

**Séminaire Réseau Prairies - Parcours / 8 mars 2017 Montpellier à Agropolis**

*Diversité des ressources végétales : un atout pour les systèmes d'élevage face aux aléas*

*Mots-clés : Systèmes d'élevage - territoires - changements climatiques - changements globaux - ressources fourragères*

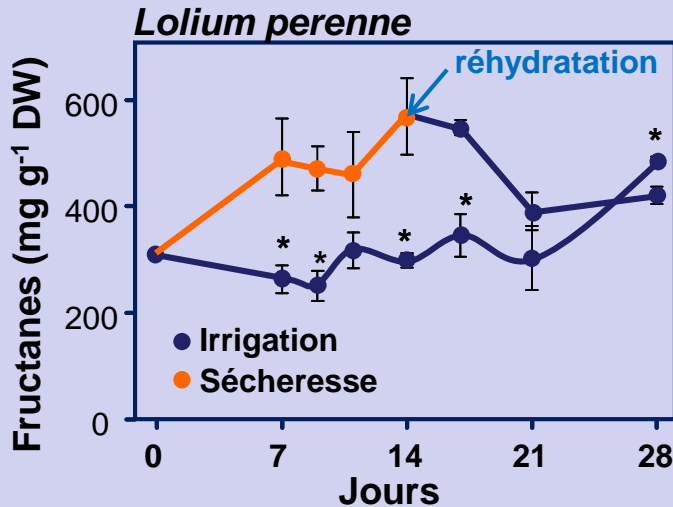
---

# Les fructanes, molécules-clé pour la résistance des graminées fourragères au stress hydrique et au changement climatique

Annette Morvan-Bertrand, Catherine Picon-Cochard, Marine Zwicke, Florence Volaire, Marie-Pascale Prud'homme



# Contribution des fructanes à la résistance à la sécheresse



**Augmentation des teneurs en fructanes  
dans les méristèmes foliaires  
en réponse à la sécheresse**

Amiard *et al.*, 2003

## Une conséquence de la réduction de croissance?

➡ Correlation positive entre la teneur en fructanes et la résistance à la sécheresse de variétés contrastées

Volaire & Lelièvre, 1997

➡ Les plantes transformées enrichies en fructanes (raygrass, betterave à sucres, riz) sont plus résistantes au stress hydrique

Pilon-Smits *et al.*, 1995; Li *et al.*, 2007;  
Kawakami *et al.*, 2008; Yoshida *et al.*, 2009



**L'accumulation de fructanes représente un mécanisme de résistance  
à la sécheresse**



# Contribution des fructanes à la résistance à la sécheresse



## Fructanes

Polymères de fructose vacuolaires solubles, DP 3-300, 15% des angiospermes  
5 familles : inulines, lévanes, graminanes, néoserie inulines, néoserie levanes  
Produits à partir du saccharose par des fructosyltransférases (FT)  
Dégradés par des fructane exohydrolases (FEH)

osmolytes

Diminution du  
potentiel hydrique



Maintien de  
l'absorption d'eau



Ajournement

antioxydants  
protecteurs

Pas de transition de phase  
des lipides membranaires



Maintien de l'intégrité  
membranaire



Tolérance

composés de  
réserves

Mobilisation après  
la réhydratation



Reprise de  
croissance



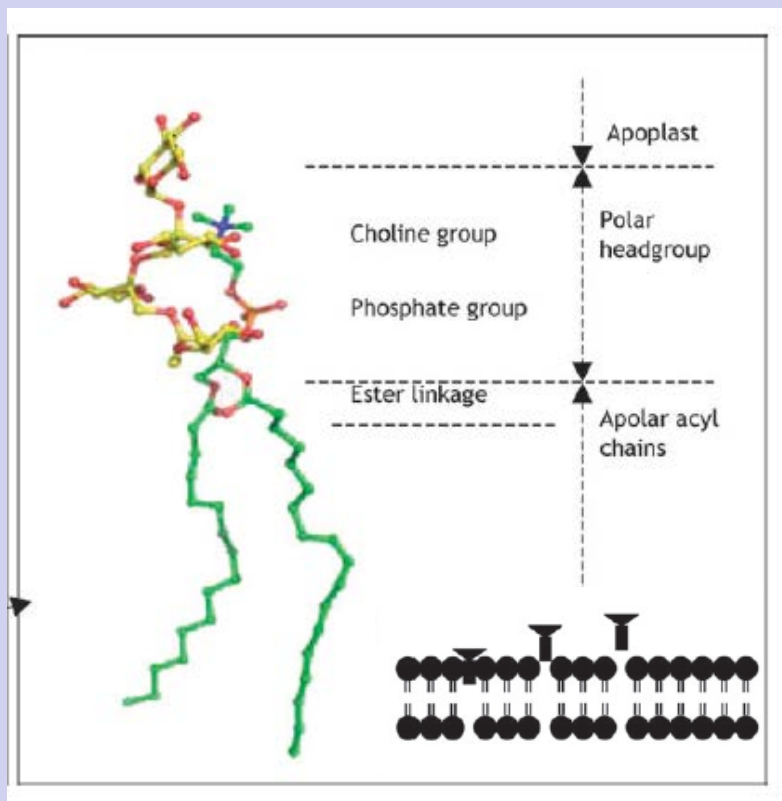
Survie



# Contribution des fructanes à la résistance à la sécheresse



## Interaction directe avec les lipides



Valluru & Van den Ende, 2008

## Effet de la concentration en sucres

## Effet du type de sucre

**Fructanes > RFOs > glucanes**

Hincha *et al.*, 2006

## Au sein des fructanes :

## Effet de la structure

Levanes > inulines

Hincha *et al.*, 2006

Neoseries > inulines, levanes, graminanes

Hincha *et al.*, 2007

## Effet de la taille

Inulines : DP5 > DP4 > DP3 > Sucrose

Avoine : DP4 > DP3 > DP5 > DP6 > Suc > DP7

Hincha *et al.*, 2006, 2007

## Effet des mélanges

Synergie entre fructanes DP élevé (7-17)  
et faibles DP (<7)

Hincha, Livingston *et al.*, 2007

**Teneur et composition en fructanes: traits fonctionnels à prendre en compte**



# Contribution des fructanes à la résistance à la sécheresse



## Hypothèse

Les fructanes contribuent *in vivo* à la résistance à la sécheresse en agissant sur l'intégrité membranaire

**Méristèmes foliaires**

**Méristèmes racinaires**

**Racines**



Marine Zwicke PhD

**Sécheresse**

Florence Volaire

**Ecophysiologie/Ecologie**



**Espèces  
prairiales**

**Fructanes**

Annette Morvan-Bertrand

Marie-Pascale Prud'homme



**Physiologie**



**Racines**



Catherine Picon- Cochard

**Ecologie/Ecophysiologie**



# Expérimentation en conditions semi-contrôlées sur des populations d'espèces différentes



*Dactylis glomerata*

Dg

*Poa pratensis*

Pp

*Poa trivialis*

Pt

*Trisetum flavescens*

Tf

*Taraxacum officinale*

To

*Festuca arundinacea*

Fa

*Dactylis glomerata* cv.  
*Medly*

Md



Cultivar méditerranéen  
résistant à la sécheresse

(Volaire & Lelièvre, 2001)



