

**Relation entre discrimination photosynthétique et l'efficacité d'utilisation de l'eau, utilisée par les agronomes comme un critère de sélection pour la résistance à la sécheresse.**

**Jean-Louis Prioul**

Institut de Biotechnologie des Plantes, Univ. Paris-XI  
F-91405- Orsay Cedex

# Quantité d'eau nécessaire à un récolte = efficacité d'utilisation de l'eau

	<b>g eau/g matière sèche à la récolte</b>
Maïs	342
Betterave à sucre	377
<b>Blé</b>	<b>500</b>
Riz	680
Luzerne	844

Un ha de blé produisant 50 qx grain + 50 qx paille = 100 qx  
avec 15% eau → **8 500 kg matière sèche**

Il faut donc  $8\ 500 \times 0,5 = 4\ 250$  m<sup>3</sup> eau soit **425 mm de pluviosité**  
Avec 40 à 50 % pertes par évaporation → **580 mm eau**

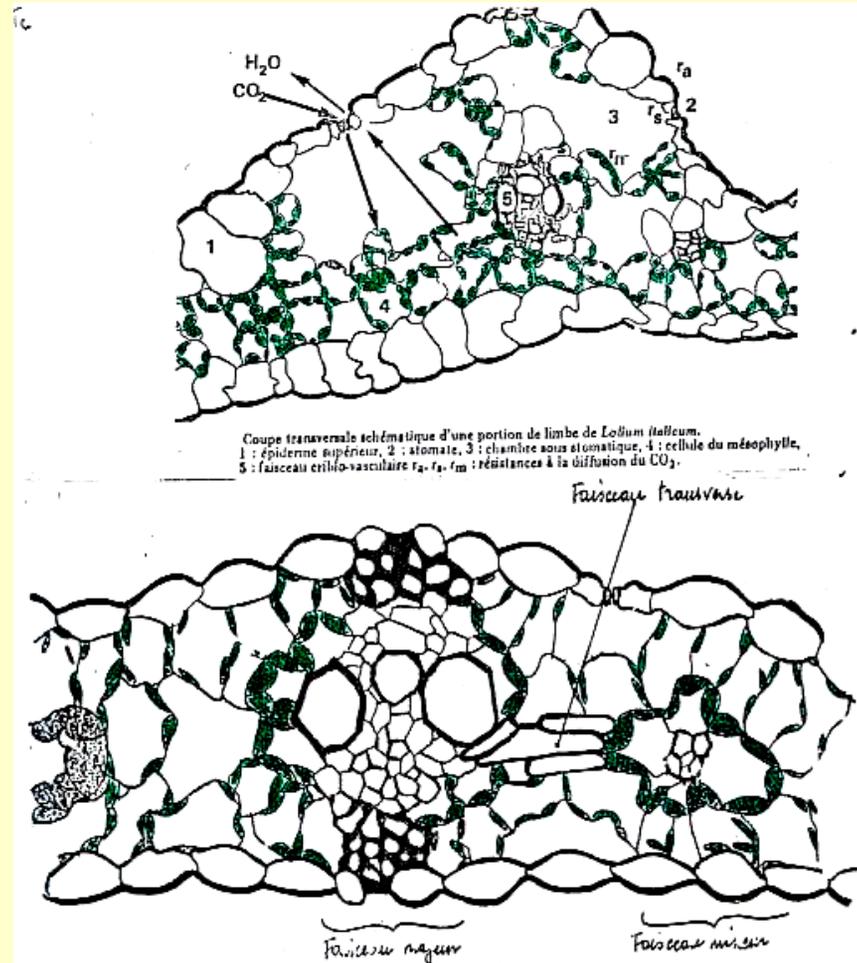
## ➤ Les enjeux : incidence des déficits

Un blé perd en moyenne entre 1.5 et 2q/ha par 10 mm

TYPE de SOL Réserve Utile	Une année sur 2 le déficit atteint	Une année sur 5 le déficit atteint
Superficiel RU = 70 mm	100m <b>(15-20q)</b>	150 mm <b>(20-30q)</b>
Moyennement profond RU = 120 mm	50 mm <b>(7-10q)</b>	100 mm <b>(15-20q)</b>
Profond RU = 170 mm	0 mm	50 mm <b>(7-10q)</b>

# Pourquoi cette consommation énorme d'eau

La vapeur d'eau qui sort de la feuille et le  $CO_2$  qui rentre passent par la même voie : les stomates (ouvertures dans une cuticule étanche aux deux gaz)



Lois physiques identiques :

*flux = gradient de concentration x conductance*

Les conductances sont voisines pour  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$

mais gradient 200 à 300 fois plus grand pour vapeur d'eau

Transpiration

$$T = [\text{H}_2\text{O}_{\text{feuille}} - \text{H}_2\text{O}_{\text{air}}] * G's$$

Assimilation  $\text{CO}_2$

$$A = [\text{CO}_{2\text{air}} - \text{CO}_{2\text{int}}] * Gs$$

# Comment calculer l'efficacité d'utilisation de l'eau?

## *Water Use Efficiency = WUE*

**Méthode physiologique: Assimilation de CO<sub>2</sub>/Transpiration**

$$A/T \cong 0,6 \text{ CO}_{2\text{air}} ((\text{CO}_{2\text{air}} - \text{CO}_{2\text{int}}) / \text{CO}_{2\text{air}}) / (\text{H}_2\text{O}_{\text{feuille}} - \text{H}_2\text{O}_{\text{air}})$$

**Inconvénient:**

mesure sur qq min sur portion de feuille  
débit moyen, coût appareillage et humain

**Méthode Agronomique:**

Matière sèche récoltée/eau fournie par pluie ou irrigation

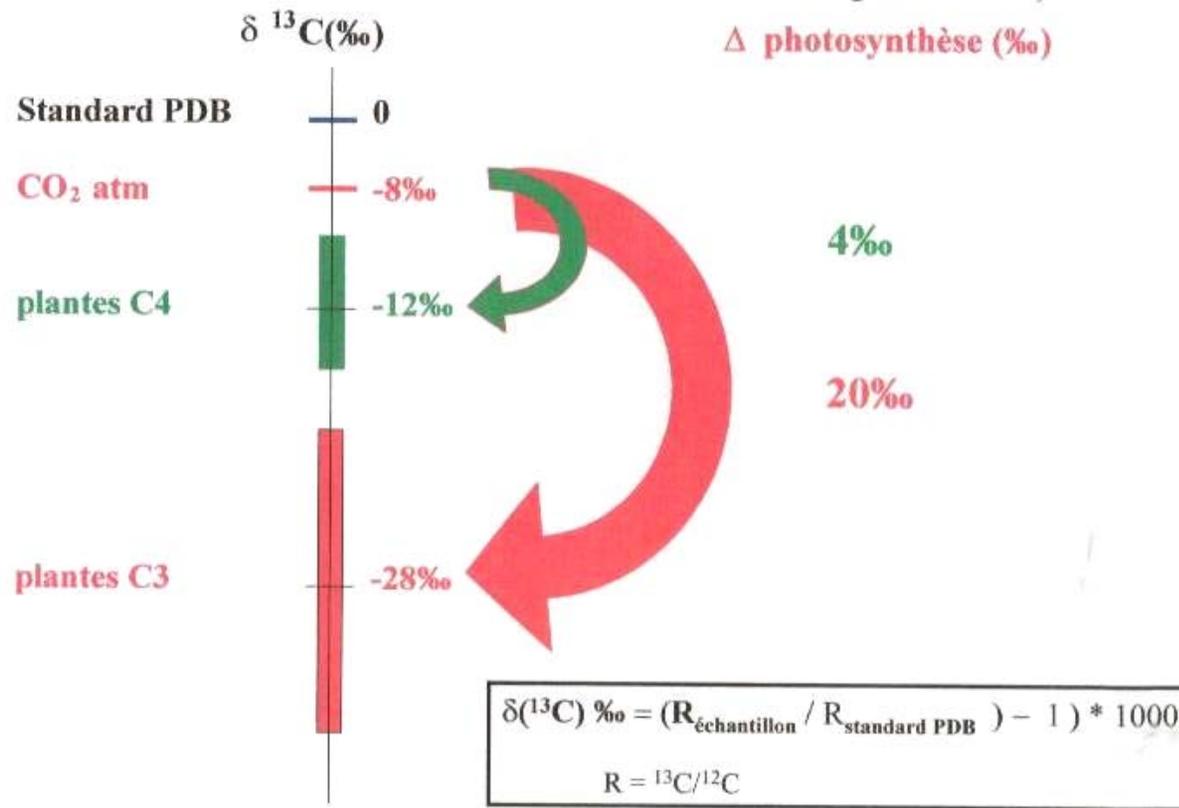
**Avantage :** mesure intégrée sur le cycle de culture

