carbone : *Résultats* (4)

## ❖ Variabilité génétique



Les essais « liste variétale courte » ne représentaient pas la variabilité génétique existante parmi les variétés commerciales modernes

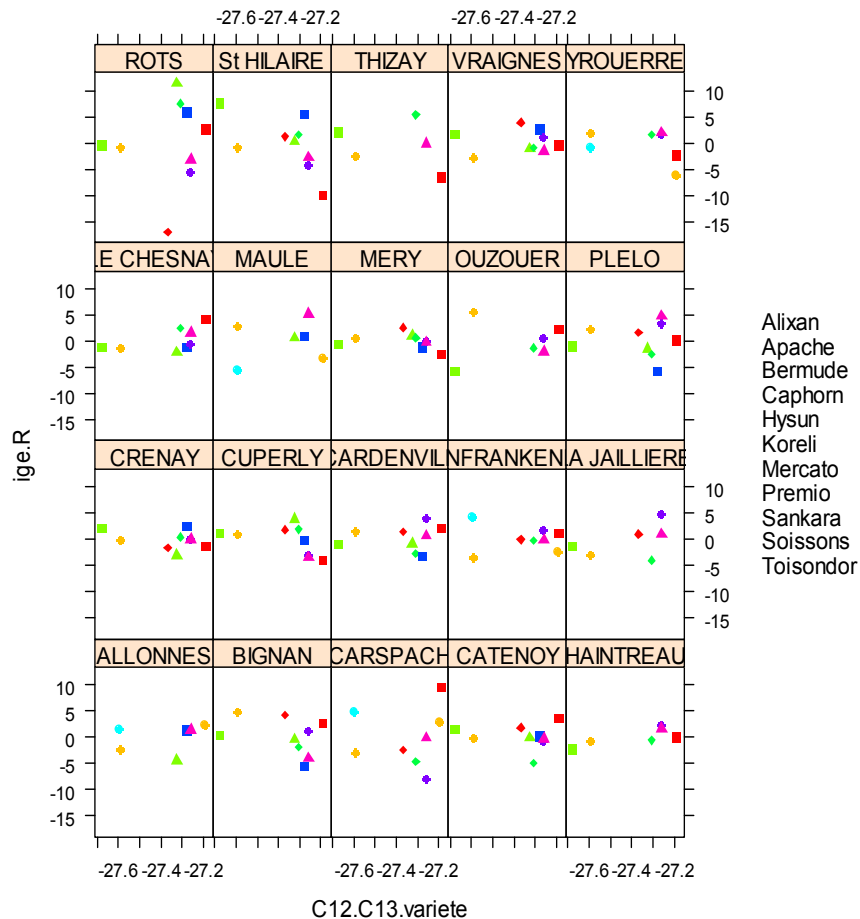
Discrimination isotopique du carbone  
Essais variétés d'Allonnes et de Maule





# Discrimination isotopique du carbone : *Résultats (5)*

## ❖ *Composition isotopique et rendement*



On ne cherche pas à expliquer le rendement par le  $\delta^{13}\text{C}$ , mais l'IGE Rendement par le  $\delta^{13}\text{C}$  → Pas de résultats concluants :

- L'eau n'est pas forcément un facteur limitant
- Il y a trop peu de variétés, trop extrêmes

## **Effet des stress sur la croissance du grain : *Introduction***

### **❖ Travaux de Nicolas et Stone, 80's :**

- **Phases précoces du développement du grain sensibles aux stress**
- **Contrôle par le puits et non par la source, via le nombre de cellules de l'albumen**

### **❖ Interrogations sur :**

- **La variabilité génétique**
- **La méthode à adopter pour détecter des effets environnementaux**

## **Effet des stress sur la croissance du grain : *Matériels et méthodes***

### **❖ Réponse de la croissance du grain aux excès thermiques:**

- ❖ Conditions semi-contrôlées, couverts de 2 m<sup>2</sup>
- ❖ Modalités : chocs thermiques ponctuels (38°C pendant 4 heures et 4 jours) à Z65 +100°C et/ou 420°C
- ❖ Mesures :
  - Couvert : rendement et composantes
  - Grains basaux des épillets médians : cinétiques de croissance (masse, volume), comptage cellulaire

