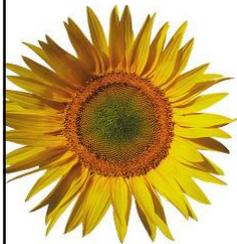


## Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol : apports de l'écophysiologie et de la génétique.

Ph. Grieu, P. Maury, Ph. Debaeke, A. Sarrafi\*

UMR AGIR, INRA-ENSAT/INPT

\*EA SP2, ENSAT/INPT

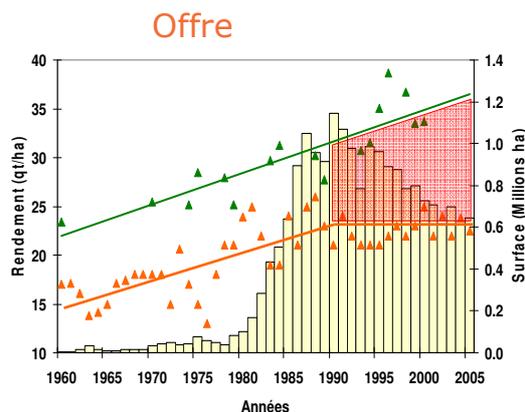


Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Contexte économique



- Surfaces : -50 % depuis les années 1990, (effet de la PAC 1992)
- Rendement : **équilibre** entre progrès génétique (+1.3% / an ; *Vear et al., 2003*) et dégradation des conditions de culture.

> Offre en diminution : surfaces en baisse et rendement stagnant.

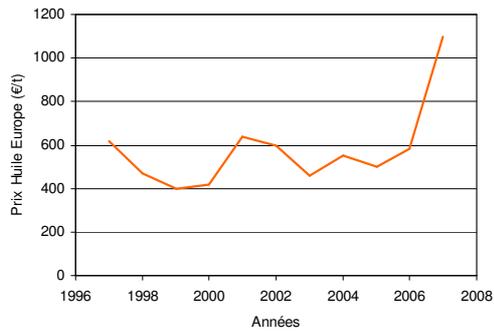
Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Contexte économique

### Demande



- Demande européenne accrue en huile végétale: filière oléique (biocarburants, alimentation...)  
> Doublement (+180%) des prix en 2006-2007 (source : LD Commodities)

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Contexte climatique

- Depuis 1986, une dizaine d'années marquées par la sécheresse
- 5 sécheresses exceptionnelles depuis 1976

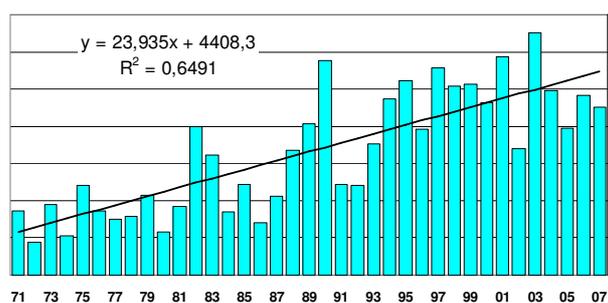
Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Contexte climatique

### Température moyenne cumulée par an à Auzeville



- En moyenne, **+23°C** chaque année depuis 1971 (source : JM Nolot)
- Effet sur l'ETP