**Inconvénient:** une seule mesure par cycle (destructive)

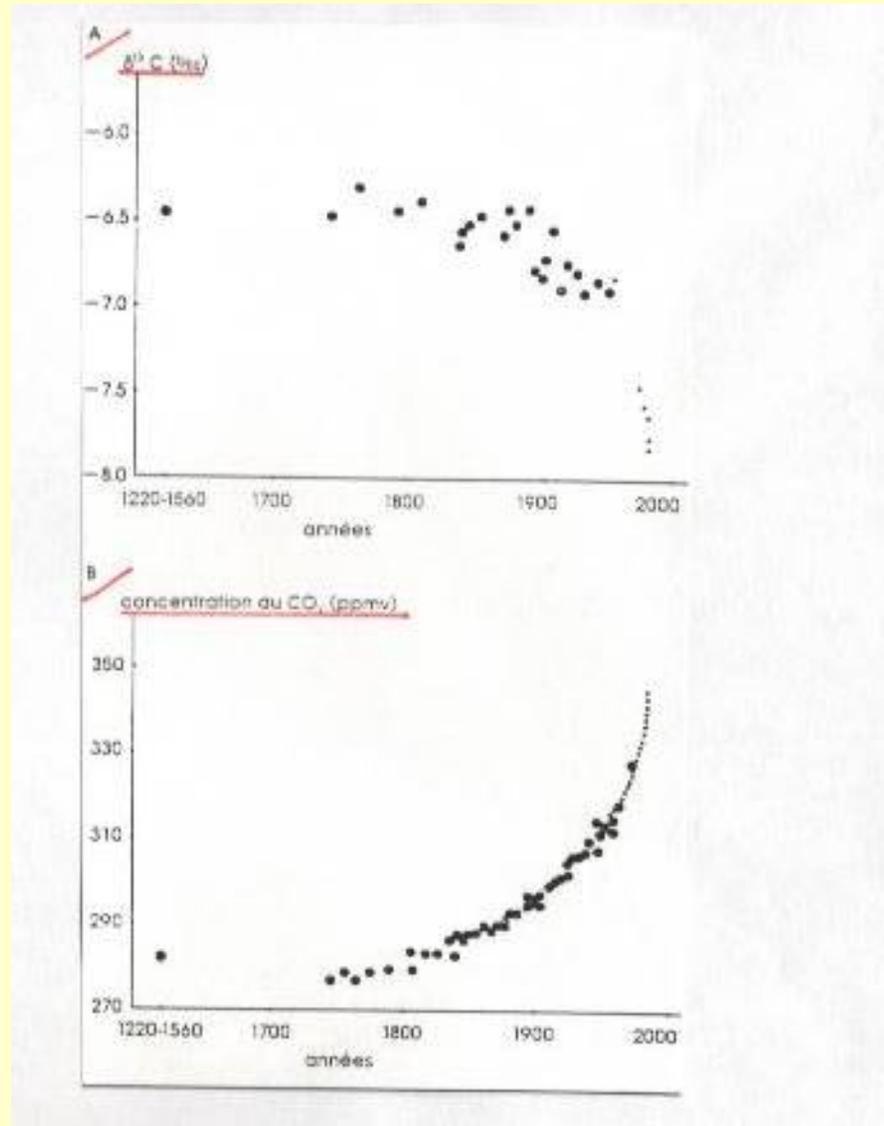
# Pourquoi les isotopes stables $^{13}\text{C}$

Les plantes ont la capacité d'appauvrir leurs produits en  $^{13}\text{C}$  de façon différentielle selon leur mode de fonctionnement

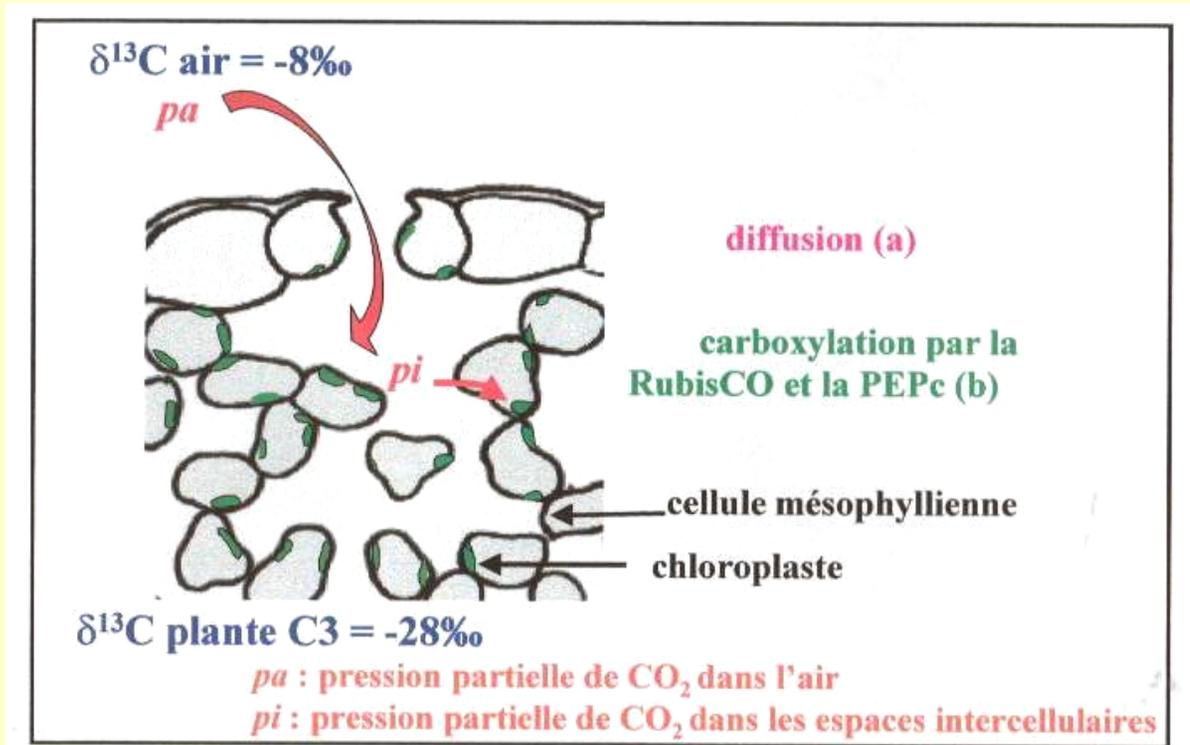
Chez les plantes C4, cette discrimination est de l'ordre de 4 ‰ (métabolisme carboné et anatomie différente des plantes C3).