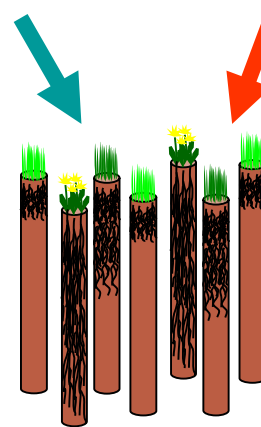
TEMOIN  
IRRIGATION

SECHERESSE

Tubes PVC

H = 150 cm

D = 10 cm

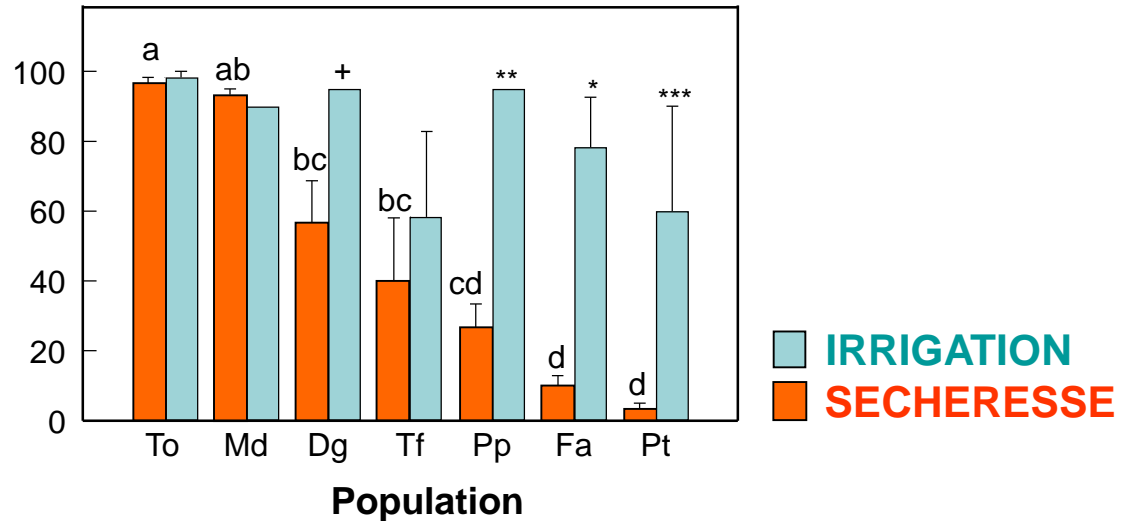


## % de tissus verts 15 jours après la réhydratation



SECHERESSE

- To *Taraxacum officinale*
- Md *D. glomerata* cv. Medly
- Dg *Dactylis glomerata*
- Tf *Trisetum flavescens*
- Pp *Poa pratensis*
- Fa *Festuca arundinacea*
- Pt *Poa trivialis*



Un gradient de survie à la sécheresse



### Espèces les plus résistantes

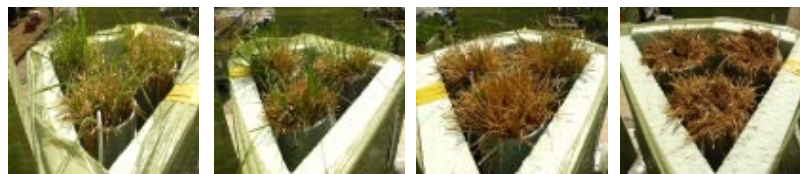


To

Md

Dg

### Espèces les plus sensibles



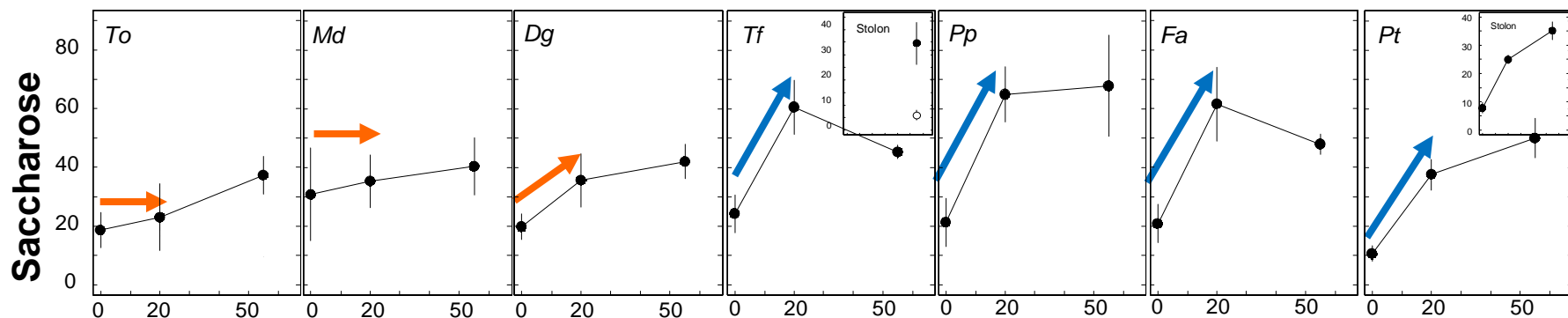
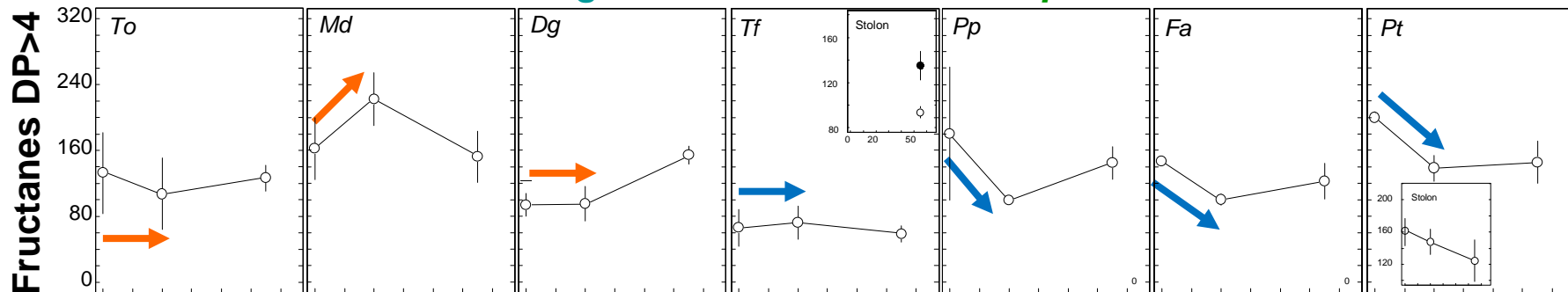
Tf

Pp

Fa

Pt

Méristèmes foliaires



Jour après le dernier arrosage



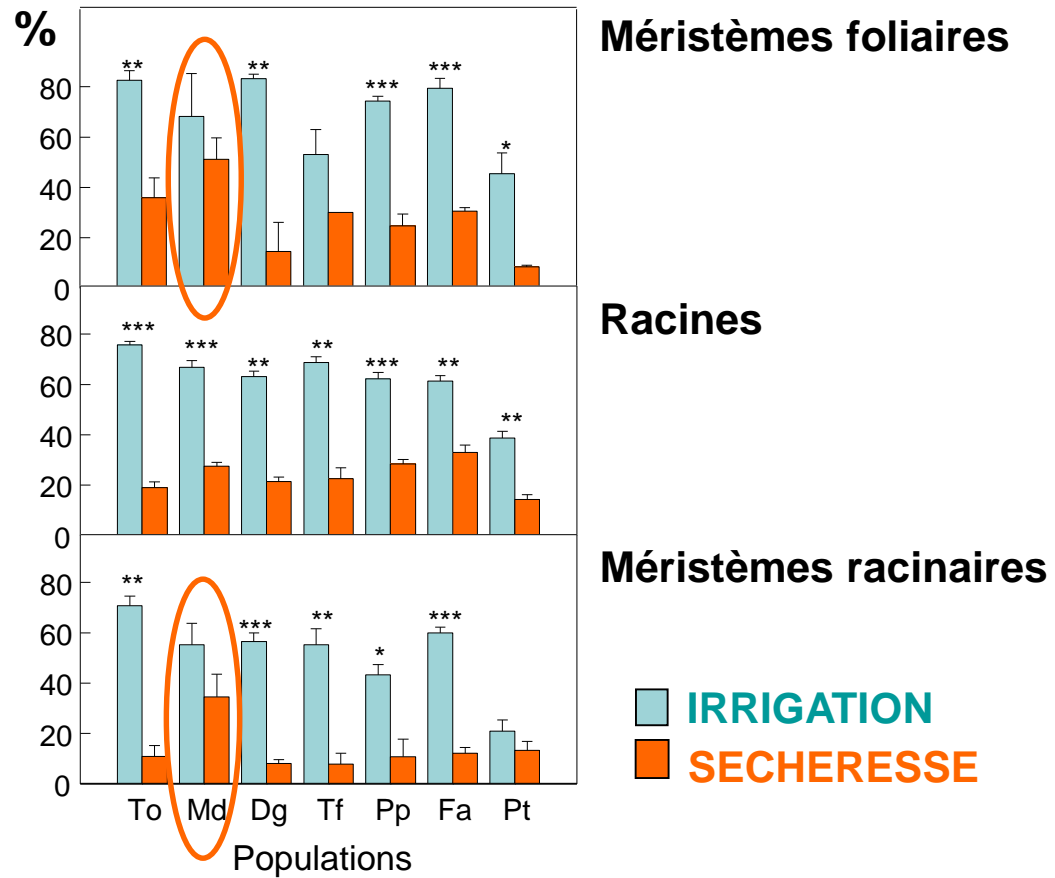
Les teneurs en fructanes et en saccharose sont stables ou augmentent pendant la sécheresse