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

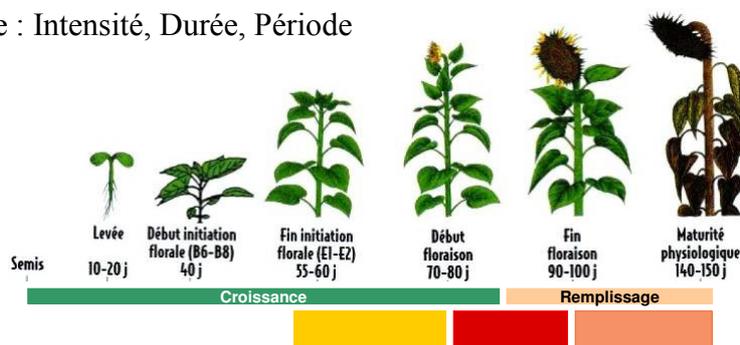


## Effet de la sécheresse : en fonction du scénario climatique

Sécheresse : Intensité, Durée, Période

Cycle

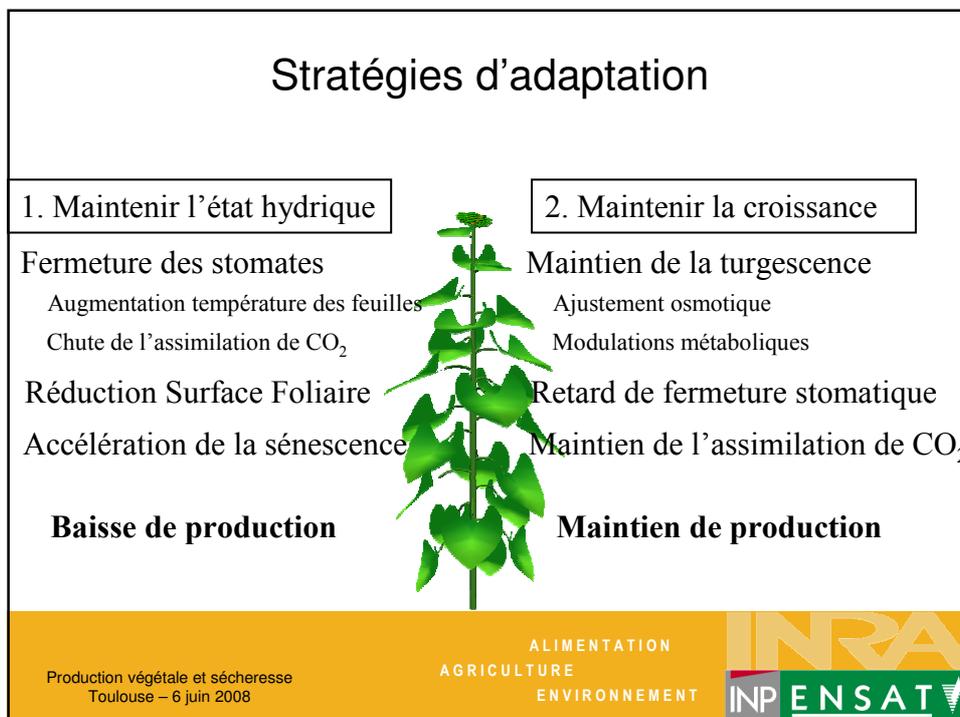
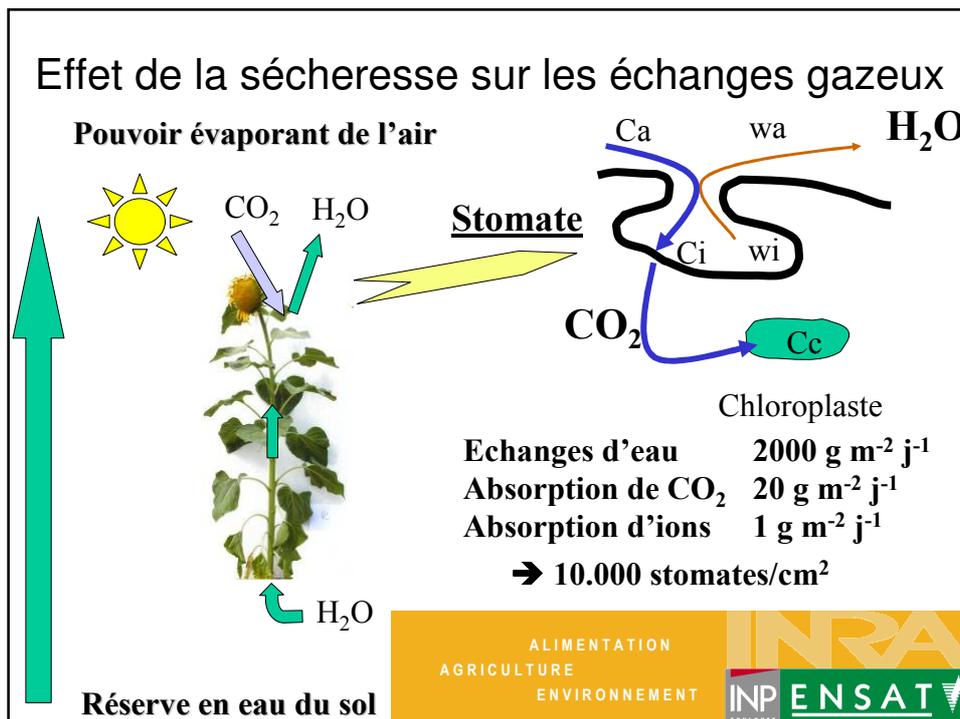
Sensibilité



Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT





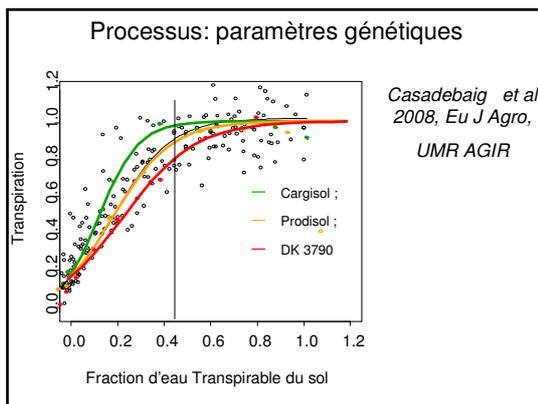
# 1. Etude des processus pour identifier des stratégies d'adaptation à la sécheresse

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Exemple 1 : Régulation de la Transpiration