L'appauvrissement de l'atmosphère en  $^{13}\text{C}$  dû à la combustion des végétaux actuels et fossiles est la cause de l'augmentation de la teneur en  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère

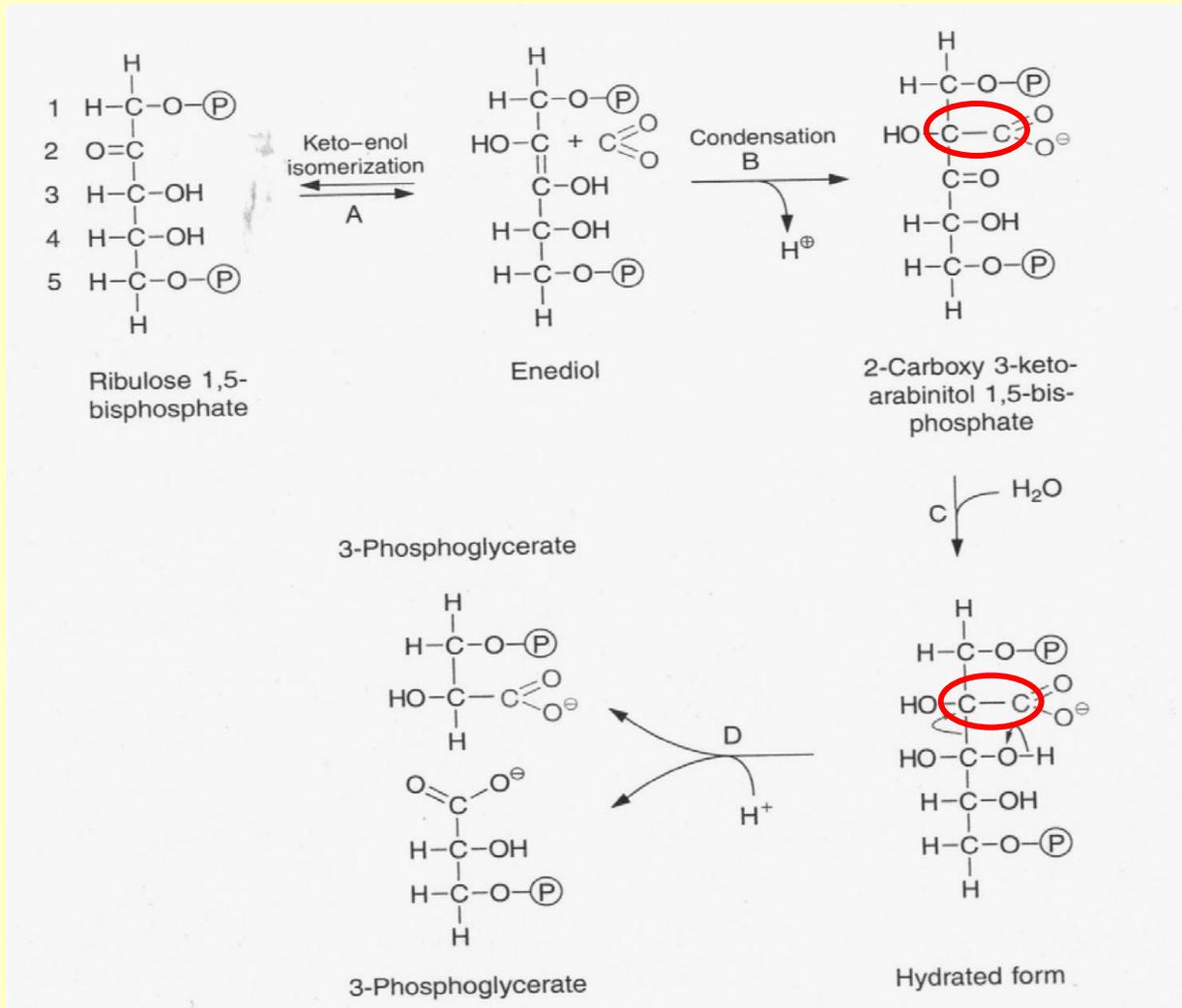


# Comment le $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ est relié à l'efficacité d'utilisation de l'eau?



La diffusion du  $\text{CO}_2$  dans la feuille provoque une discrimination du  $^{13}\text{C}$  de  $-4\text{‰}$

# Mécanisme réactionnel de la RubisCO, enzyme qui intervient dans tous les autotrophes, pour la synthèse de matière organique



La formation de la liaison C-C est très fractionnante pour <sup>13</sup>C environ -30‰

Mais les deux étapes, diffusion et carboxylation, ne sont pas additives

# Comment le $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ est relié à l'efficacité d'utilisation de l'eau?

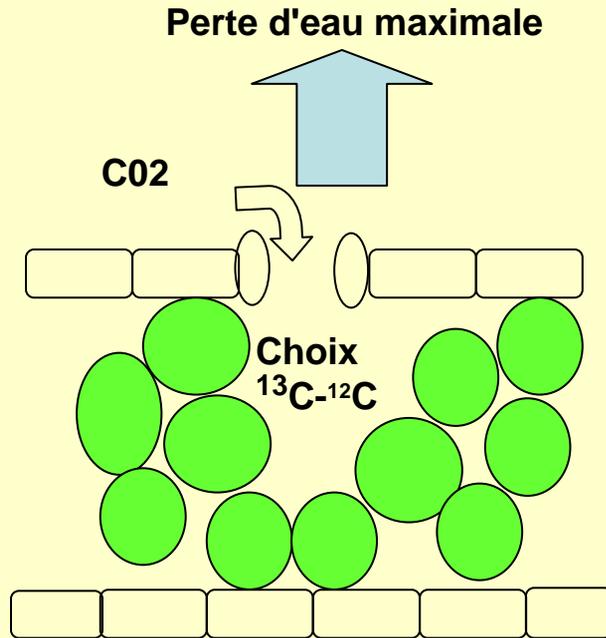
Rappel définition (discrimination par rapport à l'air)

$$\Delta^{13}\text{C} = [(R_a - R_p) / R_p] \times 1000$$

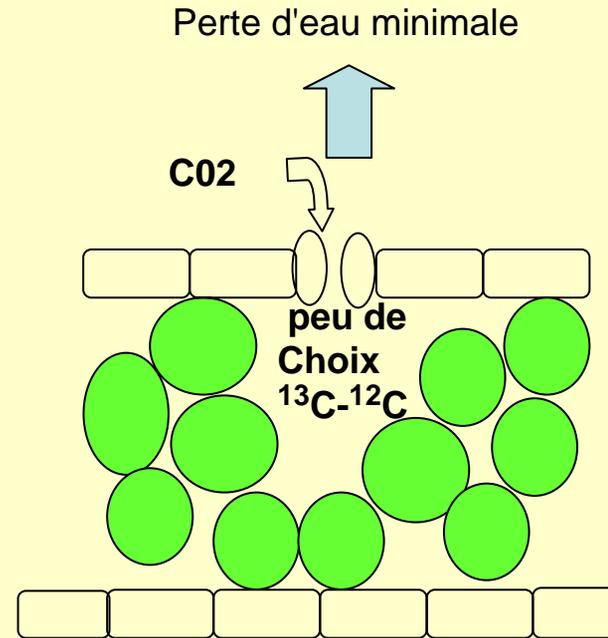
$$R_a = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ air} \quad R_p = ^{13}\text{C}/^{12}\text{C} \text{ plante}$$

