

Carrefours
de l'innovation
agronomique

Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique avec le modèle

STICS

pour comparer des stratégies et anticiper les changements climatiques

Nadine Brisson



Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

introduction

● Le changement climatique provoque une modification des interactions culture – eau

- Amplification des différences de pluviométrie Nord/Sud et entre saisons
- Augmentation de température (bouleverse cycles, ETP)
- Augmentation [CO₂] (fermeture stomatique, augmentation feuillage)

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

introduction

● Pourquoi recourir à la modélisation de culture ? SI VALIDÉE....

- Répétitivité (expérimentation numérique)
 - Spatiale
 - temporelle
- Utilisation des scénarios de changement climatique
 - Expérimentation impossible
- Atouts...
 - Prise en compte des multiples interactions (climat, sol, physiologie, agronomie)
 - Accès à des variables explicatives (sol, microclimat, agrophysiologie)

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



● plateforme de modélisation de culture “production et bilans environnementaux”

- Générique (24 plantes)

| | | |
|-----------------------|-----------|---------------|
| Blé | Tournesol | Canne à sucre |
| Maïs | Colza | Salade |
| Vigne | Sorgho | Betterave |
| Graminées fourragères | Pois | Lin |
| Tomate | Orge | Moutarde ... |

- inter-instituts (INRA, ..., ARVALIS, CETIOM, ITV..., Agrotransferts)
- Reprend connaissances écophysiologiques et agronomiques
- Systèmes de culture (pratiques, successions, intercultures...)
- Impacts directs et indirects du changement climatique et adaptation des pratiques
- Pas stress biotiques (pathogènes, adventices)

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



Introduction : plan de l'exposé

- **Comment modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique ?**
 - Modéliser la contrainte
 - Modéliser l'effet de la contrainte sur les plantes
 - Tenir compte des pratiques qui jouent sur la contrainte

- **STICS : outil de prospective sur la question « agriculture et sécheresse »**
 - Analyse pédoclimatique
 - Analyse agricole
 - « Science fiction »

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

● Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique la contrainte

- **Modéliser la contrainte**
 - Demande climatique
 - Offre en eau du sol
 - Capacité de la plante à extraire l'eau (enracinement)

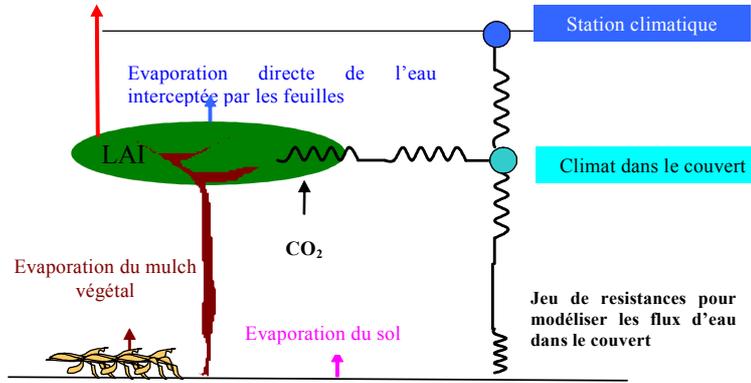
Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

● Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique
la contrainte
la demande climatique

Transpiration maximale

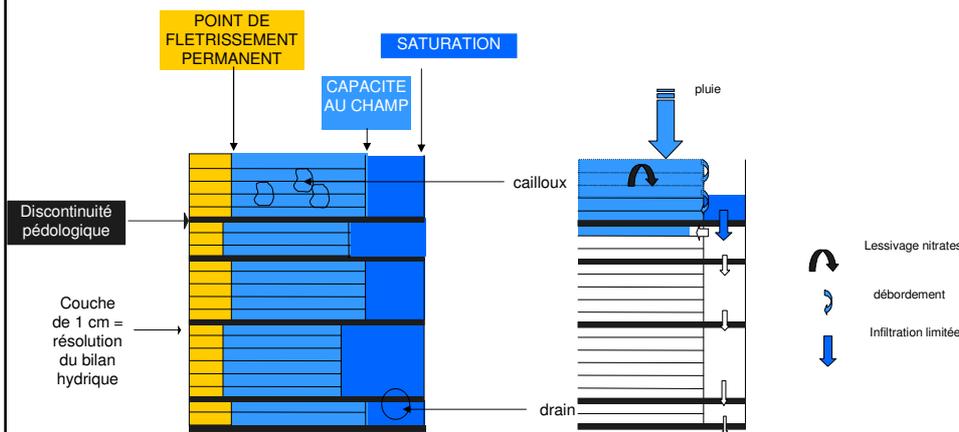


Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



● Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique
la contrainte
l'offre en eau du sol



Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



- Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique
- la contrainte
enracinement



sorgho



maïs

- Capacité à satisfaire globalement la demande climatique (T/TM)
- Adéquation locale dans le profil racine/eau (capture petites pluies)

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



- Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique
- Modéliser l'effet de la contrainte sur la culture

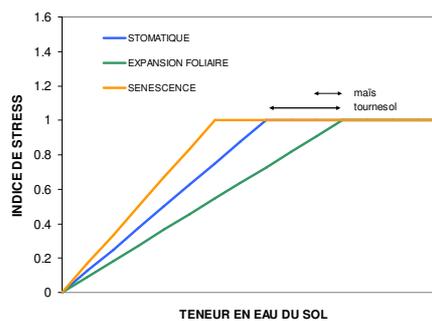
● Effets directs

- Expansion foliaire
- Fermeture stomatique
- Sénescence

● Effets indirects

- Élévation de la température du couvert (phénologie)
- stress azoté
 - Eau : transporteurs des molécules azotées vers les racines
 - Arrêt de la minéralisation

● Combinaison d'effets agit sur le rendement



Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



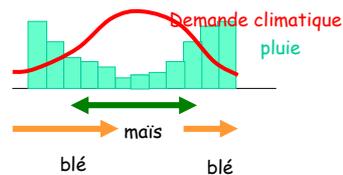
● Modéliser la réponse des cultures à la contrainte hydrique
Tenir compte des pratiques pour faire face à la contrainte

● Irrigation

- Automatique pilotée par l'indice de stress hydrique
- Sur ou sous-frondaison, goutte-à-goutte (évaporations directes évitées)
- Fréquence/quantité : rôle du mulch naturel, infiltrabilité, profondeur sol

● Utiliser au mieux les eaux de pluie

- Favoriser le stockage, éviter le ruissellement (labour, tassement, mulch végétal)
- Positionnement du cycle de culture



● Gestion de la fertilisation

- Eviter le lessivage
- Eviter exubérance du feuillage en début de cycle pour économiser l'eau (rationnement)

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

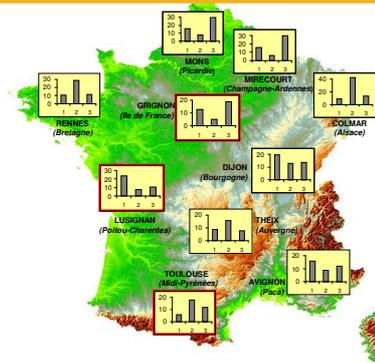


STICS : outil de prospective « agriculture et sécheresse »

● Etude réalisée en marge de l'expertise collective (2006)

● Protocole

- Représentation de la variabilité climatique et édaphique (10 régions)
- Simulations « pédoclimatiques »
 - Sol nu (restitution maxi)
 - Prairie pluviale (déstockage maxi)
 - Prairie irriguée (besoins en eau)
- Simulations « agricoles »
 - 3 régions
 - 3 systèmes (A= irrigation totale, B=irrigation d'appoint, C = pluvial)



| Région | Ile de France | | | Midi Pyrénées | | | Poitou Charentes | | |
|----------|---------------|------------|------------|---------------|---------|-----------|------------------|------------|------------|
| Rotation | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| | Mais | Colza | Tournesol | Mais | Blé dur | Blé dur | Mais | Colza | Tournesol |
| | Blé dur | Blé tendre | Blé tendre | Blé dur | Ble dur | Tournesol | Ble tendre | Ble tendre | Ble tendre |
| | Betterave | Escourgeon | Pois | Sorgho | | | Escourgeon | Escourgeon | |
| | Ble tendre | | Ble tendre | | | | | | |

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

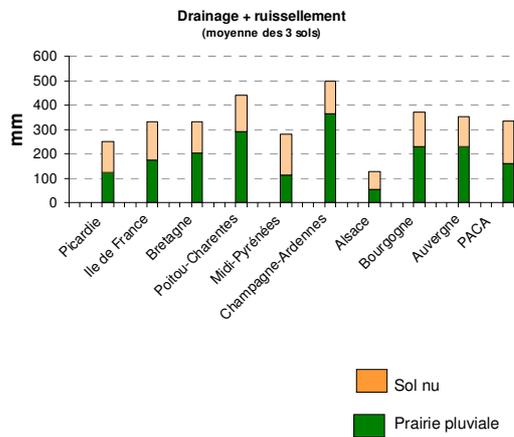
ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



STICS : outil de prospective « agriculture et sécheresse »