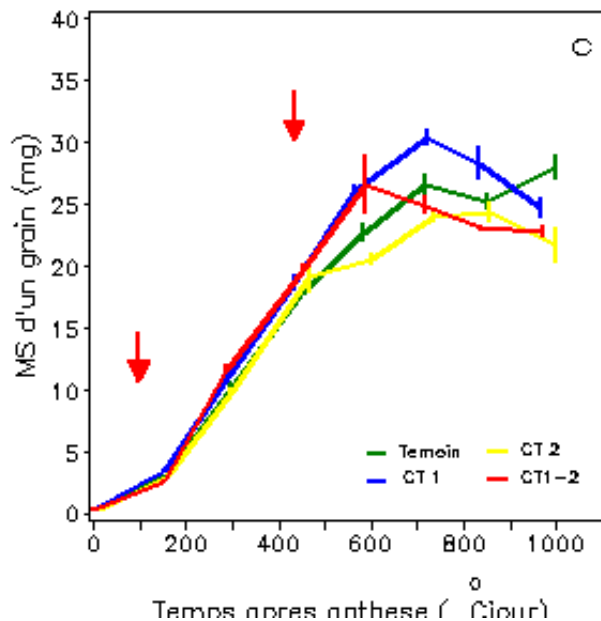
### **❖ Réponse au stress hydrique:**

- Conditions contrôlées ; plantes en pots
- Faible potentiel hydrique du sol, VPD modérée
- Mesures :
  - ✓ Grains basaux des épillets médians : cinétiques de croissance (masse, volume), comptage cellulaire

# Effet des stress sur la croissance du grain: *Résultats (1)*

## ❖ Réponse de la croissance du grain aux excès thermiques :

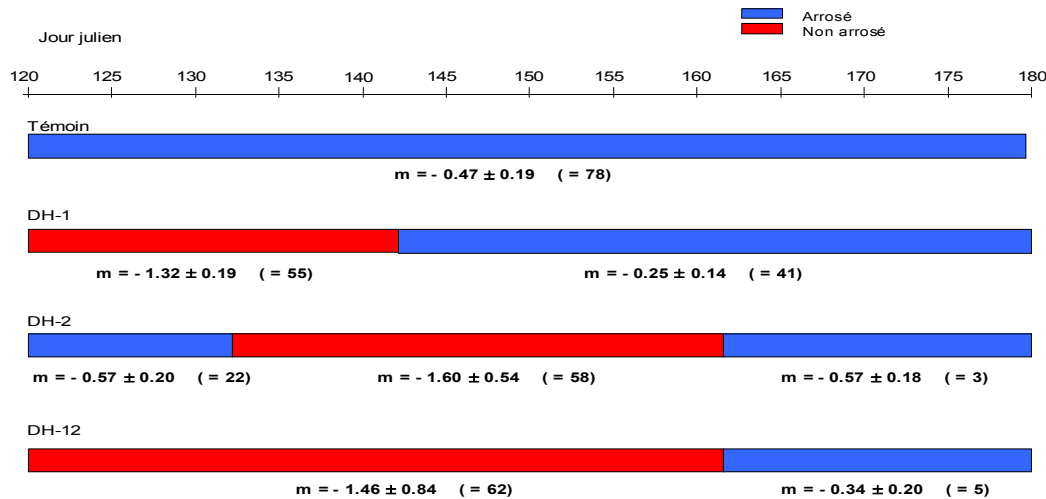
Traitement	Hauteur couvert (cm)	Nb épis.m <sup>-2</sup>	Grains/épi (maître-brin)	Grains.m <sup>-2</sup>	PMG sec (g)	% N par grain	Quantité N par grain (µg)	Rdt (Q.ha <sup>-1</sup> )	Rdt N (kg.ha <sup>-1</sup> )	Traitement	Nombre de cellules	Fin de multiplication cellulaire
C	88	926	40.9	26262	28.0	1.98	554.3	73.4	146	C	86400	220 +/- 10
CT1	79	990	40.1	28070	24.8	2.02	500.8	69.5	141	CT1	54000	186 +/-20
CT2	80	1022	40.1	29341	21.7	2.23	484.2	63.6	142	CT2	76400	220 +/- 10
CT12	85	913	40.4	27216	22.8	2.30	525.0	62.1	143	CT12	53500	186 +/-20



- ❖ Choc thermique précoce : limitation de la multiplication cellulaire, mais maintien/augmentation de la croissance du grain
- ❖ Choc thermique tardif : inhibition de la croissance, malgré un nombre de cellules intact

## Effet des stress sur la croissance du grain : *Résultats (2)*

### ❖ Réponse de la croissance du grain à la sécheresse édaphique:



❖ Les stress hydriques affectent le nombre de grains mal formés

❖ La vitesse d'accumulation est accélérée après un stress précoce

Traitement	Masse fraîche (mg)	Masse sèche (mg)	Masse d'eau (mg)	Teneur en eau (%)	Volume (mm <sup>3</sup> )
C	30.9 ± 3.3 a	28.8 ± 3.3 a	3.4 ± 0.4 a	10.5 ± 0.3 a	38.2 ± 7.0 a
DH1	39.5 ± 11.4 a	36.2 ± 10.3 a	4.3 ± 0.9 a	10.7 ± 1.3 a	45.0 ± 10.4 a
DH2	36.3 ± 3.5 a	33.5 ± 3.5 a	3.8 ± 0.3 a	10.1 ± 0.5 a	41.8 ± 6.7 a
DH12	36.0 ± 10.8 a	35.4 ± 5.6 a	4.1 ± 0.7 a	10.4 ± 0.5 a	42.3 ± 9.2 a