Pour les plantes C3 :  $\Delta^{13}\text{C}$  environ 20 ‰  
mais variable selon le degré d'ouverture des stomates

# Comment le $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ est relié à l'efficacité d'utilisation de l'eau?



Plus pauvre en  $^{13}\text{C}$   
 $\Delta^{13}\text{C}$  augmente



Moins pauvre en  $^{13}\text{C}$   
 $\Delta^{13}\text{C}$  diminue

## Relation fondamentale de Farquhar et Richards (1984)

$$\Delta^{13}\text{C} \cong 4,4 + 23,6 \left( \text{CO}_2 \text{ int} / \text{CO}_2 \text{ air} \right)$$

$\Delta^{13}\text{C}$  est une mesure de  $\text{CO}_2 \text{ int} / \text{CO}_2 \text{ air}$

Comme

$$A/T \cong 0,6 \text{ CO}_2 \text{ air} \left( 1 - \text{CO}_2 \text{ int} / \text{CO}_2 \text{ air} \right) / \left( \text{H}_2\text{O}_{\text{feuille}} - \text{H}_2\text{O}_{\text{air}} \right)$$

$\Delta^{13}\text{C}$  est relié négativement à  $A/T$  et la relation est linéaire si le gradient de vapeur d'eau est constant

$\Delta$  / feuille étandard

$\Delta$  / Mat. Sèche totale

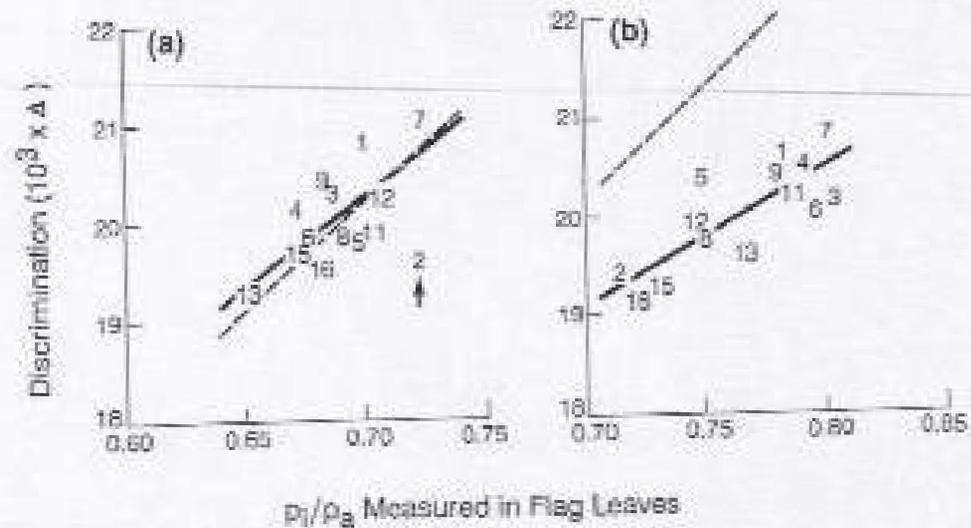
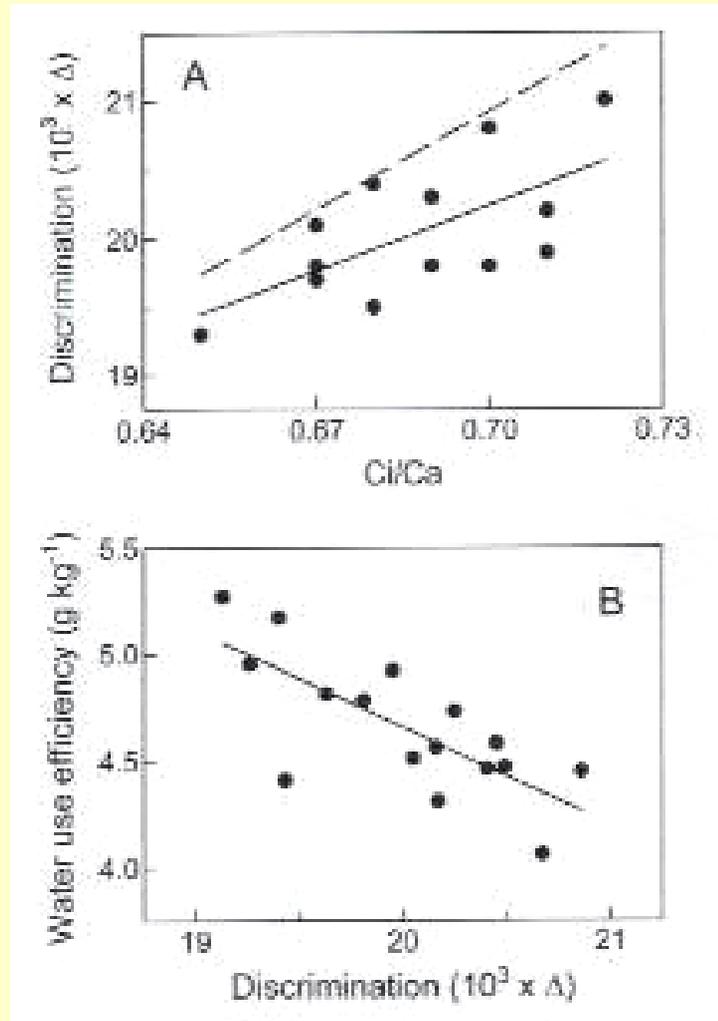


Fig. 2. (a) Relationship between carbon isotope discrimination,  $\Delta$ , measured in growing ears and the ratio of intercellular to atmospheric partial pressures of  $\text{CO}_2$ ,  $p_i/p_a$ , measured in flag leaves of 14 wheat genotypes in Experiment 1. Solid line, fitted regression excluding data point for cv. Gutha (arrowed).  $Y = 18.61X + 7.26$ ;  $r = 0.70$ ,  $P < 0.01$ . Dashed line, equation 1. (b) Relationship between  $\Delta$  measured in above-ground dry matter and  $p_i/p_a$ , measured in the flag leaves of 14 wheat genotypes in Experiment 2. Solid line, fitted regression,  $Y = 14.1X + 9.24$ ;  $r = 0.78$ ,  $P < 0.01$ . Dashed line, equation 1. Genotype code as in Table 1.

Condon et al. 1990



La discrimination est inversement proportionnelle à l'efficacité d'utilisation de l'eau

# Relation discrimination rendement agronomique ?

$$\text{Rendt} = \text{ET} \times \text{T/ET} \times \text{WUE} \times \text{HI}$$