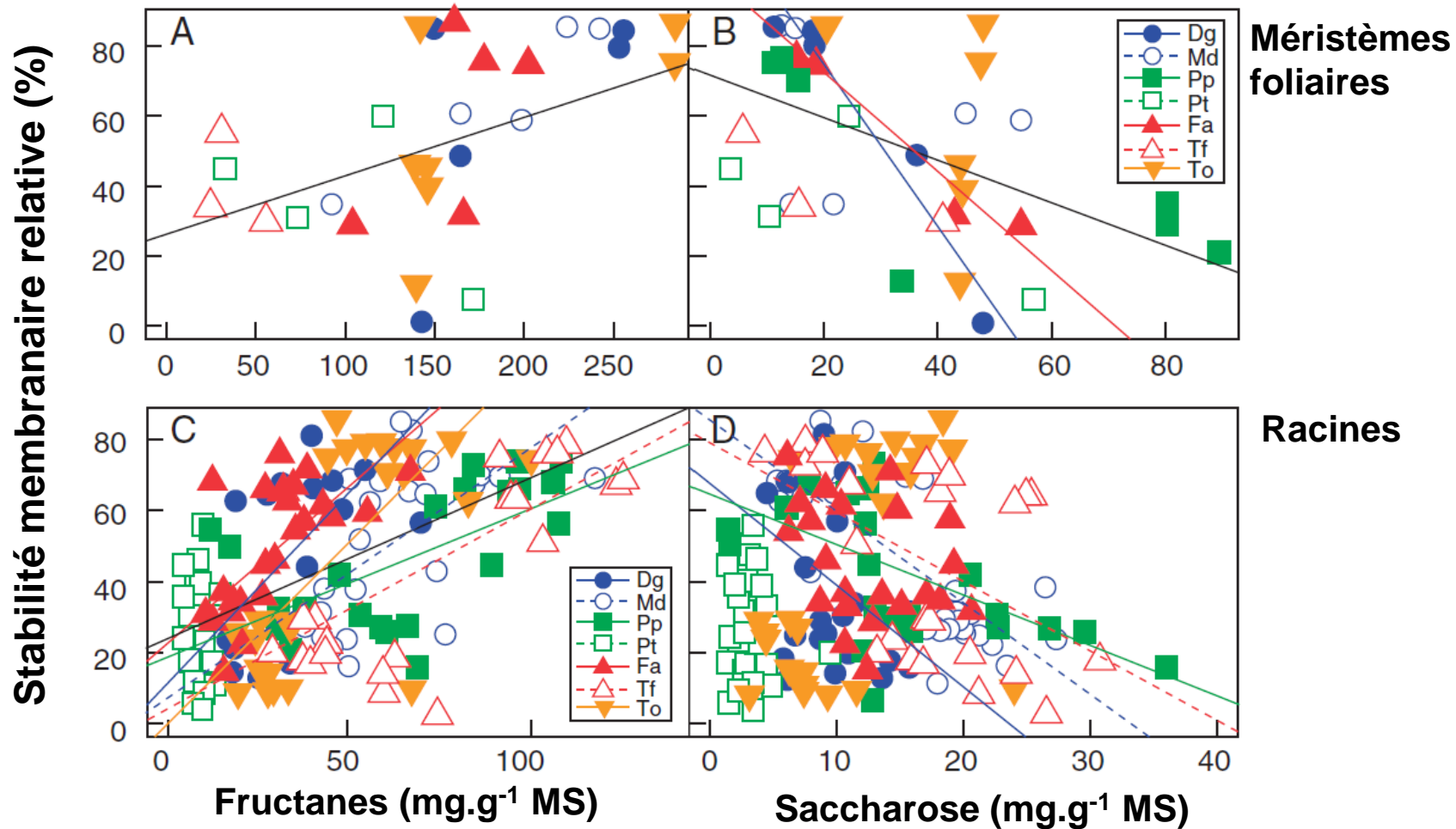
Les fructanes sont hydrolysés et le saccharose s'accumule pendant la sécheresse

## Stabilité membranaire

To *Taraxacum officinale*  
 Md *D. glomerata* cv. Medly  
 Dg *Dactylis glomerata*  
 Tf *Trisetum flavescens*  
 Pp *Poa pratensis*  
 Fa *Festuca arundinacea*  
 Pt *Poa trivialis*