	Durée moyenne (°Cj) d'accumulation			Vitesse moyenne d'accumulation		
	MF	MS	Volume	MF	MS	Volume
C	576 a	689 b	715 a	0.055 b	0.043 c	0.055 b
DH1	587 a	771 a	684 b	0.073 a	0.048 b	0.065 a
DH2	576 a	689 b	715 a	0.055 b	0.043 c	0.055 b
DH12	512 b	654 c	594 c	0.074a	0.051 a	0.066 a

## Effet des stress sur la croissance du grain: *Résultats (3)*

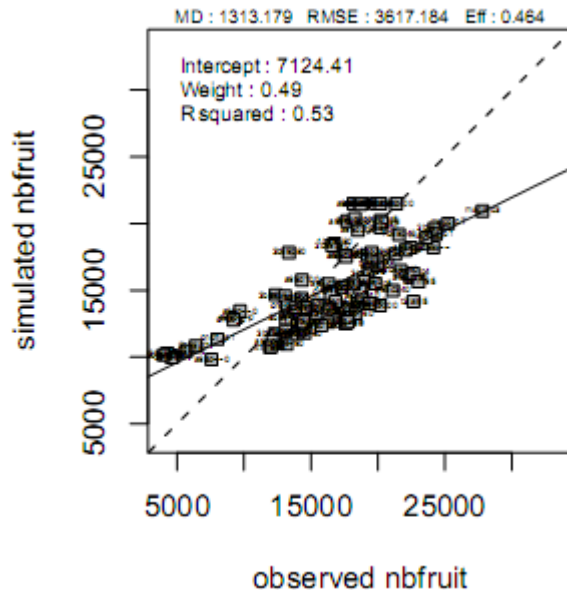
- ❖ Réponse de la croissance du grain à des stress abiotiques :
  - ❖ Les grains basaux des épillets médians constituent des puits prioritaires (caractéristiques moins altérées que la moyenne globale des grains)
  - ❖ Leur utilisation à des fins de diagnostic d'accident physiologique et de sensibilité à des stress abiotiques est délicate
  - ❖ Des stress précoces semblent entraîner une croissance accélérée des grains → *compensation partielle*

## **Amélioration du formalisme d'un modèle de culture: *Introduction***

- ❖ **Le recours à la modélisation des cultures doit permettre :**
  - ❖ D'évaluer les conséquences de scénarios de stress abiotiques
  - ❖ D'évaluer l'effet de traits candidats pour l'amélioration des performances d'un cultivar
  - ❖ D'évaluer l'effet d'un gène ou d'un QTL (Tardieu, 2003)
  
- ❖ **Prérequis :**
  - ❖ Disposer du formalisme adapté dans le modèle (y compris composantes de rendement)
  - ❖ Paramétrer les variétés