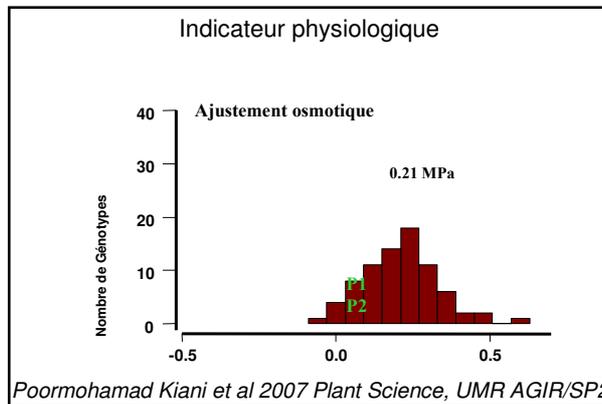
- Variabilité des seuils de fermeture stomatique de 3 génotypes de tournesol
- Pour une même contrainte hydrique, le flux transpiratoire des génotypes sera différent

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Exemple 2 : Tolérance à la déshydratation (Ajustement osmotique)



- Variabilité des valeurs mesurées de l'ajustement osmotique de 100 génotypes de tournesol

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## 2. Identification des zones du génome impliquées dans le contrôle des processus

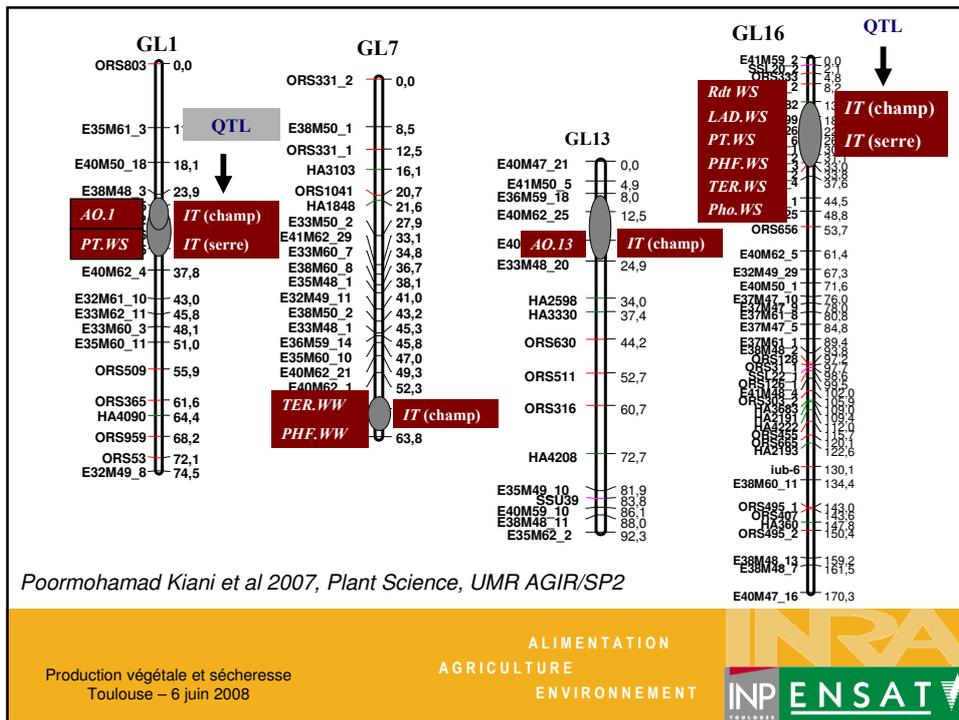
Exemple : QTLs contrôlant l'indice de tolérance (IT) à la  
sécheresse et l'ajustement osmotique