● Etude pédoclimatique : restitution au milieu

- Variabilité climatique spatiale (150 à 500 mm/an)
- Différences entre sol nu (borne maxi) et prairie pluviale (borne mini) est de 70 à 170 mm/an



Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

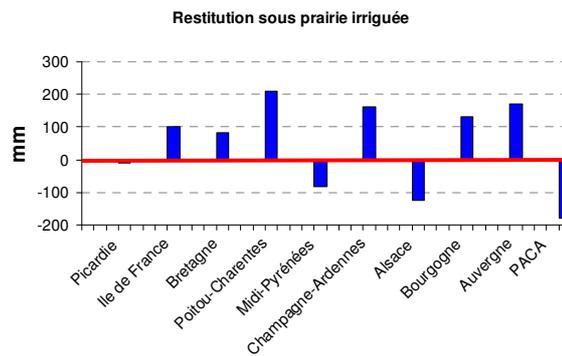
ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



STICS : outil de prospective « agriculture et sécheresse »

● Etude pédoclimatique : restitution au milieu

- Irrigation « potentiellement déficitaire » dans un nombre limitée de régions étudiées (attention pas toutes !)



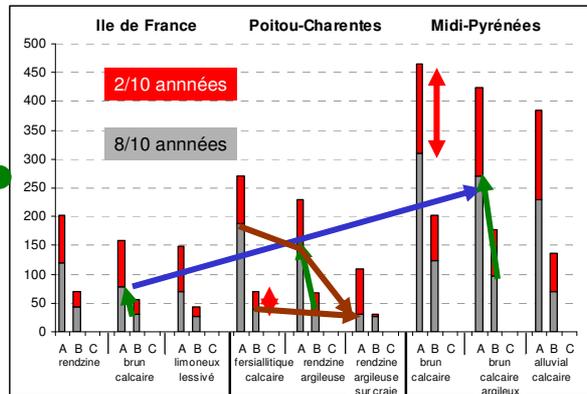
Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



STICS : outil de prospective « agriculture et sécheresse »

- Etude agricole par système
- Variabilité de l'irrigation
 - Par région ●
 - Par système de cultures ●
 - Par type de sol ●
 - Interannuelle ●



Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



STICS : outil de prospective « agriculture et sécheresse »

● Etude agricole par culture : la production

| Région | Ile de France | Poitou-Charentes | Midi-Pyrénées |
|------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Sol t ha ⁻¹ | sol limoneux lessivé | rendzine argileuse sur craie | sol alluvial calcaire |
| 14-15 | ◀ betterave | | |
| 13-14 | | | |
| 12-13 | | | |
| 11-12 | | | |
| 10-11 | | | |
| 9-10 | | | ◀ maïs |
| 8-9 | | ◀ maïs | |
| 7-8 | ◀ maïs | | |
| 6-7 | ◀ blé | ◀ blé | ◀ blé |
| 5-6 | | | |
| 4-5 | | | ◀ sorgho |
| 3-4 | ◀ escourgeon | ◀ escourgeon | |
| 2-3 | ◀ pois, colza, tournesol | ◀ colza | |
| 0-2 | | ◀ tournesol | ◀ tournesol |

- Maïs productif
- Encadré par Betterave et Blé
- Sorgho moins car système B

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



STICS : outil de prospective « agriculture et sécheresse »

● Etude agricole par culture : l'eau

| Région mm | Ile de France sol limoneux lessivé | | Poitou-Charentes rendzine argileuse sur craie | | Midi-Pyrénées sol alluvial calcaire | |
|--------------|---------------------------------------|------------|--|------------|--|-------------|
| | Consommation | Irrigation | Consommation | Irrigation | Consommation | Irrigation |
| 600-649 | | | | | ◀ maïs | |
| 550-599 | | | | | | |
| 500-549 | ◀ betterave | | | | | ◀ sorgho |
| 450-499 | | | ◀ maïs | | | ◀ blé dur |
| 400-449 | ◀ maïs | | | | | |
| | ◀ blé tendre | | ◀ blé tendre | | | |
| 350-399 | ◀ colza | | ◀ colza | | | |
| | ◀ escourgeon | | ◀ escourgeon | | | ◀ tournesol |
| | ◀ blé dur | | ◀ tournesol | | | |
| 300-349 | | | | | | |
| 250-299 | ◀ tournesol | | | | | ◀ maïs |
| 200-249 | ◀ pois | | | | | |
| 150-199 | ◀ betterave | | | | | |
| 100-149 | ◀ maïs | | | | | |
| 50-99 | ◀ blé | | ◀ blé tendre | | | ◀ sorgho |
| | ◀ colza | | ◀ tournesol, colza | | | ◀ blé dur |
| 0-49 | ◀ tournesol | | ◀ tournesol, colza | | | ◀ tournesol |
| | ◀ escourgeon, pois | | ◀ escourgeon | | | |

- Maïs : culture consommatrice en eau
- 30 à 50 % de ses besoins = irrigation
- Gradient nord-sud
- Sorgho, blé consomment moins et nécessitent un moindre recours à l'irrigation
- efficacité de l'eau égale ou supérieure à celle du maïs

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

STICS : outil de prospective « agriculture et sécheresse »

● Science fiction : si les sécheresses s'accroissaient.....