# Amélioration du formalisme d'un modèle de culture: *Résultats*

## ❖ Amélioration de la détermination du nombre de grains/m<sup>2</sup>



Etat azoté

Etat carboné

### Avec INNc :

Efficiencce : 0.678  
RMSE: 2803

### Avec formalisme Sirius (masse de l'épi à floraison, effet variétal):

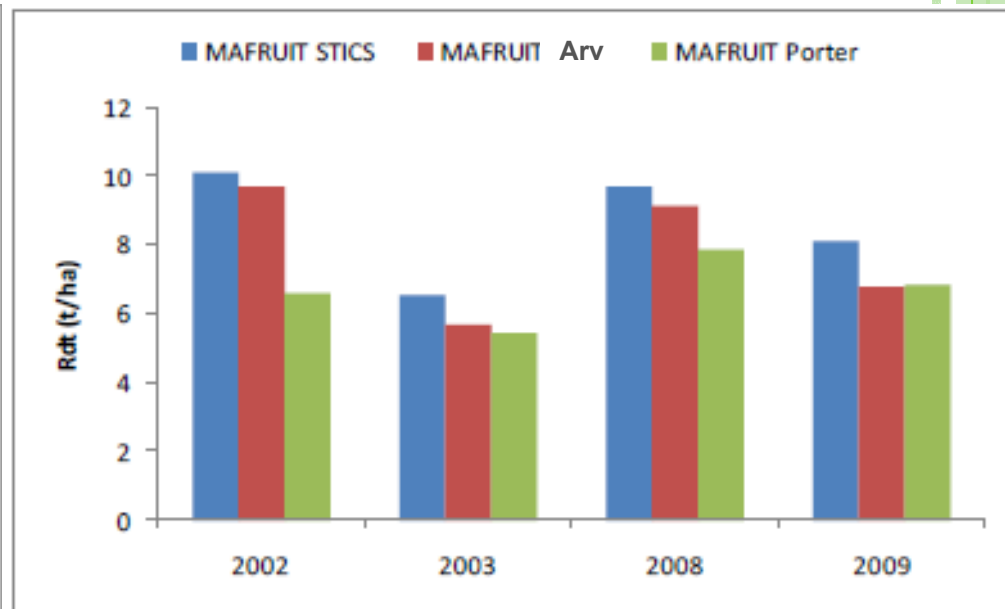
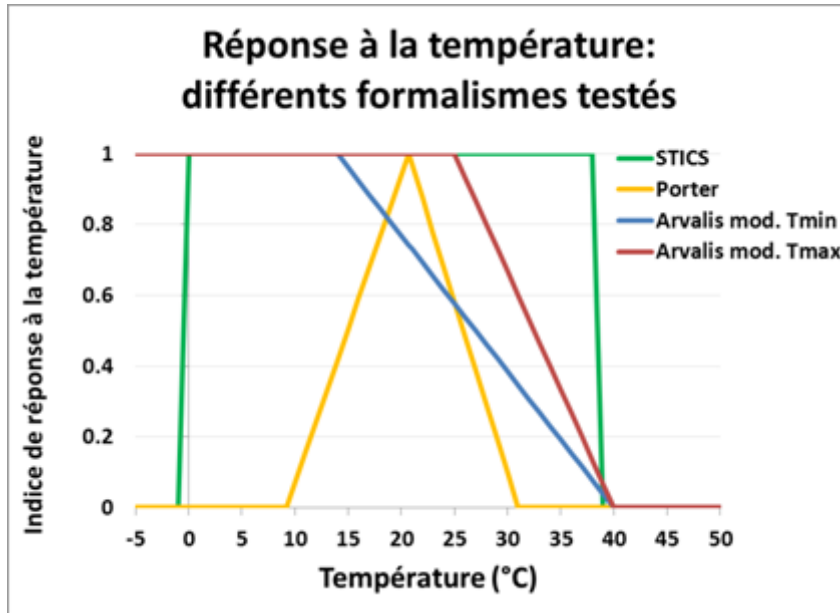
Efficiencce : 0.657  
RMSE : 2895

Stics: Efficiencce : 0.464  
RMSE : 3617



# Amélioration du formalisme d'un modèle de culture: *Résultats*

## ❖ Prise en compte des températures élevées



- ❖ Le formalisme initial est insensible aux températures supra-optimales
- ❖ Le formalisme proposé par Porter est trop sensible
- ❖ La modification proposée au formalisme Arvalis apporte davantage de souplesse

# CONCLUSIONS

## ❖ **Discrimination isotopique du carbone :**

- ❖ Indicateur double: efficacité intrinsèque de l'eau, et conditions de croissance
- ❖ Lien avec le rendement difficile à apprécier en conditions Ouest-Européennes
- ❖ Variabilité génétique existante
- ❖ Echantillonnage plus pertinent sur grain et modalités non stressées

## ❖ **Effet des stress sur la croissance du grain :**

- ❖ Stress précoce → moins de cellules, croissance plus rapide
- ❖ Grains basaux des épillets médians = puits prioritaires, peu sensibles (moins sensibles qu'à l'échelle du couvert)
- ❖ Variabilité génétique non explorée

## ❖ **Amélioration du formalisme d'un modèle de culture :**

- ❖ Formalismes Stics perfectibles sur la détermination des composantes de rendement
- ❖ Sources de formalismes dans la littérature (azote, échaudage)

## ❖ **Discrimination isotopique du carbone et tolérance à la sécheresse : nouveau projet FSOV 2013-2015**

- ❖ Analyse parallèle  $\delta^{13}\text{C}$  –  $\delta^{18}\text{O}$
- ❖ Intégration d'autres critères: utilisation de l'eau du sol, sucres solubles, sénescence retardée, température du couvert
- ❖ Panel variétal étendu : >35 variétés
- ❖ Analyse fréquentielle des types de stress hydriques en France par pédo-climat
- ❖ Partenaires: Arvalis, Rothamsted Research, IBP, INRA Avignon, Bayer SAS, Florimond Desprez Veuve et Fils, Limagrain Europe, RAGT 2n, Saaten Union Recherche SAS, Secobra Recherches, Unisigma