ET evapotranspiration

T transpiration

WUE efficacité d'utilisation de l'eau

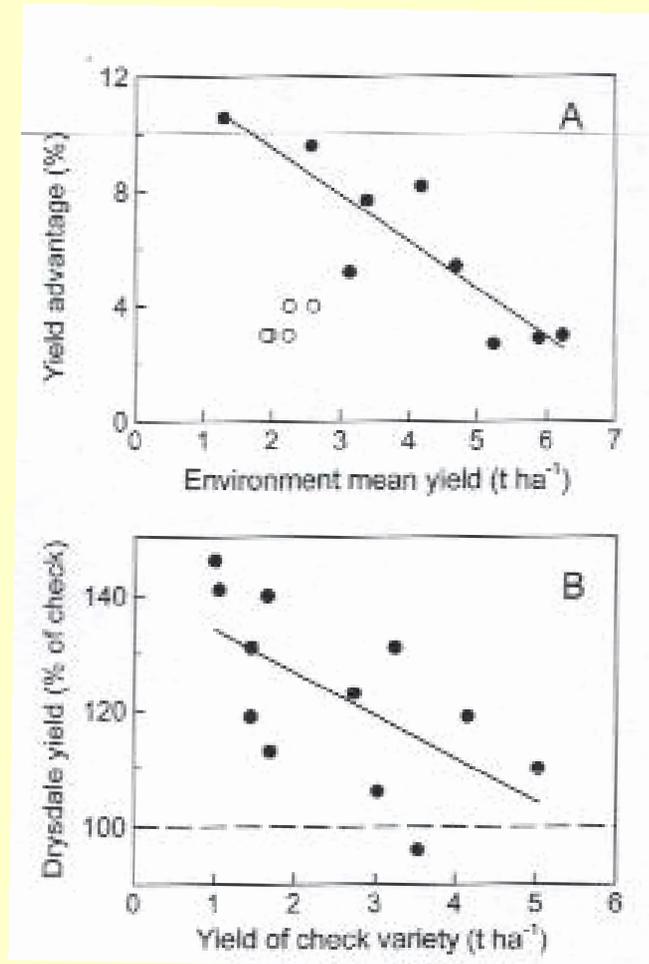
HI biomasse récoltable/biomasse totale

Théoriquement si WUE augmente ( $\Delta$  diminue) Rendt augmente

*Mais relation complexe car les variables sont liées*

Exemple de succès de sélection utilisant le  $\Delta 13C$ ,  
2 variétés australiennes inscrites au catalogue pour régions très  
dépendantes de transpiration (sol à réserve d'eau profonde)

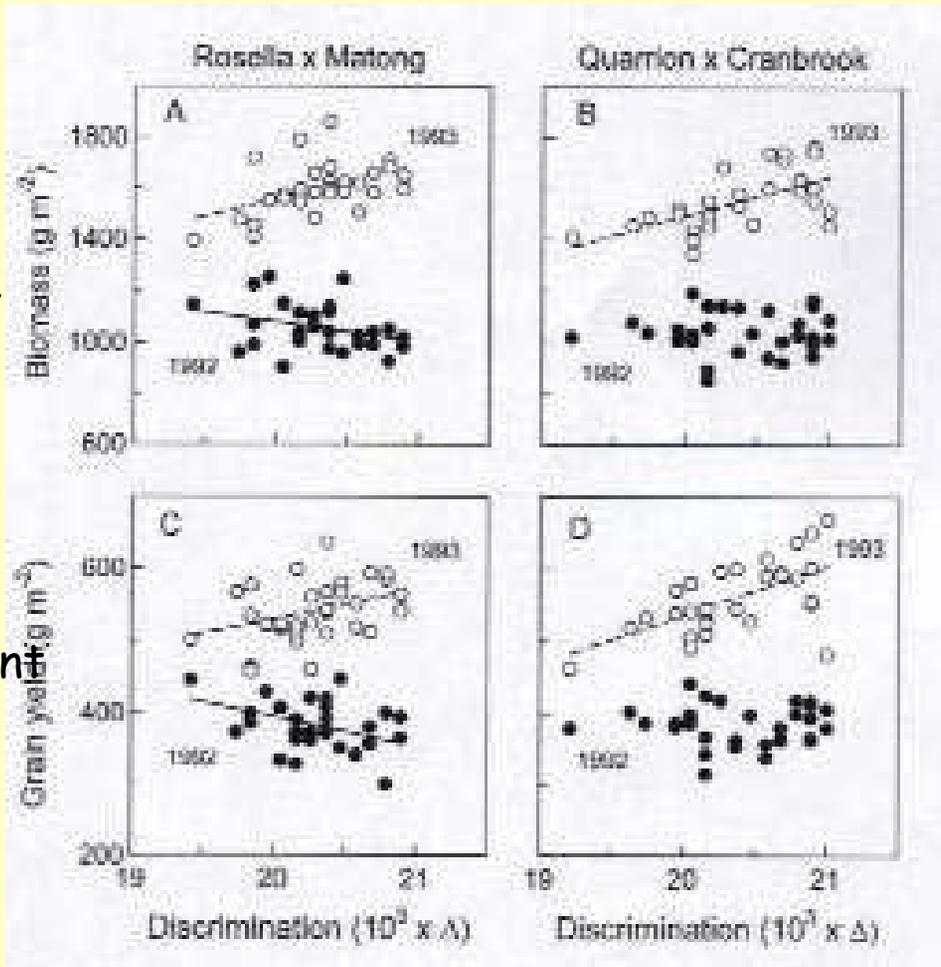
Rétrocroisements  
de génotype à  
faible  $\Delta 13C$   
(WUE fort) avec  
variété adaptée  
localement



Condon et al. 2002

# Blé, australien

Biomasse



Pluvisité normale

Sécheresse

Rendement  
Grain

Pluvisité normale

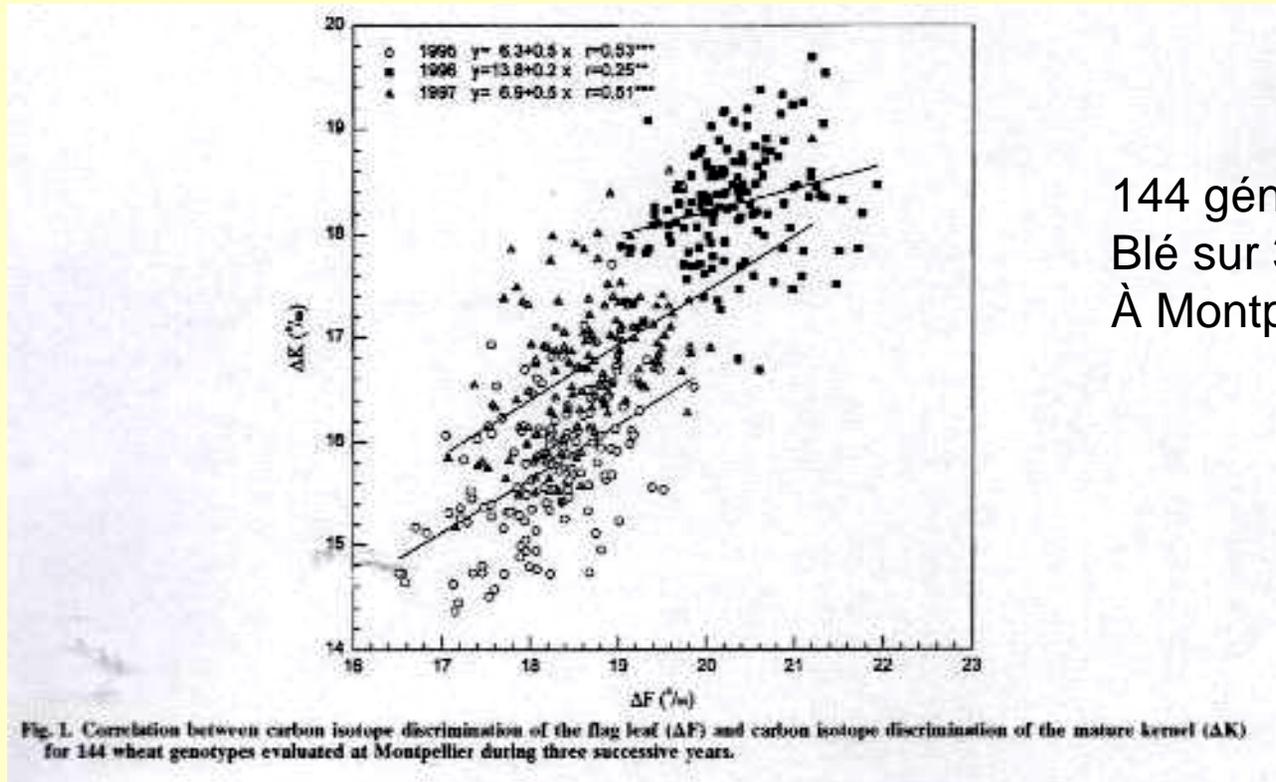
Sécheresse

Changement de signe relation Rendement/ Discrimination selon condition

*Explication : les géotypes à faible  $\Delta^{13}$  poussent plus lentement en condition normale → biomasse et rendement plus faible*