Différents niveaux de stabilité membranaire



## Corrélation positive entre la stabilité membranaire et la teneur en fructanes

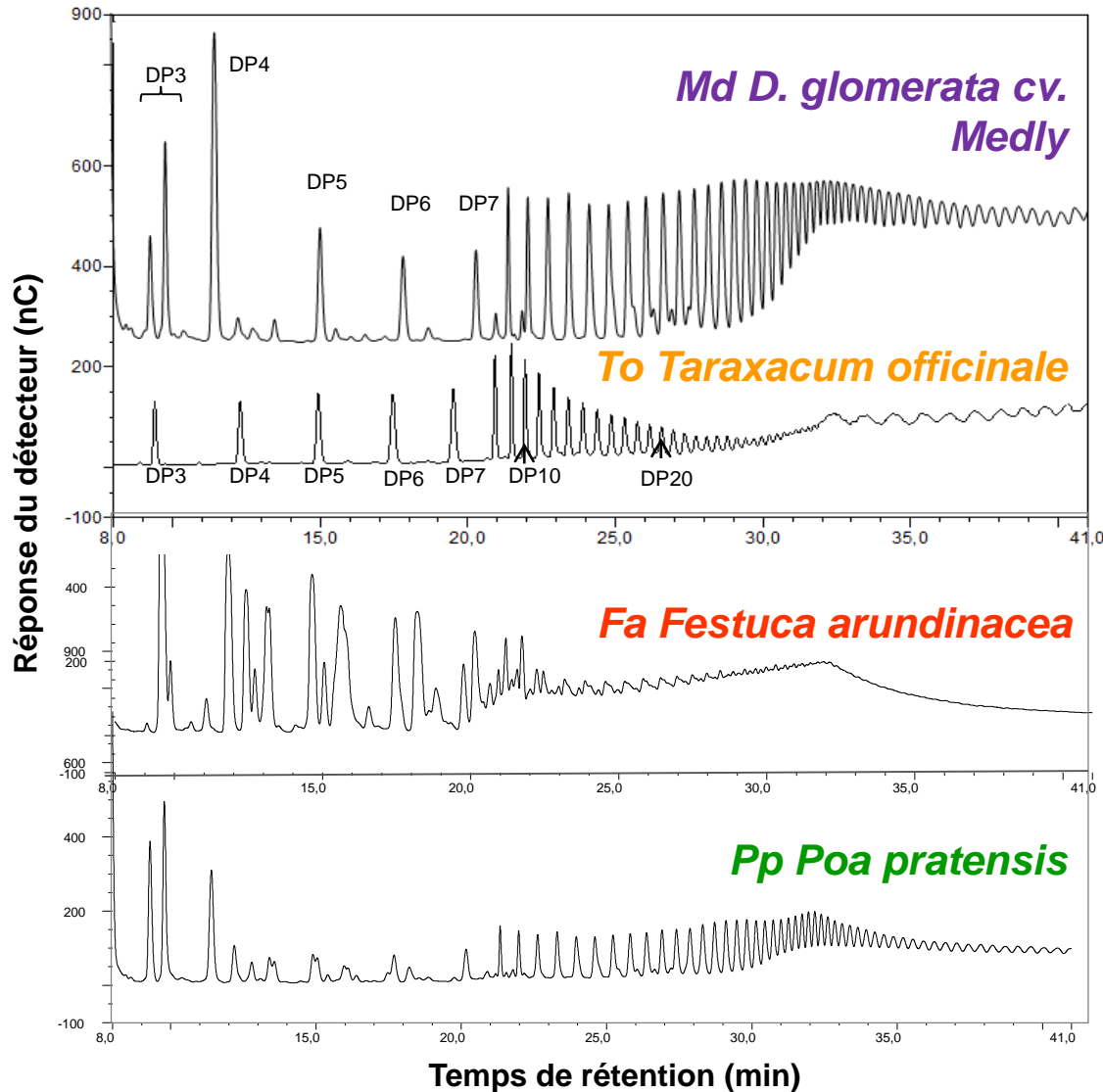


**Effet protecteur des fructanes sur les membranes**



**Meilleure tolérance à la déshydratation**

# Quels fructans contribuent à la protection membranaires *in vivo*?



Les espèces présentent des profils chromatographiques différents

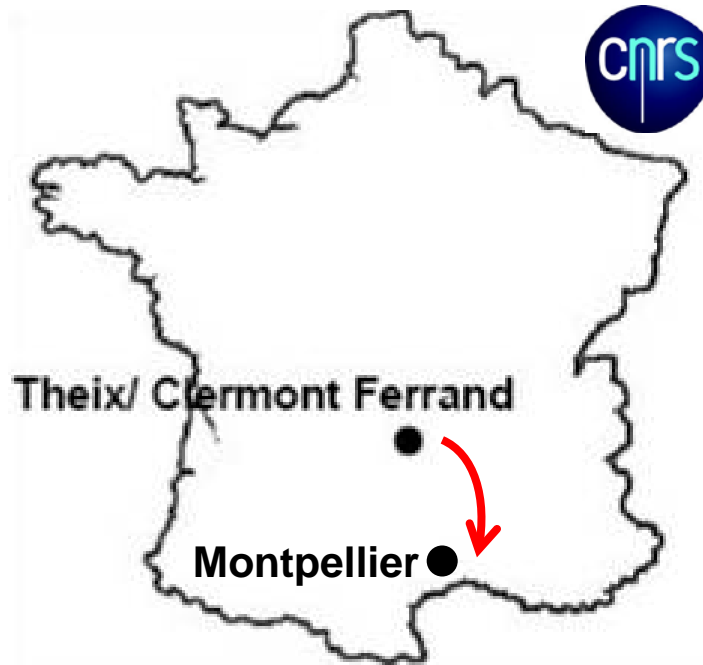


un ensemble spécifique de fructanes qui diffèrent par leur taille et leur structure

Distribution des DP chez deux espèces plus ou moins résistantes, soumises à un climat futur pendant l'été



Les polymères de fructanes sont-ils remaniés en réponse à la sécheresse chez les espèces résistantes?



### Scénario de climat futur à l'horizon 2050

4 monolithes dans chaque dome

| Mai             | Juin           |                | Juillet       |         | Août    | Septembre       | Octobre         |                         |
|-----------------|----------------|----------------|---------------|---------|---------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| Avant le stress | Apport eau 50% | Eau 0% + 3.4°C | Réhydratation | Témoins | Témoins | Après le stress | Après le stress | 380 ppm CO <sub>2</sub> |
|                 | Témoins        | Témoins        | Témoins       |         |         |                 |                 |                         |
| Avant le stress | Apport eau 50% | Eau 0% + 3.4°C | Réhydratation | Témoins | Témoins | Après le stress | Après le stress | 520 ppm CO <sub>2</sub> |
|                 | Témoins        | Témoins        | Témoins       |         |         |                 |                 |                         |

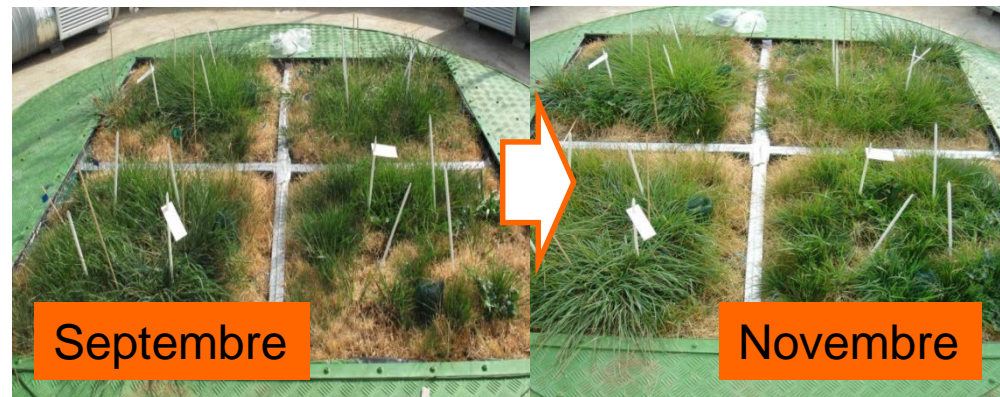
: climat futur     
  : évènements extrêmes  

 : témoin

## La végétation des monolithes



Après réhydratation



**Etude de deux Poacées**  
choisies parmi les espèces dominantes  
de la communauté végétale présente  
sur les monolithes