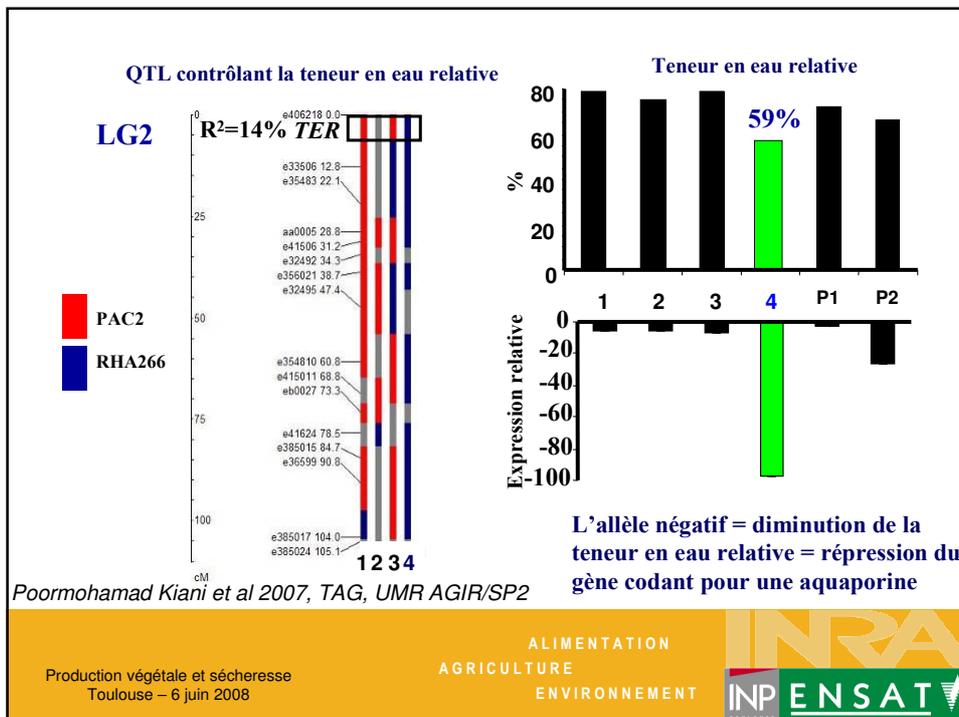
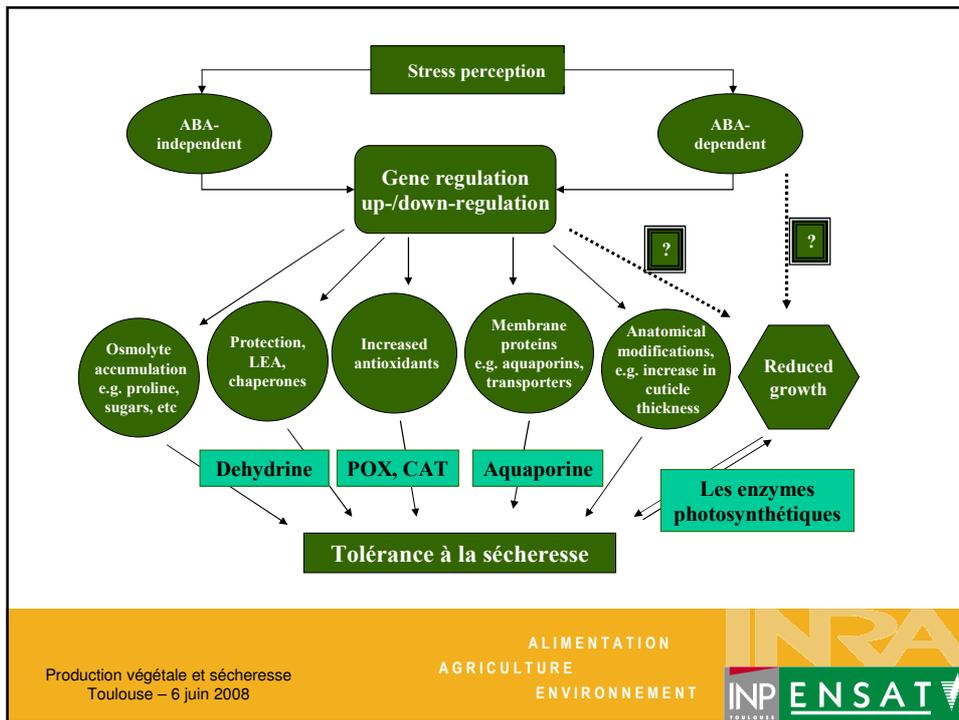
$$IT = R_{dt} \text{ en condition sèche} / R_{dt} \text{ en condition irriguée}$$

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT







## 4. Intégration des processus et des paramètres génétiques dans un modèle de simulation

- potentiel de production
- ✓ la quantité d'énergie solaire disponible ( $PAR_0$ )
  - ✓ la capacité de la culture à capter cette énergie ( $\epsilon_i$ )
  - ✓ la capacité de la culture à transformer cette énergie en biomasse ( $\epsilon_b$ )
  - ✓ la conversion de cette biomasse en graines ( $IR$ )

Modèle de Monteith (1977)

$$Rdt = IR \int_{t1}^{t2} \epsilon_i \cdot \epsilon_b \cdot PAR_0 \cdot dt$$

Dépend de la surface foliaire

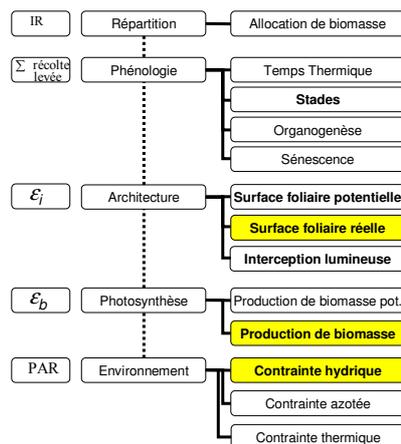
Dépend de l'activité photosynthétique

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Structure du modèle de culture à paramètres génétiques pour simuler l'IGEC

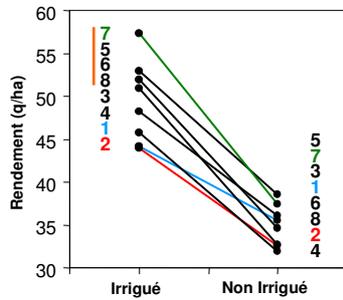


Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Résultats de simulation IGEC Toulouse climat 2006



Génotype	Précocité	Surface	Stratégie
1	Précoce	Faible	Economie
2	Précoce	Faible	Productif
3	Précoce	Forte	Economie
4	Précoce	Forte	Productif
5	Tardif	Faible	Economie
6	Tardif	Faible	Productif
7	Tardif	Forte	Economie
8	Tardif	Forte	Productif

Casadebaig 2008, Thèse de doctorat, UMR AGIR

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

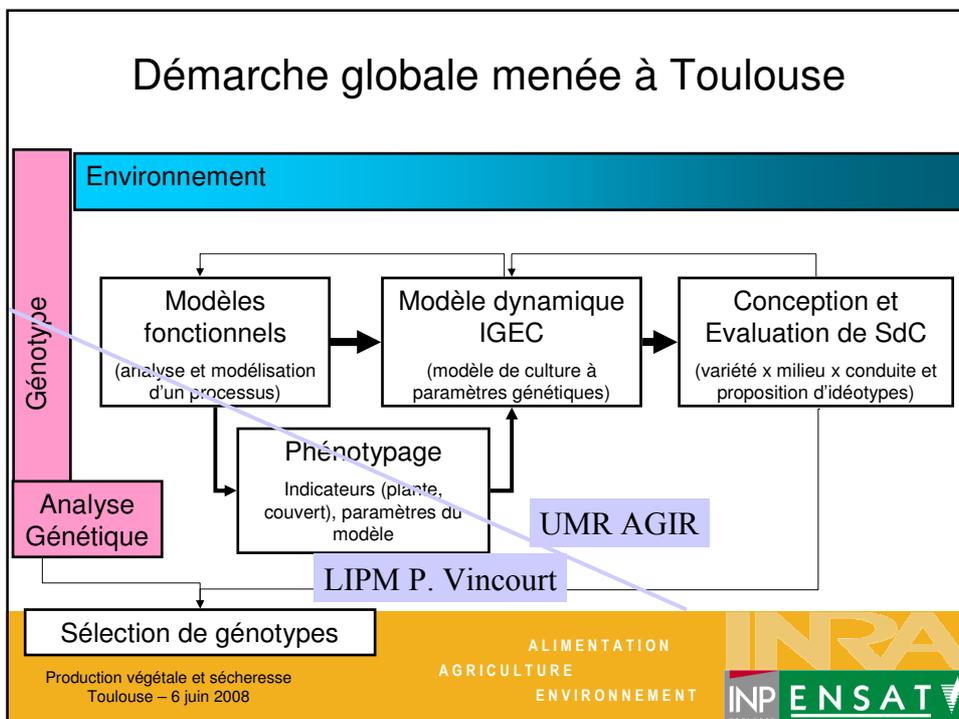
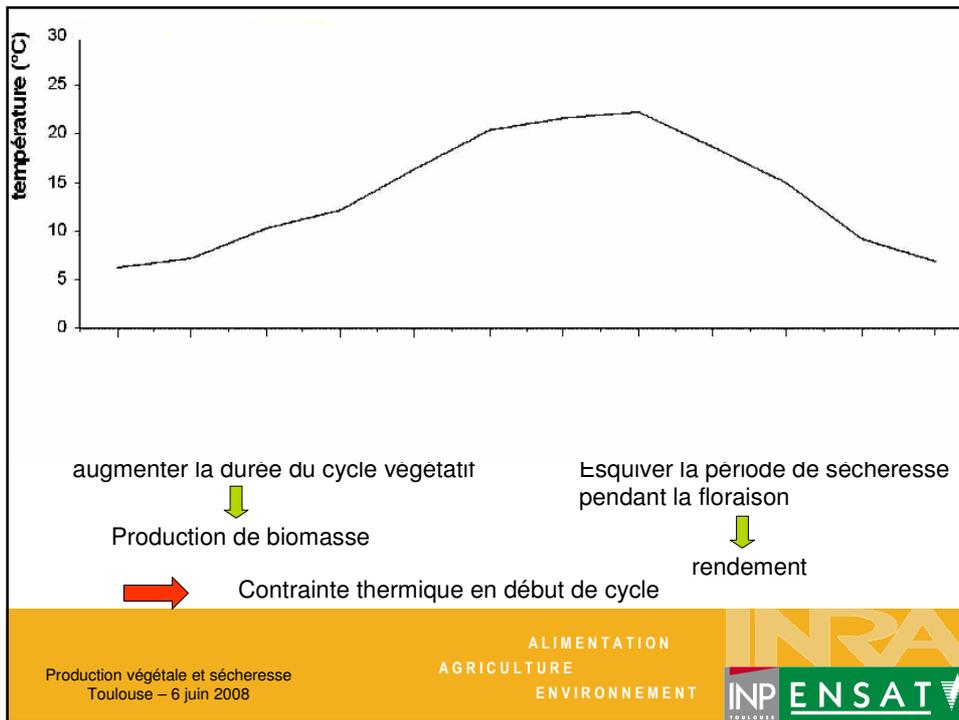