- Protocole : comparaison de 2 séries climatiques
 - 1972-2005
 - 30 années constituées par tirage au sort des années 2003, 2004 et 2005.
- Poitou-Charentes sur rendzine argileuse (sol médian)
- Extrêmes : prairie irriguée, sol nu
- 3 systèmes de cultures : A, B et C

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

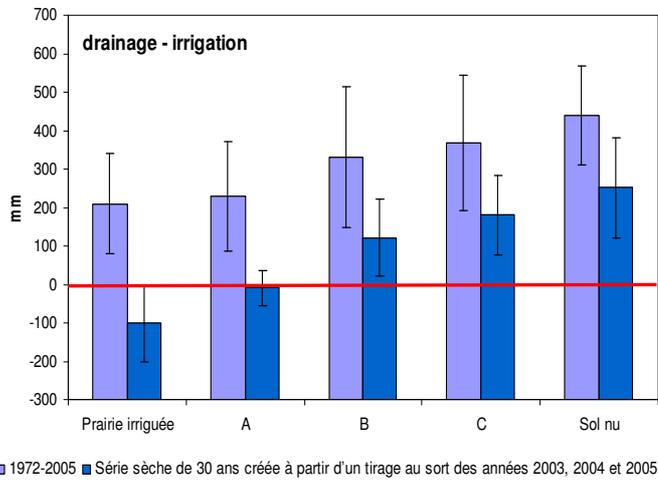
ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

STICS : outil de prospective « agriculture et sécheresse »

Science fiction : si les sécheresses s'accroissent

- Restitution au milieu
 - Diminution de plus de 150 mm/an
 - Les systèmes fortement irrigués risquent de devenir déficitaires



Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

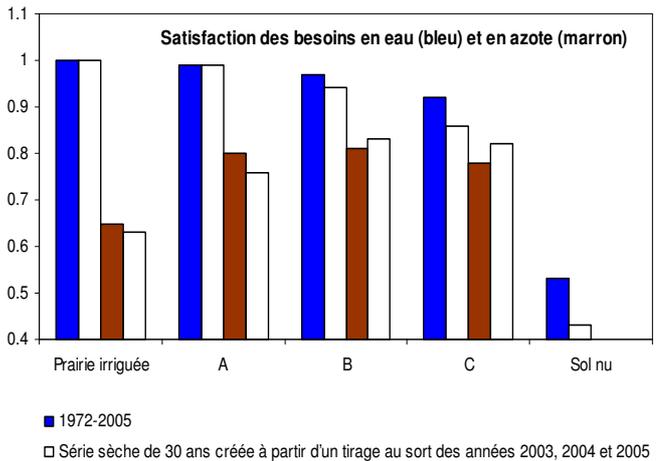
ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



STICS : outil de prospective « agriculture et sécheresse »

Science fiction : si les sécheresses s'accroissent

- Fonctionnement des couverts
 - Accentuation stress hydrique pour les systèmes B et C
 - Stress azotés pour les systèmes A : lessivage nitrates



Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



CONCLUSION

● Intérêts de la modélisation

- Reproduire interactions complexes qui régissent le fonctionnement hydrique des systèmes de cultures
- En représenter la variabilité spatiale et temporelle
- Ordre de grandeurs des variables clés du bilan hydrique
- Hiérarchisation des facteurs de variation (sol, climat, système)
- Prospective

● Limites : il peut exister des écarts avec une réalité agricole précise

- Conditions pédoclimatiques différentes
- Mécanismes non pris en compte : bioagresseurs par exemple

● Rôle prospectif de STICS

- utilisés dans plusieurs projets : ANR-ADD, ANR-VMC, CASDAR
- En particulier le projet CLIMATOR (avec d'autres modèles)
 - Impact du changement climatique sur l'agriculture
 - Adaptations techniques envisageable pour plusieurs systèmes prégnants

Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

Carrefours
de l'innovation
agronomique

Merci de votre attention!



Production végétale et sécheresse
Toulouse – 6 juin 2008

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA