

# POUR UNE GESTION ÉCONOME ET DURABLE DE L'IRRIGATION EN MIDI-PYRÉNÉES

## Colloque de restitution du projet Casdar Eau Midi-Pyrénées

Jeudi 26 mai 2011  
Lycée agricole d'Ondes (31)  
2<sup>ème</sup> partie

Projet piloté par



Et a associé



Avec la contribution financière de








# SOMMAIRE


- Efficience de l'eau - P. RUELLE
- Adaptation des assolements des exploitations irriguées aux évolutions de contexte : démarche participative et outils de simulations
  - Résultats des simulations LORA - S MARSAC
  - Un nouvel outil en construction - JE BERGEZ
- Recherche de stratégies de conduite d'irrigation par culture
  - Démarche générique et application au maïs - B LACROIX
  - Application au tournesol - L CHAMPOLIVIER
  - Application au blé dur - JE BERGEZ
  - Les références pour le sorgho - JM DEUMIER
  - Les références pour le soja - L CHAMPOLIVIER
- Conclusion sur le projet - JM DEUMIER

**Conclusion de la journée par Henri-Bernard CARTIER**





## Efficience de l'eau à l'échelle de l'exploitation agricole



Jacques Granier – Laurent Huet – Pierre Ruelle  
Cemagref UMR G-eau

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 1 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes

## Origine du problème

*On a de grosses difficultés pour faire un bilan précis  
des consommations d'eau sur l'exploitation agricole*

$$\Sigma (\text{Dose à la parcelle} \times \text{Surface}) \# \text{Volume total sur l'exploitation}$$

Définie par  
les réglages

Mesuré au  
compteur

- Mauvaise efficience de l'eau ?
- Incertitude importante sur les mesures ?

- Comment calculer les doses d'irrigation ?
- Comment évaluer les pertes d'eau ?
- De quels facteurs dépendent-elles ?
- Peut-on améliorer les choses et comment ?

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 2 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes

## Définitions :



$$ED = \text{Efficience de la distribution} = V_{\text{buse}} / V_{\text{borne}}$$

Elle dépend des pertes dans le réseau de distribution à la parcelle (fuites sur conduites et raccords)

$$EA = \text{Efficience de l'application} = V_{\text{sol}} / V_{\text{buse}}$$

Elle dépend des pertes dans l'atmosphère (évaporation directe ou transport par le vent)

Vsol: volume mesuré au sol    Vbuse: volume délivré à l'arroseur    Vborne: volume délivré à la borne

## Peut-on proposer une méthode simple pour l'évaluation de l'efficience à la parcelle « en conditions réelles » ?

*Dans tous les cas, il s'agira de comparer les volumes d'eau mesurés à l'entrée et à la sortie du système*

### **Efficience de la distribution = ED**

*Evaluation des fuites par différence des mesures de débit amont/aval*

### **Efficience de l'application = EA**

*Comparaison des volumes délivrés par l'arroseur avec des mesures de pluviométrie au sol*

**L'incertitude sur les mesures amont et aval est bien souvent d'un ordre de grandeur comparable à la différence (les pertes !!)**

## Mesure de l'efficacité in situ

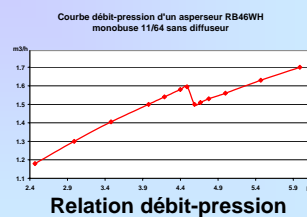
Débits mesurés au débitmètre à ultrasons



Mesure des pressions à l'arroseur



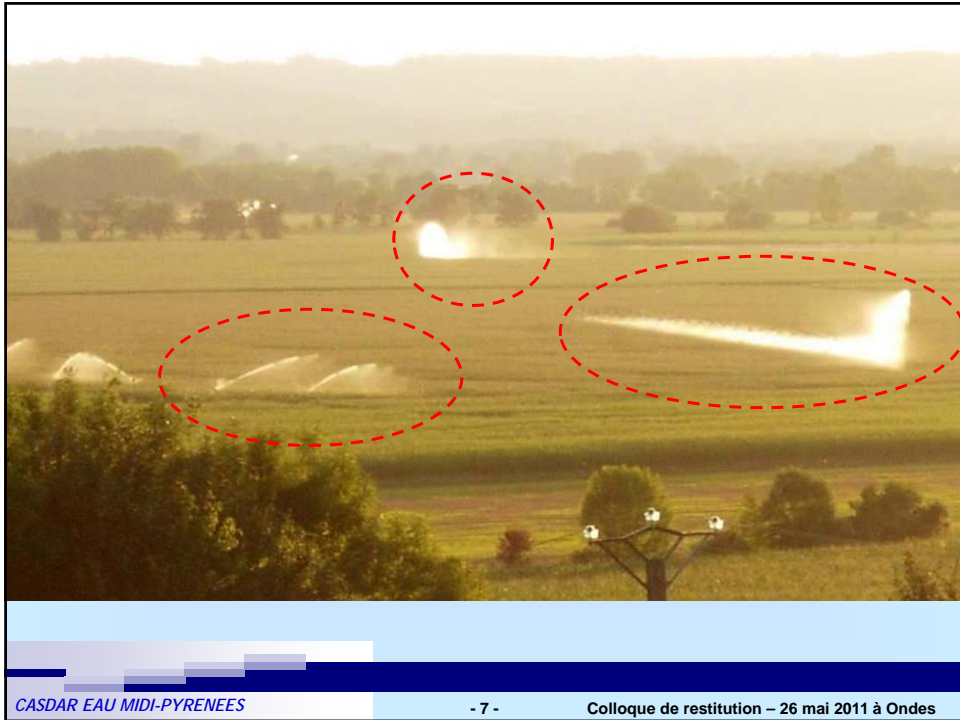
Mesure des pluviométries au sol



## Quelques points importants pour maîtriser la précision de la mesure

- **Suivre en continu les variations de débits et de pressions**
- **Tenir compte de la variation de la vitesse des appareils mobiles (enrouleurs et pivots)**
- **Mesurer avec soin les superficies arrosées**
- **Apporter un soin particulier à la mesure de la pluviométrie au sol**
  - *Position des pluviomètres (densité, horizontalité...)*
  - *Maîtrise des pertes au cours de la mesure*
  - *Technique de mesure des volumes d'eau reçus (pesée, éprouvette...)*
- **Tenir compte de l'hétérogénéité spatiale**
- **Perturbations liées au vent**





**Quelques résultats 2008-2010...**

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 8 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes



## Efficiencce de l'application :

### Couverture intégrale (ASA de la Saudrune)

Exemple sur une parcelle équipée en 18m x 18m  
(asperseurs RB46 à 4.5-5.0 bar)

5 juillet 2010 : vent 2.5 à 3 m/s

**Efficiencce = 83% ( 6%)**

7 juillet 2010 : vent de 0.5 à 1 m/s

**Efficiencce = 93% ( 6%)**



## Répartition pluviométrique en couverture intégrale

5 juillet 2010

vent de 2.5 à 3 m/s

**CUC = 43%**

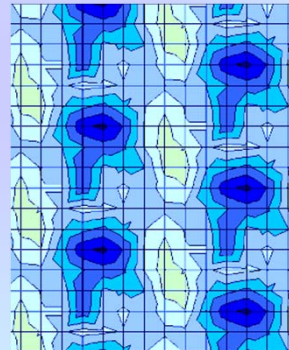
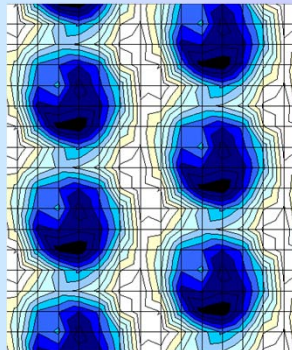
**(Efficiencce = 83%)**

7 juillet 2010

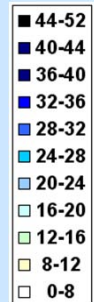
vent de 0.5 à 1 m/s

**CUC = 80%**

**(Efficiencce = 93%)**



mm



## Efficienc e de l'application : Enrouleurs (ASA de La Baysole)

16 juillet 2008 : de jour et vent moyen  
Enrouleur Irrimec 100x470  
Canon SR150 24 avec buse 22.9mm  
**Efficienc e = 80% ( 4%)**



6 juillet 2009: de nuit et vent faible  
Enrouleur Irrifrance 90x340  
Canon SR100 21 buse 22mm  
**Efficienc e = 95% ( 2%)**