### 5. Autre stratégie : avancer la date de semis pour éviter la sécheresse à la floraison

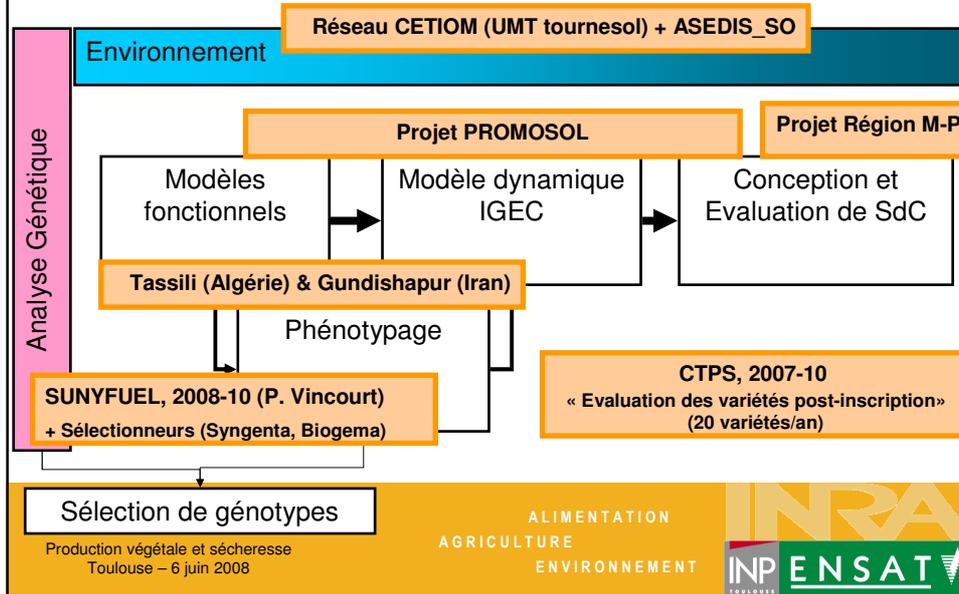
Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT





# Principaux programmes



Merci de votre attention

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

INRA  
INP ENSAT  
TOULOUSE

**1) Caractérisation de la phase semis-levée:**

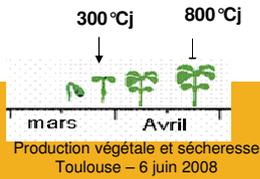


- Masse des graines
- % de levée
- Temps de levée
- Biomasse à 300°Cj

$$IL = \frac{(j_n \times n_1) + (j_{(n-1)} \times n_2) + \dots + (j_2 \times n_{(n-1)}) + (j_1 \times n_n)}{j_n \times n_n}$$

Adapté de l'indice de germination de Walkers et Simmons (1988)

Photo: expérimentation à 300°Cj



**Modèle de production de biomasse**

Monteith (1972)

$$MS = \int_{t_2}^{t_1} PAR_0 \cdot \epsilon_i \cdot \epsilon_b \cdot dt$$



Dépend de la surface foliaire

Dépend de l'activité photosynthétique

- **MS** la matière sèche produite
- **PAR<sub>0</sub>** le rayonnement photosynthétiquement actif incident
- **ε<sub>i</sub>** l'efficacité d'interception du rayonnement
- **ε<sub>b</sub>** l'efficacité biologique de conversion du rayonnement en biomasse

## 2) Détermination de l'efficacité d'interception

✓ modélisation de la surface foliaire d'interception:



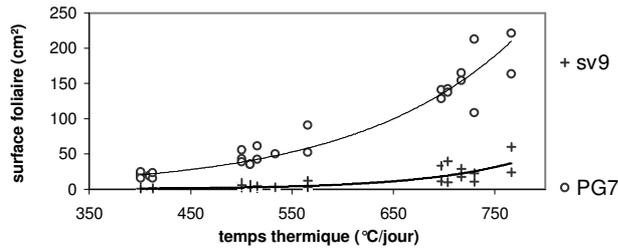
400 °Cj



520 °Cj



720 °Cj



$$SFi = b_0 \cdot e^{b_1 \cdot t}$$

Avec  $b_0$  et  $b_1$ , paramètres de l'équation et déterminés pour chaque génotype.

$$\epsilon_i = SFi \cdot d \quad d \text{ (nombre de plantes/m}^2\text{)}$$

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Matériel et méthode

### 3) Détermination de l'efficacité de conversion

$$PAR_i = PAR_0 \cdot \epsilon_i$$

PAR intercepté  
par le couvert

PAR incident



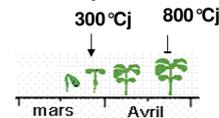
Photo: expérimentation à 800 °Cj

✓ efficacité biologique:



$$\epsilon_b = \frac{\Delta MAS}{\Delta PAR_i}$$

Différence de biomasse entre 300 et 800 °Cj

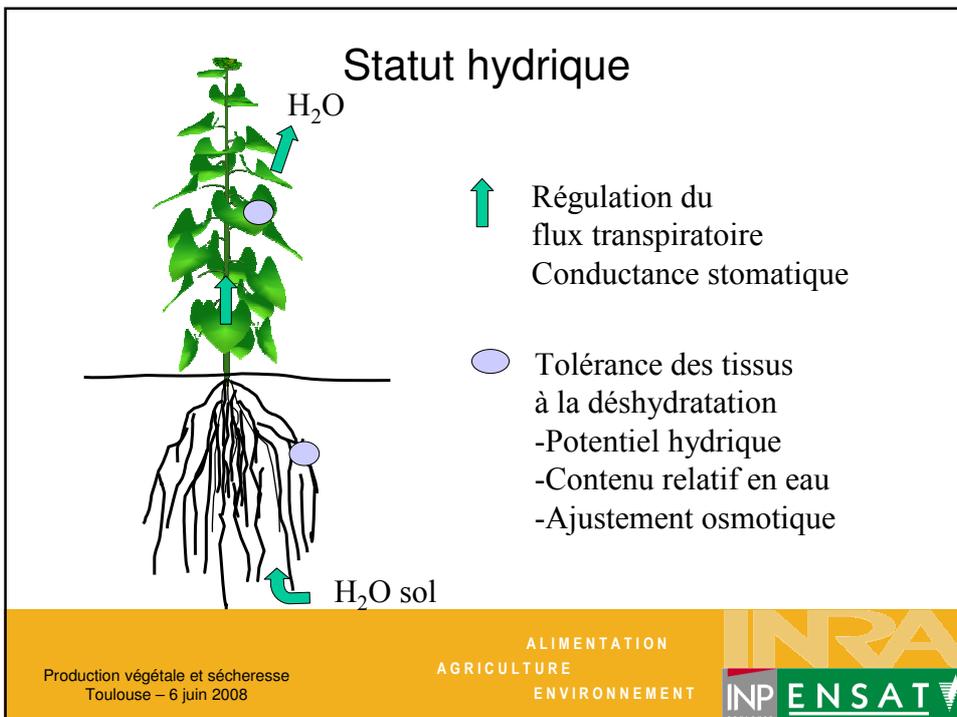
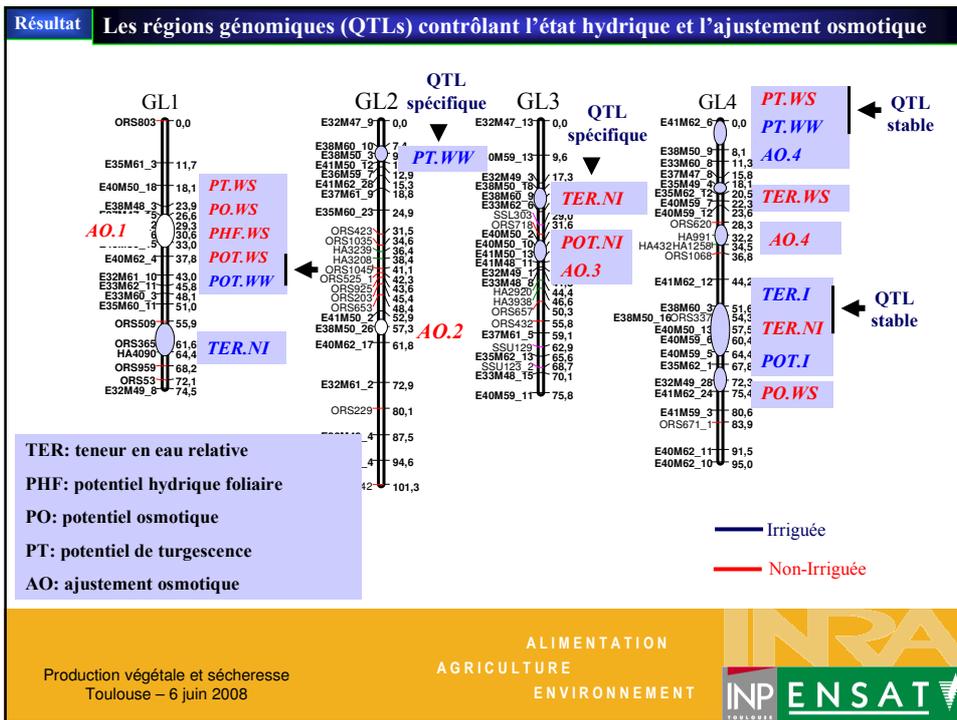


Somme des  $PAR_i$  entre 300 et 800 °Cj

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT





# La sécheresse pour la plante ???

**Sécheresse = donnée climatique (indices)**

**Sécheresse = scénario climatique**

- Période du cycle cultural
- Sécheresse du sol/de l'air
- Rayonnement
- Etat nutritionnel

**Sécheresse 'physiologique'**



Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Effet de la sécheresse en période végétative

Diminution de surface de transpiration (et d'assimilation) du couvert



- Diminution de la croissance des feuilles
- Accélération de la sénescence (feuilles du bas du couvert)

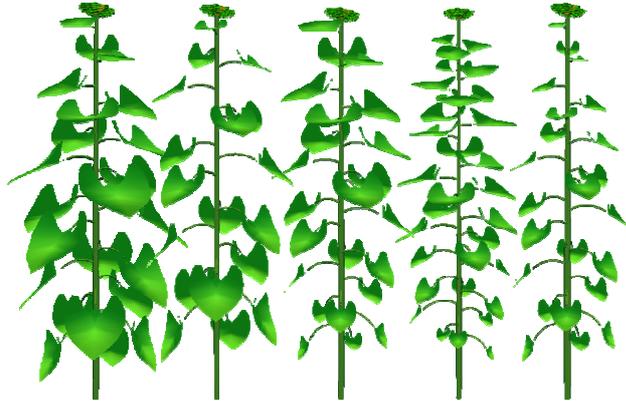
Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Effet de la sécheresse en période reproductrice

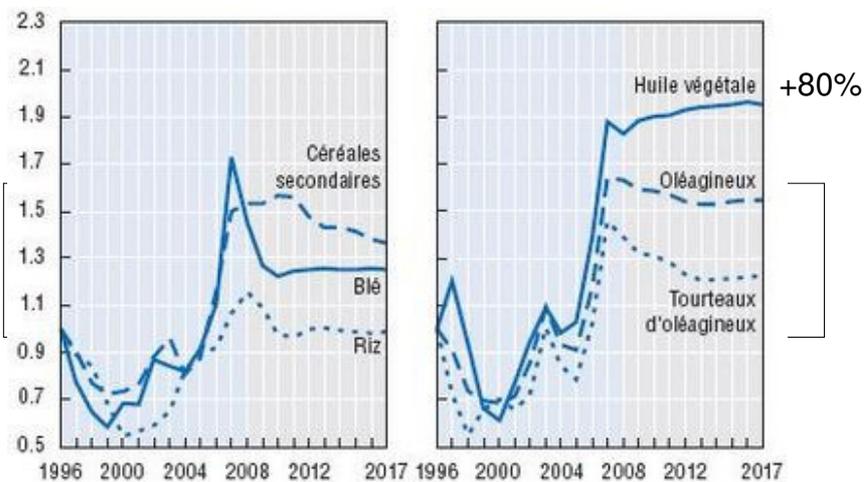
Diminution de la durée de vie de la surface foliaire assimilatrice



- Corrélation LAD et Rendement
- Régulation stomatique
- Processus de remobilisation vers le grain (peu connus)

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



Évolution des prix mondiaux des produits végétaux jusqu'en 2017. Indice 1996=1 (Source : rapport OCDE/FAO)

- \* OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques
- \* FAO : Organisation des Nations unies pour l'Agriculture

# 1. Etude des processus pour identifier des stratégies d'adaptation à la sécheresse

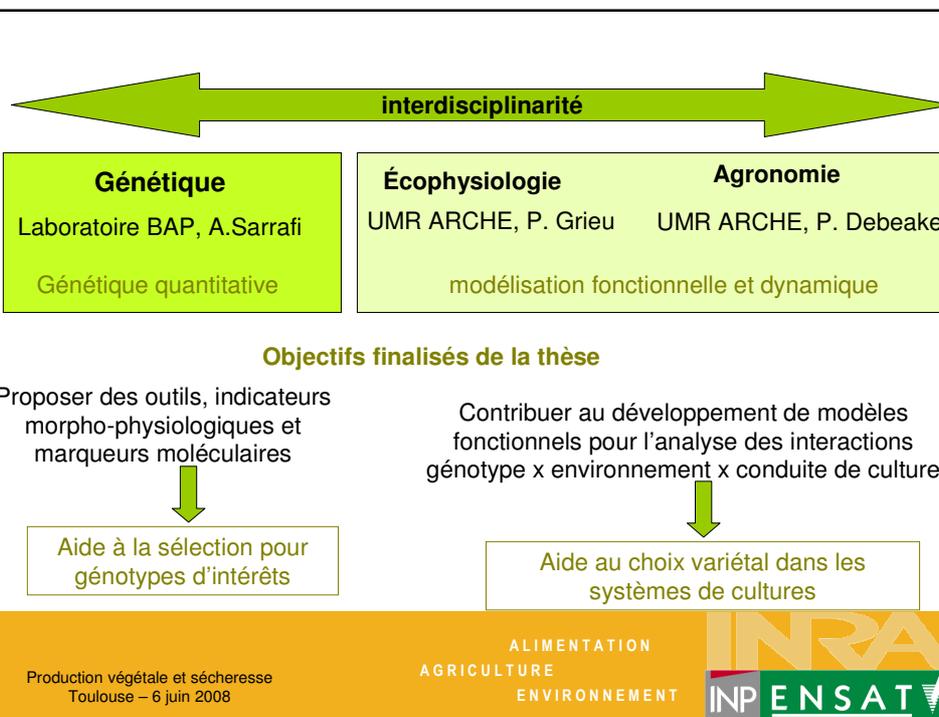
Quelques minutes : conductance stomatique (gs) et *conductivité hydraulique (aquaporines,...)*

Quelques heures à quelques jours : maintien de la turgescence (processus métaboliques, ajustement osmotique)

Quelques semaines : réduction de la surface foliaire, sénescence

Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



Production végétale et sécheresse  
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



## Effet de la sécheresse sur la croissance

Variables (ou traits) 'agronomiques'

**Phénologie**

**Architecture : SF, hauteur, diamètre**

**LAI**

**Sénescence : LAD**

**Biomasse, Rendement**



**FORTE INTERACTION  
AVEC LA SECHERESSE**