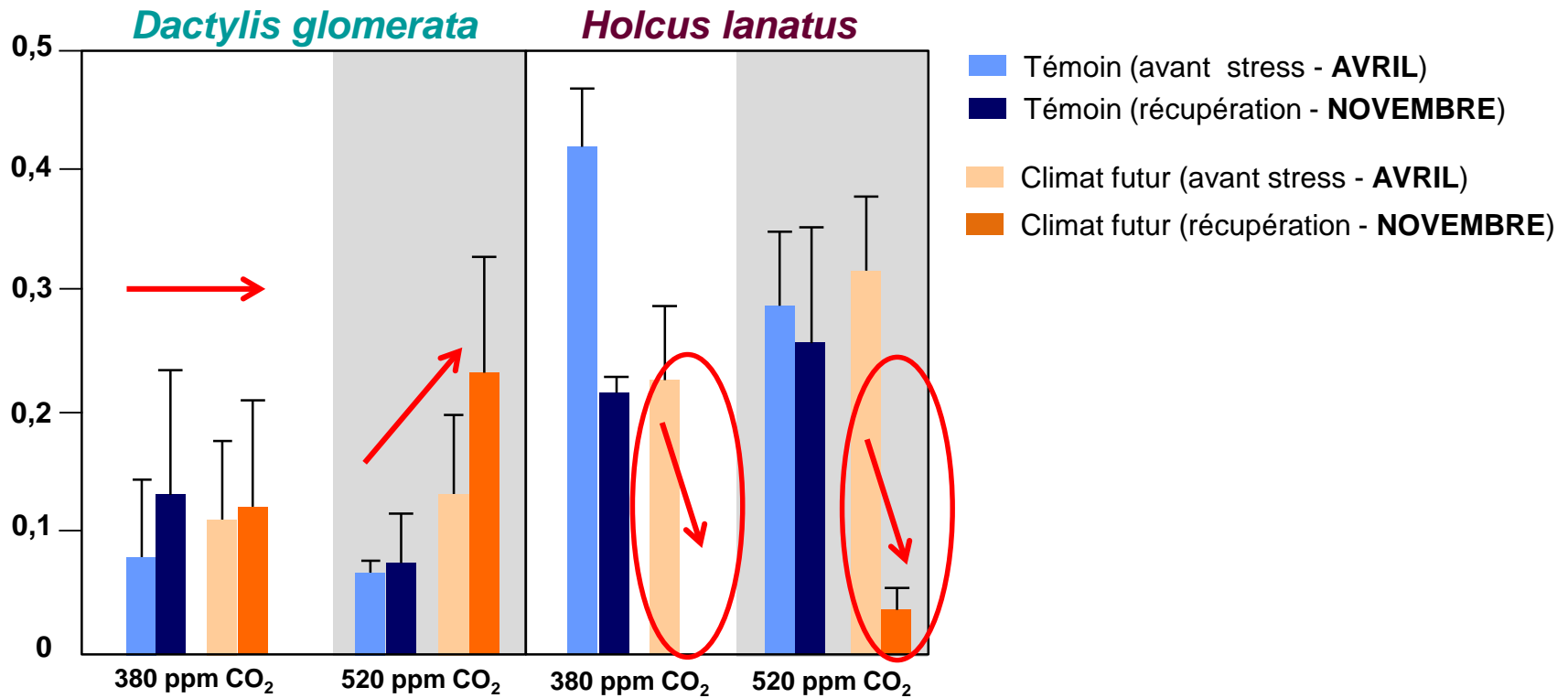


***Dg Dactylis glomerata***

***HI Holcus lanatus***

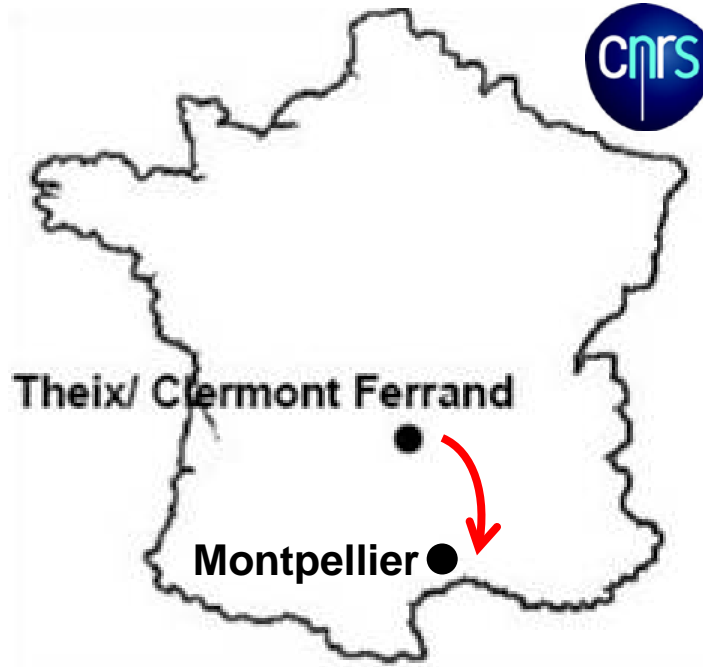
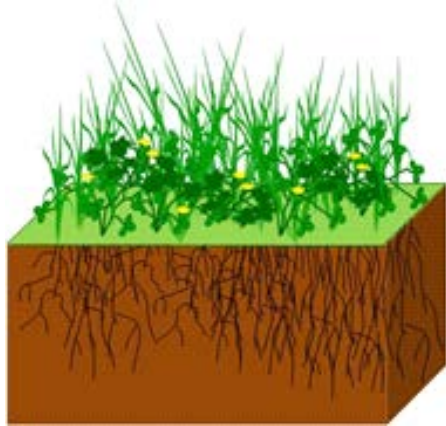
# La végétation des monolithes

Abondance relative au sein de la communauté végétale



**→ Forte mortalité de la houlque soumise au climat futur, quelle que soit la teneur en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère**





### Scénario de climat futur à l'horizon 2050

4 monolithes dans chaque dome

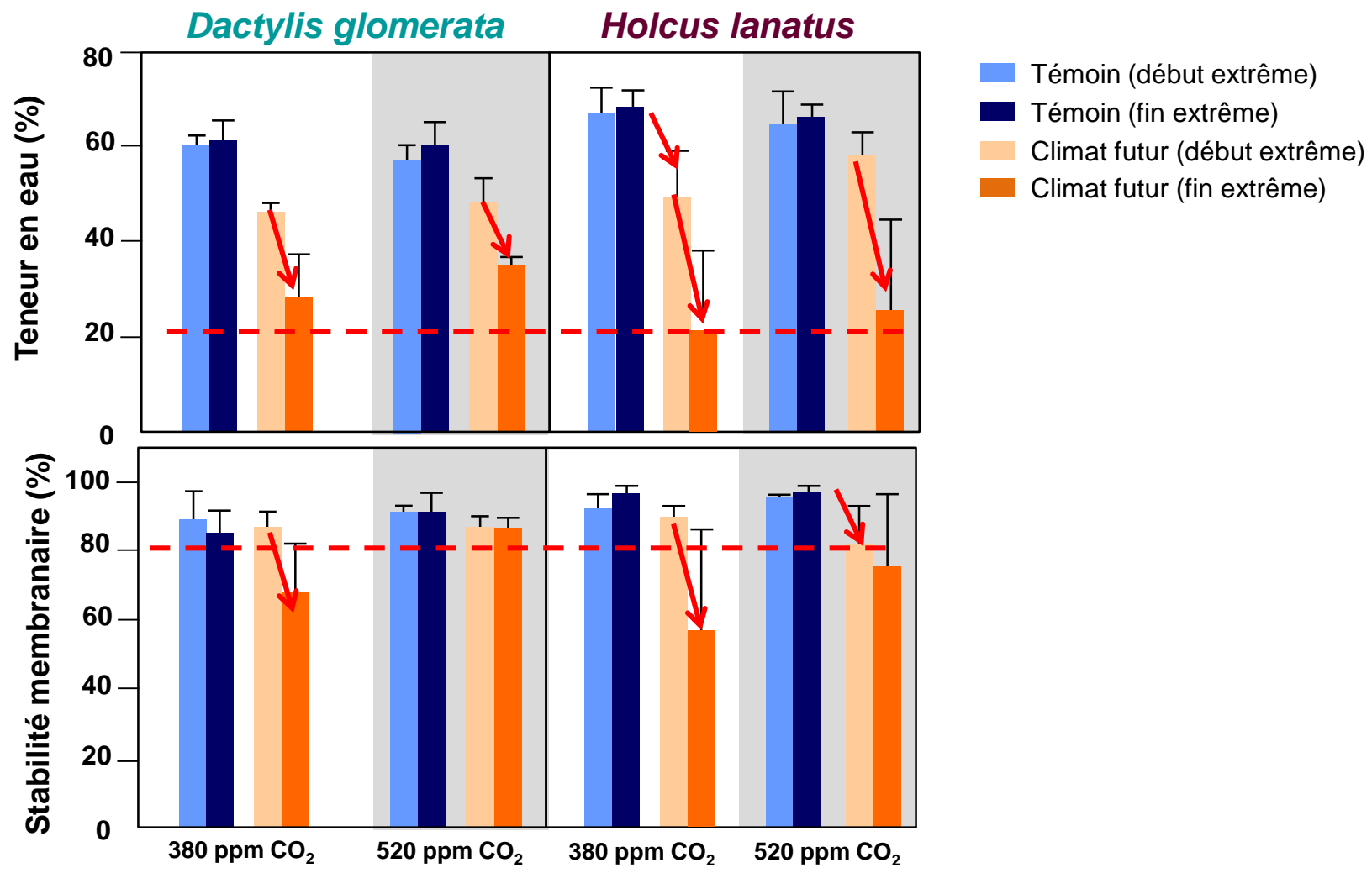
| Mai             | Juin           |                | Juillet       |  | Août    | Septembre       | Octobre |                         |
|-----------------|----------------|----------------|---------------|--|---------|-----------------|---------|-------------------------|
| Avant le stress | Apport eau 50% | Eau 0% + 3.5°C | Réhydratation |  | Témoins | Après le stress |         | 380 ppm CO <sub>2</sub> |
|                 | Témoins        | Témoins        |               |  |         |                 |         |                         |
| Avant le stress | Apport eau 50% | Eau 0% + 3.5°C | Réhydratation |  | Témoins | Après le stress |         | 520 ppm CO <sub>2</sub> |
|                 | Témoins        | Témoins        |               |  |         |                 |         |                         |

- Témoins (début extrême)
- Témoins (fin extrême)
- Climat futur (début extrême)
- Climat futur (fin extrême)



**Analyse de la teneur en eau et de la stabilité membranaire dans les méristèmes foliaires**

# Teneur en eau et stabilité membranaire dans les méristèmes foliaires



Diminution plus forte de la teneur en eau et de la stabilité membranaire chez la houlque que chez le dactyle