**Travaux effectués en France à l'instigation  
d'Éliane Delèens**

# Recherche de l'utilisation du $\Delta^{13}\text{C}$ des grains



144 génotypes de  
Blé sur 3 années  
À Montpellier

Corrélation feuille étendard / grain

Merah et al. 2001

## Corrélation $\Delta 13$ feuille étandard / rendement

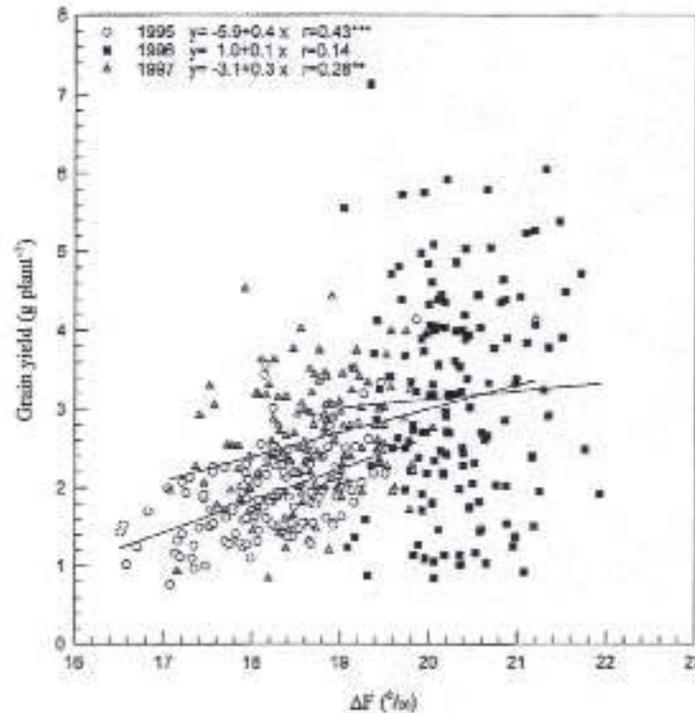
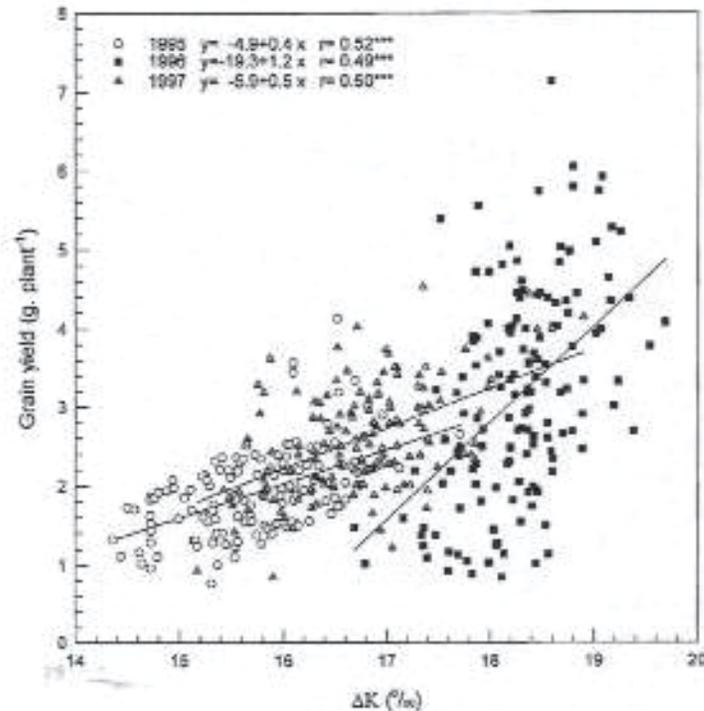


Fig. 2. Correlation between carbon isotope discrimination of the flag leaf ( $\Delta F$ ) and grain yield for 144 wheat genotypes evaluated at Montpellier during three successive years.

144 génotypes de  
Blé sur 3 années  
À Montpellier

Merah et al. 2001

## Meilleure corrélation $\Delta^{13}\text{C}$ grain / rendement



144 génotypes de  
Blé sur 3 années  
À Montpellier

Fig. 3. Correlation between carbon isotope discrimination of the mature kernel ( $\Delta K$ ) and grain yield for 144 wheat genotypes evaluated at Montpellier during three successive years.

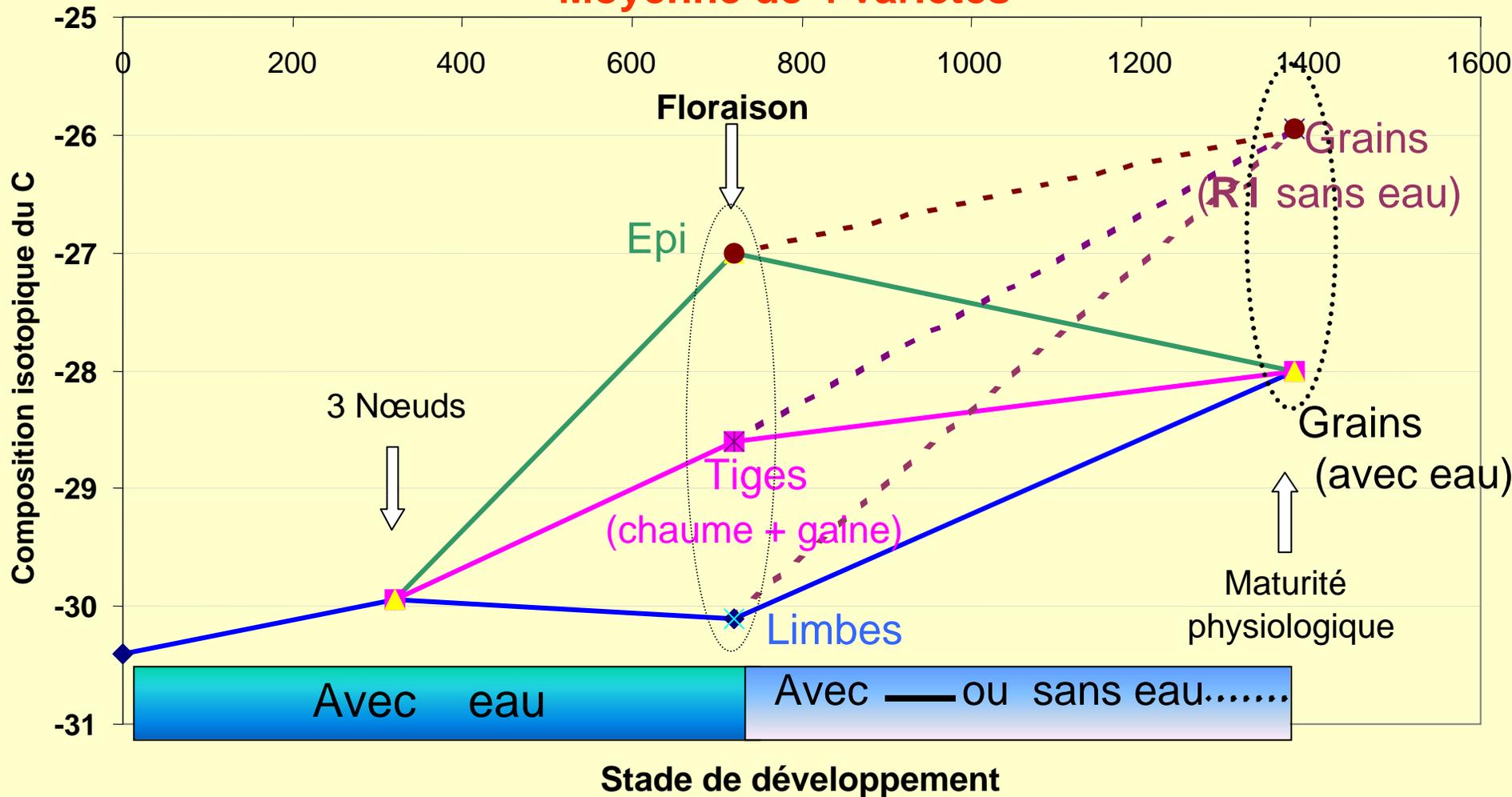
Merah et al. 2001

**Explication des changements de composition entre organe en condition normale ou en cas de sécheresse**

**Collaboration avec ex ITCF (Arvalis) Ph. Gate**

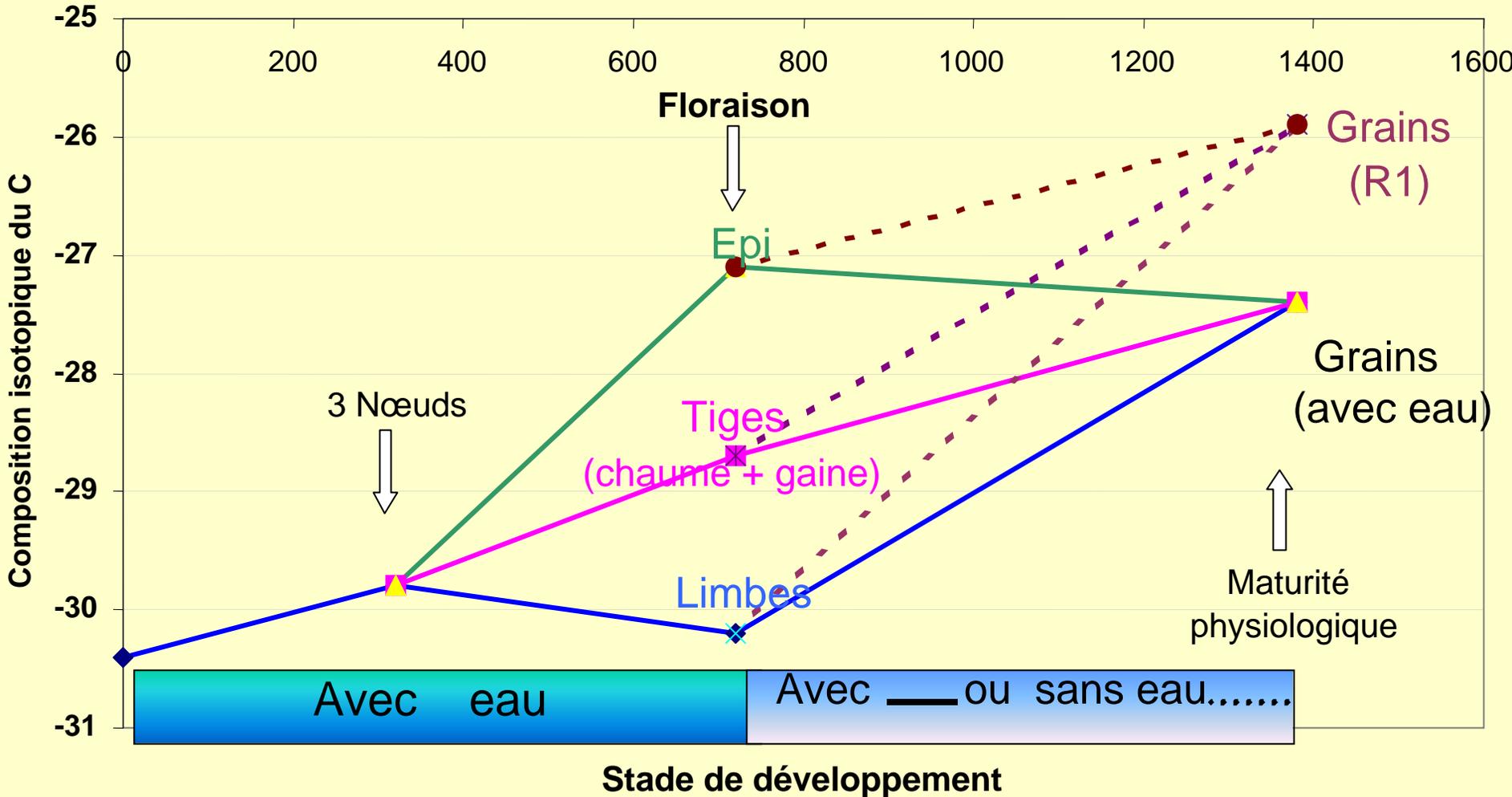
# Evolution de la composition isotopique des organes de blé sous 2 conditions d'alimentation hydrique.

Moyenne de 4 variétés

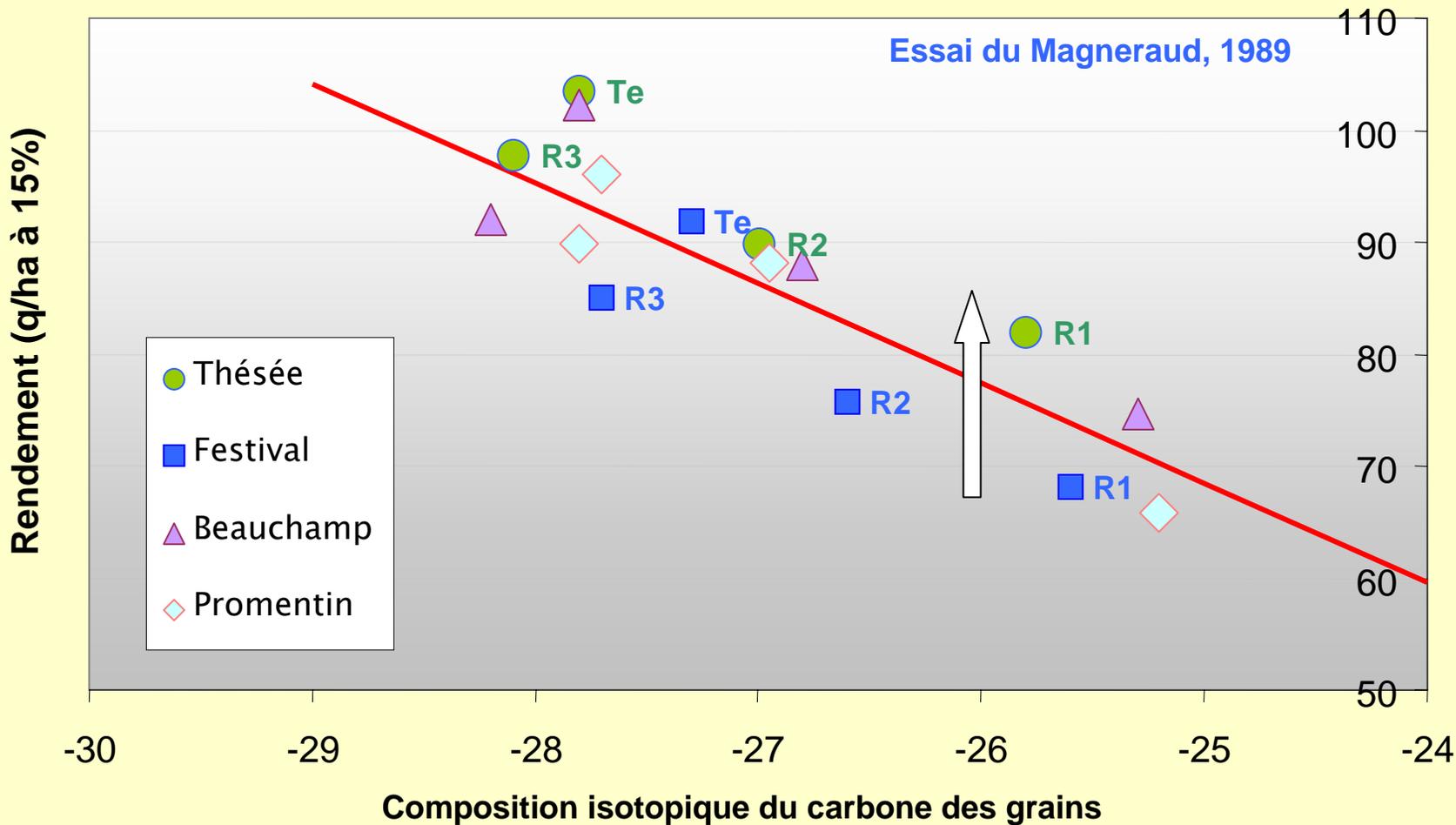


# Evolution de la composition isotopique des organes

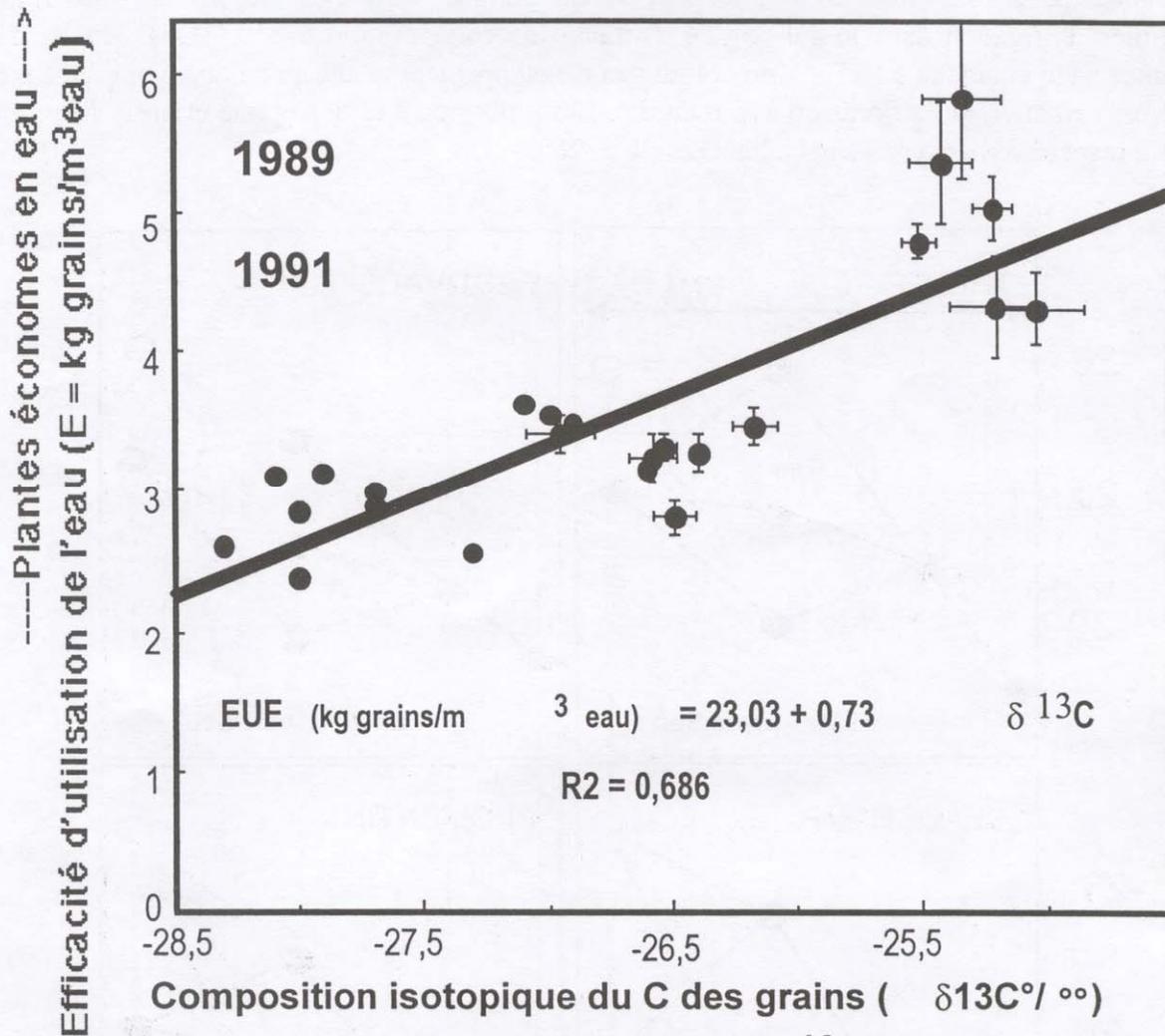
## Festival Témoin et R1



# Relation entre le rendement et la composition isotopique des grains à la récolte.

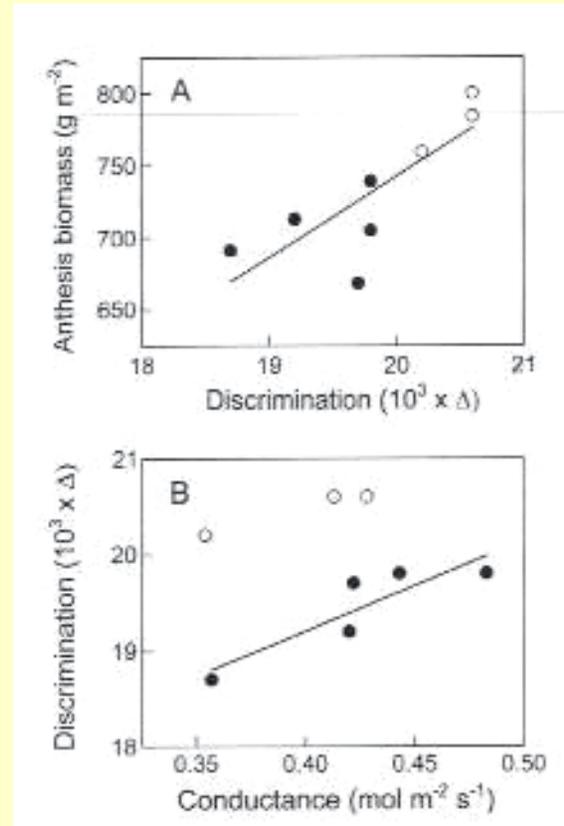


Composition isotopique des grains et consommation en eau des cultures



## Conclusion

- La mesure du  $\delta^{13}C$  donne une mesure intégrative de l'économie de l'eau par la plante
- Elle est faiblement destructive (qq fragment d'organe suffisent)
- Permet de traiter de grand nombre d'échantillons ( 100/jour) de façon différée donc adapté à une approche génétique
- Peut être un critère de rendement si elle est associée à une compréhension du fonctionnement agronomique de la culture



GS-D13anthesis-D13 Condon et al.2004.jpg