## *Holcus lanatus*

Forte mortalité pendant le stress

Mauvaise récupération de la vitesse d'élongation foliaire

Atteinte de l'état physiologique des méristèmes foliaires



**Sensible**

## *Dactylis glomerata*

Peu de mortalité pendant le stress

Bonne récupération de la vitesse d'élongation foliaire

Préservation de l'état physiologique des méristèmes foliaires

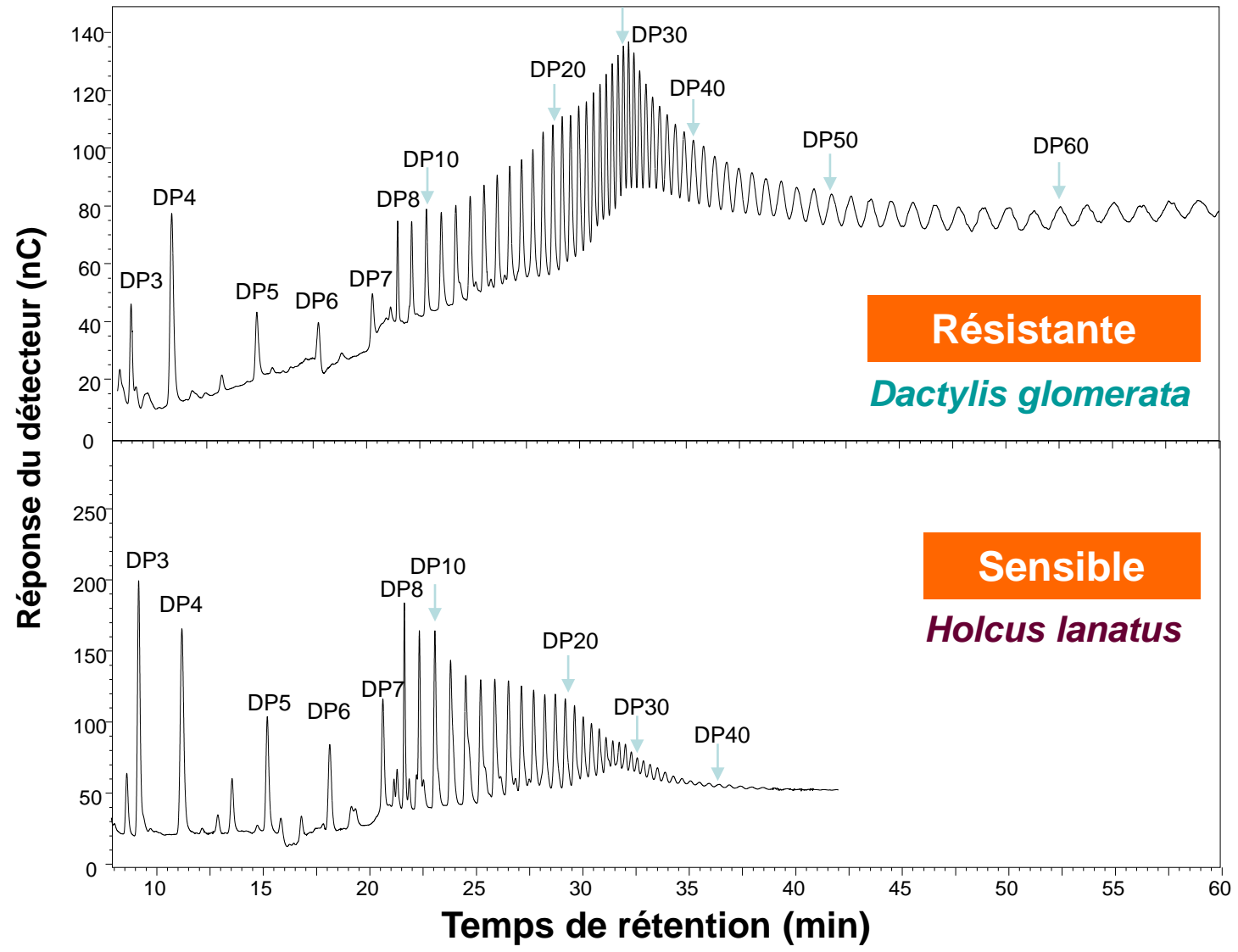


**Résistante**

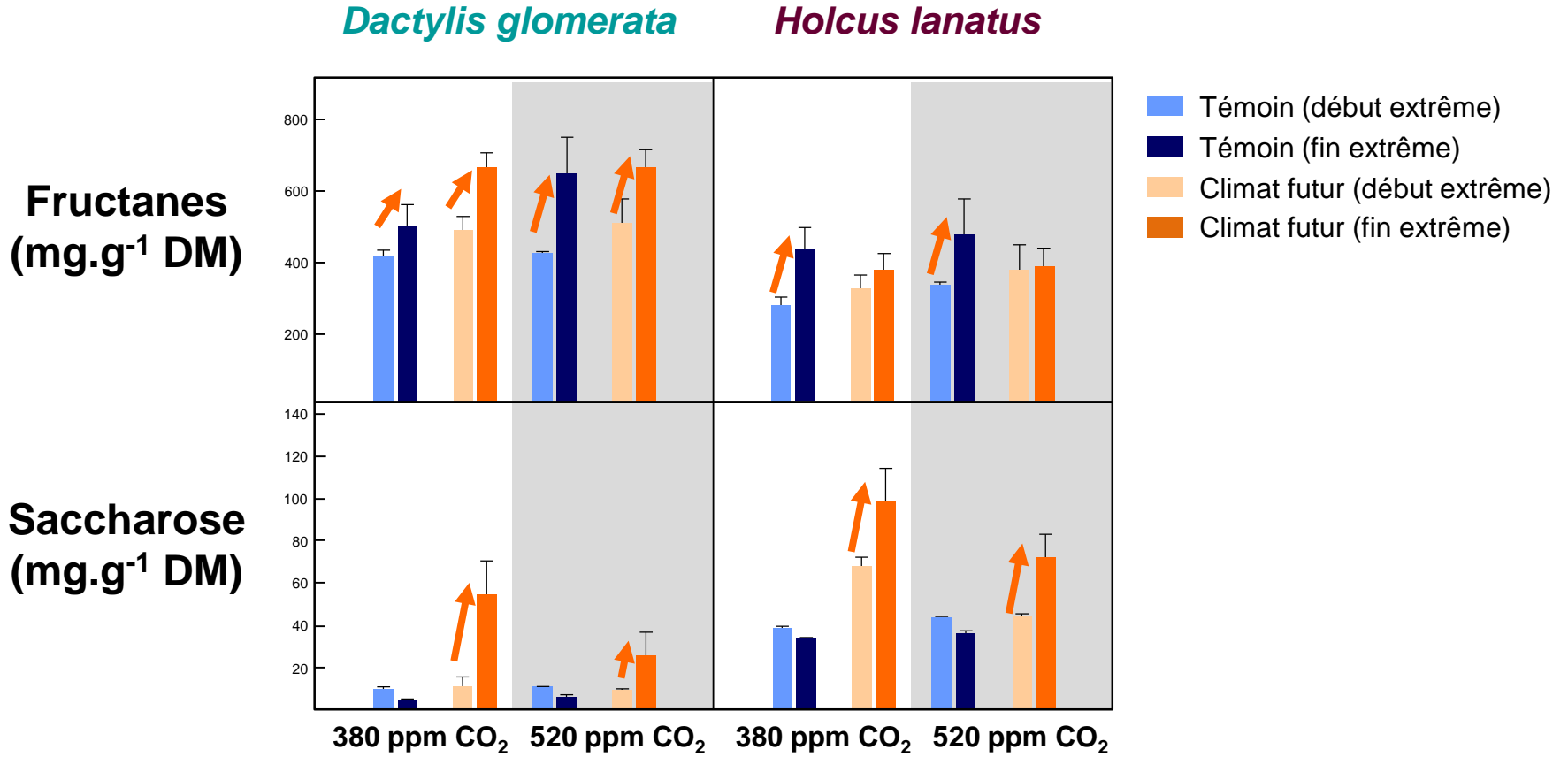


**Analyse des glucides solubles dans les méristèmes foliaires pour évaluer le lien entre capacité de résistance et caractéristiques du métabolisme glucidique**

# Deux espèces accumulatrices de fructanes de type "lévane"

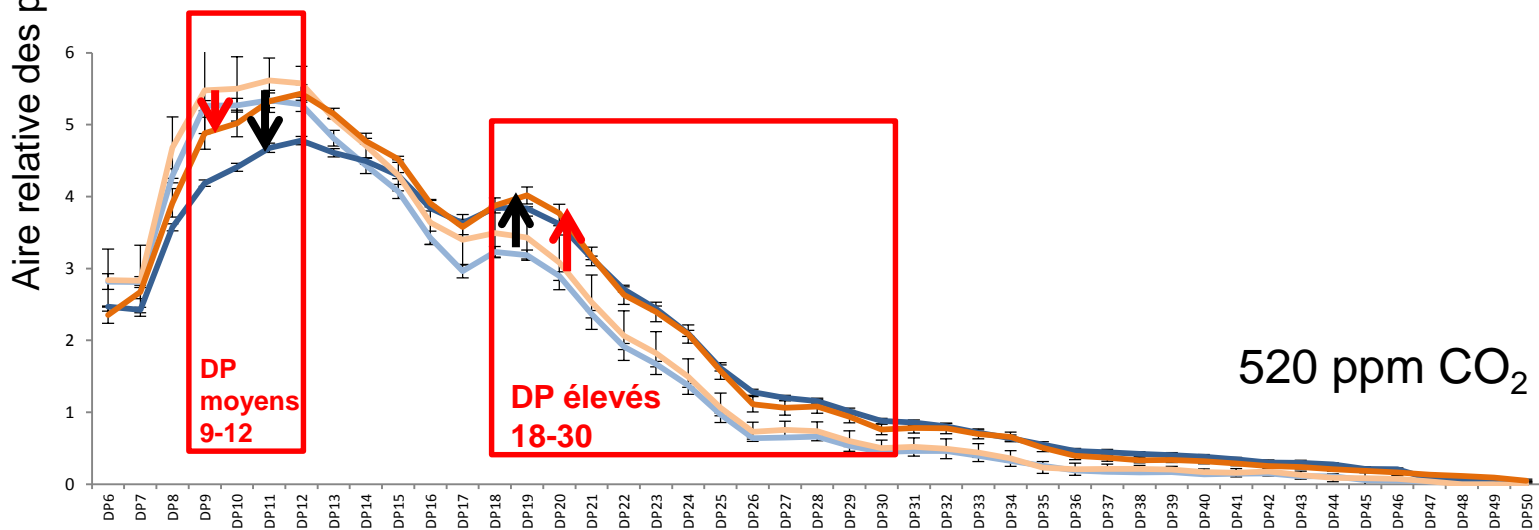
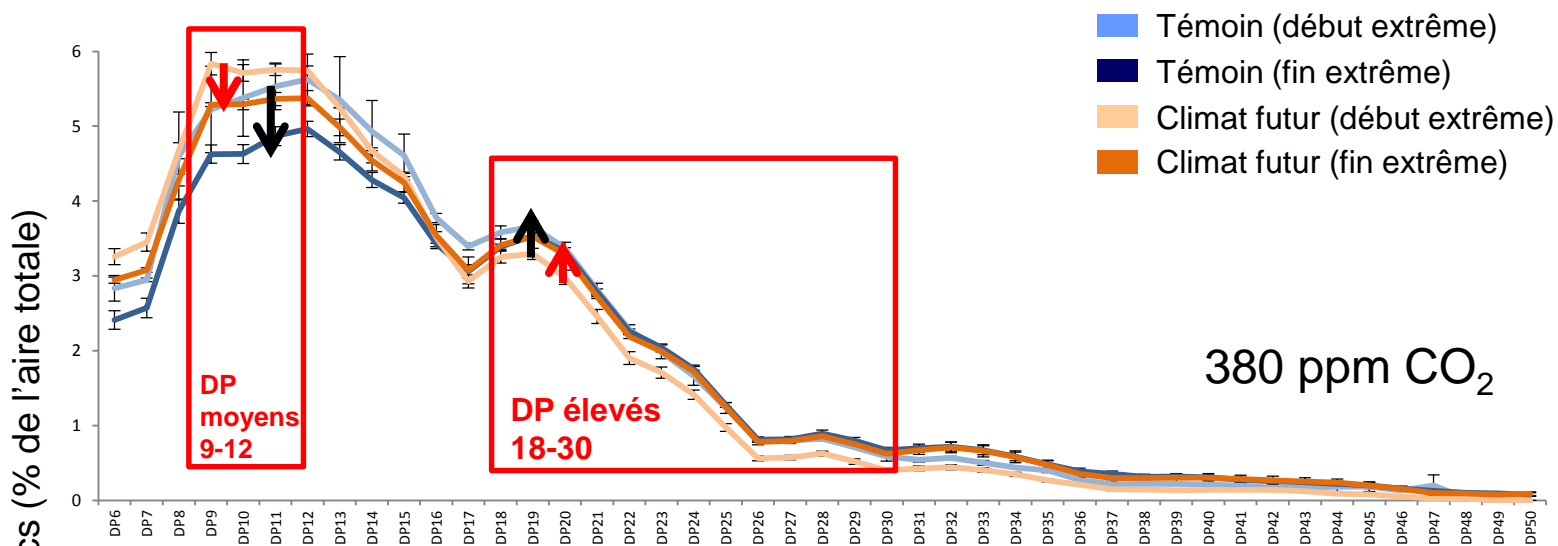


## Dans les méristèmes foliaires



# Les fructanes dans les méristèmes foliaires

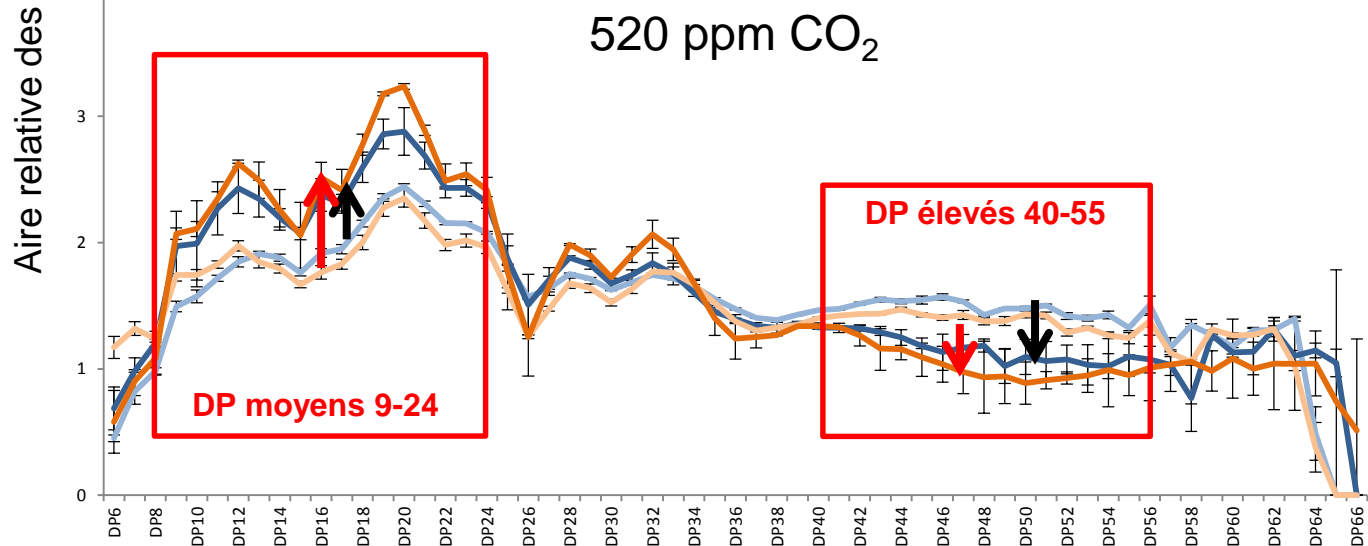
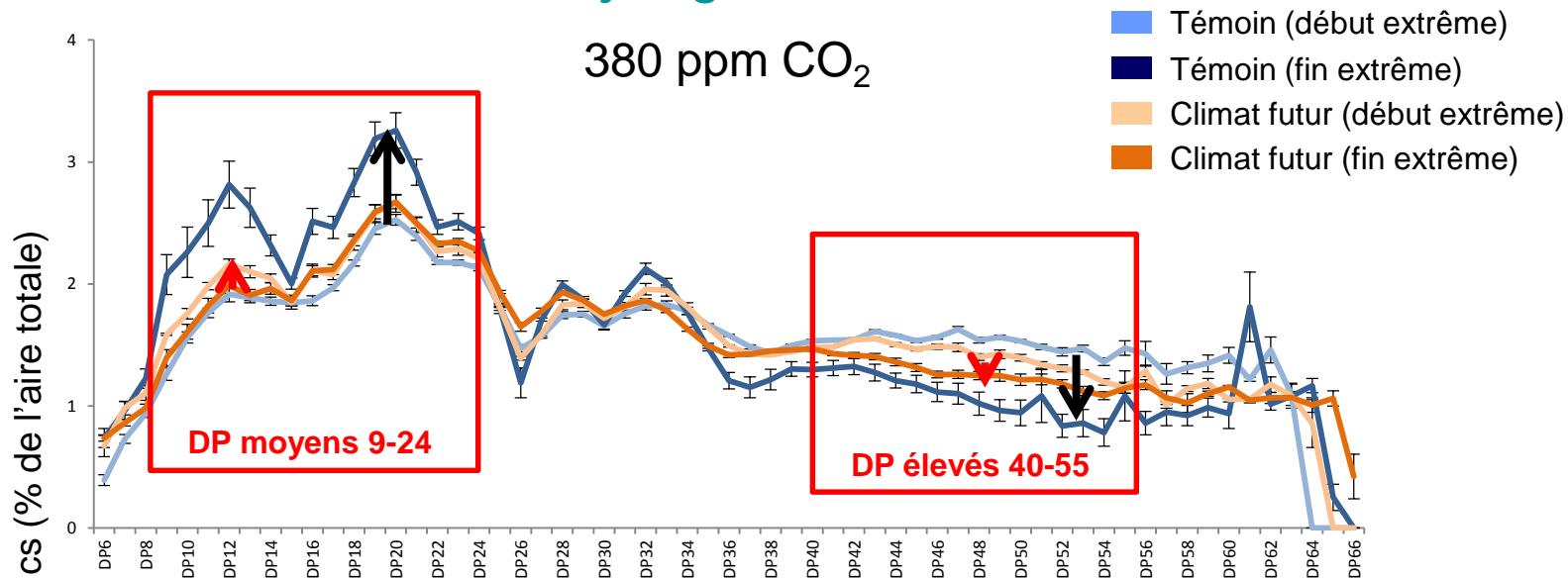
## *Holcus lanatus*



# Les fructanes dans les méristèmes foliaires

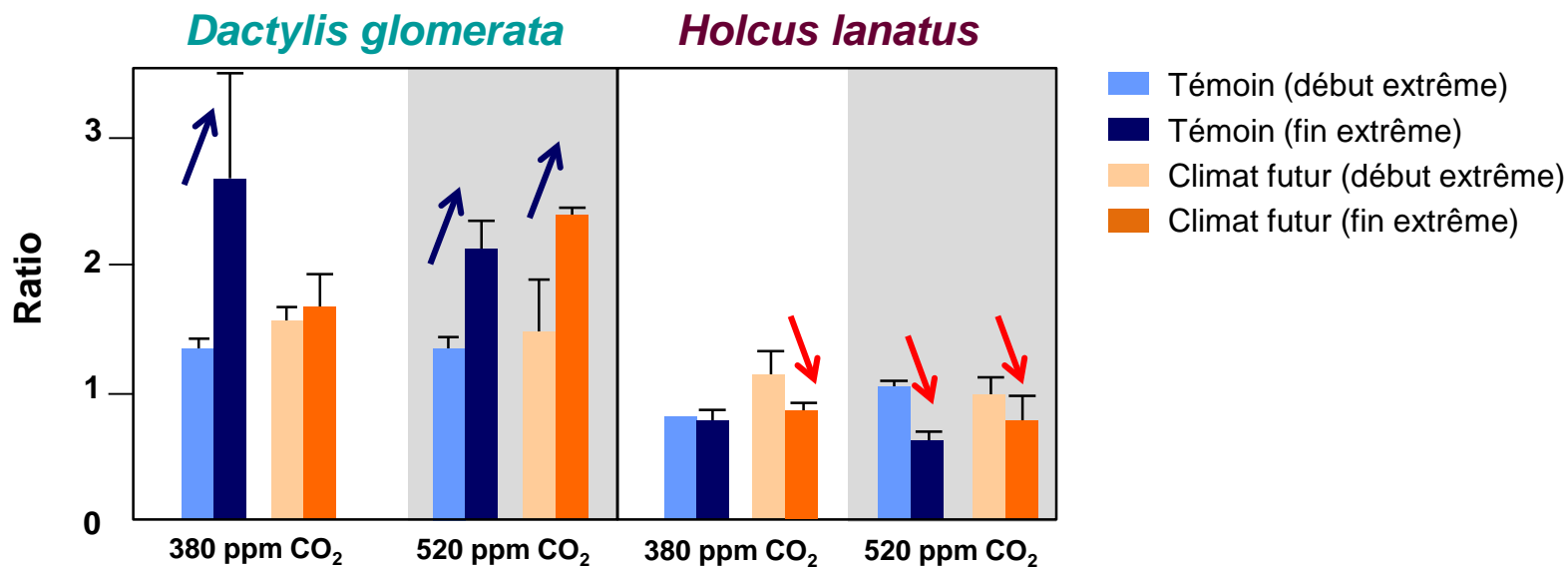


## *Dactylis glomerata*



# Les fructanes dans les méristèmes foliaires

Ratio abondance relative DP moyens / DP élevés



**Augmentation ratio  
DP moyen/ DP élevé**

**Diminution ratio  
DP moyen/ DP élevé**



## Les fructanes s'accumulent mais la distribution des différents DP révèlent deux schémas opposés

*Holcus lanatus*

**Sensible** à la sécheresse

Augmentation de la  
proportion de DP élevés

**Polymérisation des fructanes**

*Dactylis glomerata*

**Résistante** à la sécheresse

Augmentation de la  
proportion de faibles DP

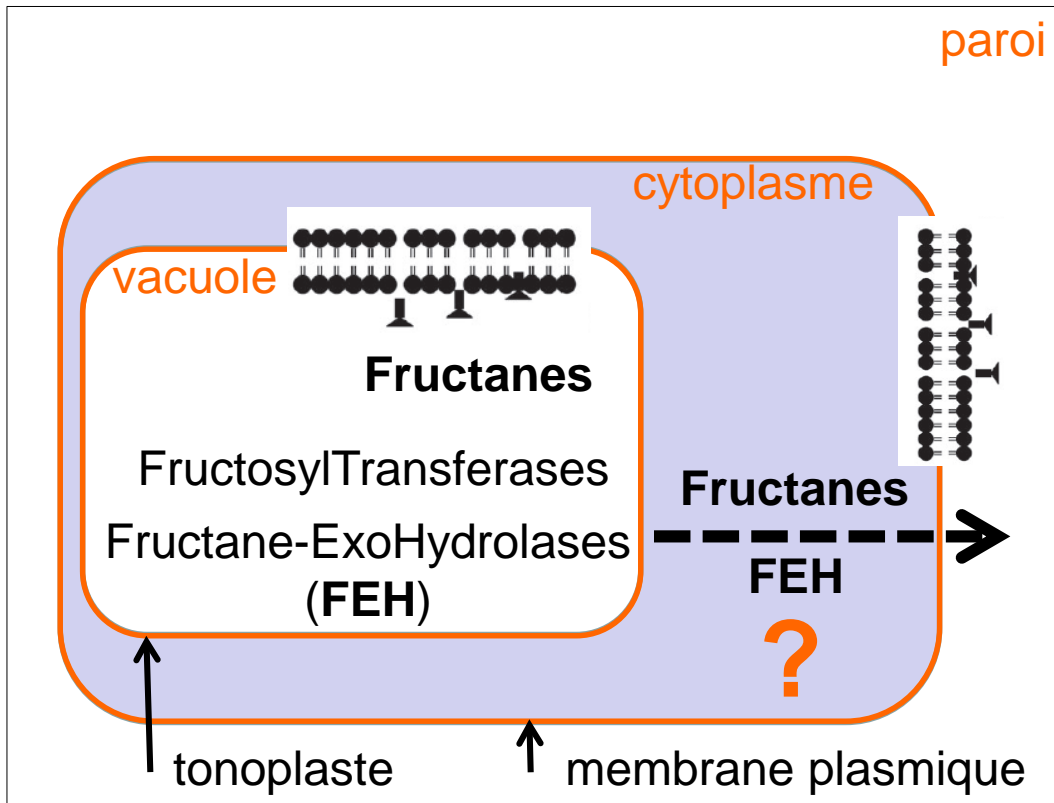
**Dépolymérisation des fructanes**

**Dépolymérisation partielle :  
une stratégie pour résister à la sécheresse**

Défis futurs d'ordre physiologique

**Caractérisation et régulation des FEHs**  
**Localisation subcellulaire des FEHs et des fructanes**

## Quelles membranes sont concernées par cette protection?



Localisation **vacuolaire**  
des fructanes

Wagner et al., 1983



**Protection du tonoplast**

Localisation pariétale  
des fructanes et de la FEH

**en réponse au gel**

Livingston & Henson, 1998



**Protection de  
la membrane plasmique**

**En réponse à la sécheresse, les fructanes et la FEH migrent-ils vers la paroi?**

## Variabilité inter-spécifique du métabolisme glucidique



## Variabilité inter-spécifique de la résistance aux extrêmes climatiques



## Modulation de la réponse des communautés végétales au changement climatique



**Modification de la composition floristique et fonctionnelle**



**Modification de la résilience de la prairie et des services écosystémiques**

**Merci !**