18 juin 2009: de jour et vent faible  
Enrouleur Bazille 100x400  
Canon SR100 21 buse 22mm  
**Efficienc e = 94% ( 2%)**



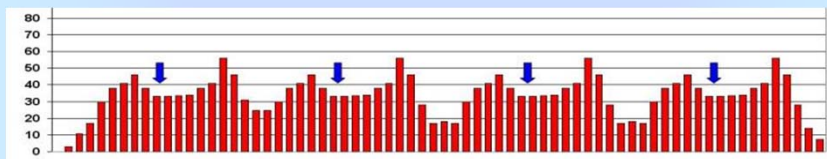
## Répartitions pluviométriques des enrouleurs

16 juillet 2008 : de jour et vent moyen

Dose objectif : 38mm  
Ecartement : 87m (=1.85\*P)

**CUC = 79%**

**Efficienc e = 80%**

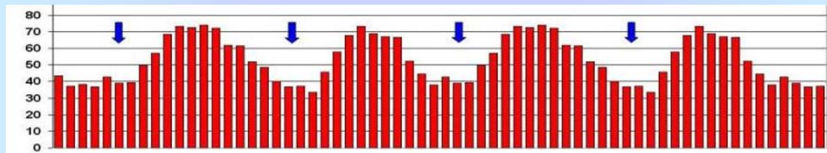


6 juillet 2009: de nuit et vent faible

Dose objectif : 40mm  
Ecartement : 60m (=1.40\*P)

**CUC = 76%**

**Efficienc e = 95%**



## Efficiency of the application :

### Pivot 2 de l'ASA de Sauveterre

Mesures sur les 2 dernières travées + porte-à-faux + canon  
soit 70% de la superficie irriguée par le pivot (40ha)

21 juillet 2009: vent 1 à 2 m/s

**Efficiency = 92% ( 8%)**

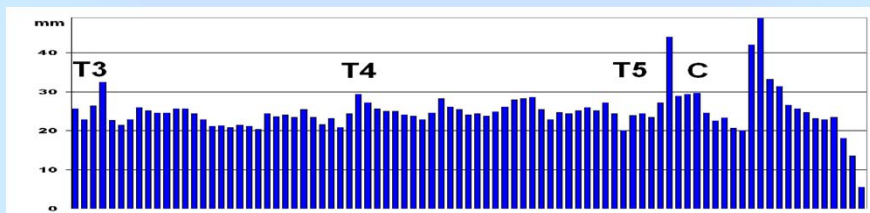
11 août 2010: vent 2.5 à 3 m/s

**Efficiency = 94% ( 8%)**

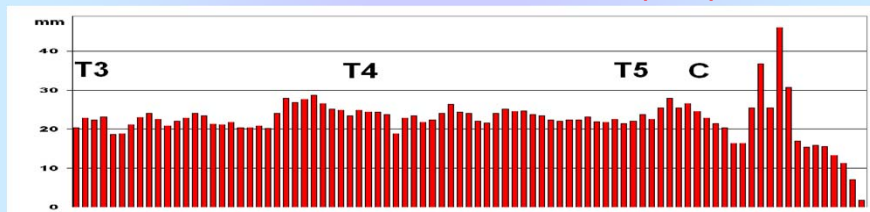


## Répartitions pluviométriques du pivot 2

21 juillet 2009: vent 1 à 2 m/s **Efficiency = 92% ( 8%) CUC = 86%**



11 août 2010: vent 2.5 à 3 m/s **Efficiency = 94% ( 8%) CUC = 84%**



## Efficienne de l'application :

- ✓ *Les résultats obtenus sont en concordance avec les acquis de la littérature*
- ✓ *L'estimation précise de l'efficience de l'application est difficile et exigeante (en temps et en moyens)*
- ✓ *La taille des gouttes et le vent sont responsables de l'essentiel des pertes d'eau*
- ✓ *La couverture intégrale peut être sujette à des pertes importantes par dérive, surtout :*
  - *avec des pressions élevées;*
  - *avec des buses de petit diamètre*
- ✓ *Les canons sont moins sujets aux pertes par dérive*

## Les facteurs qui peuvent dégrader l'efficience de l'application

	Couverture intégrale	Enrouleurs	Pivots
<b>Taille des gouttes</b>	Oui	Très peu	Au centre
<b>Vent</b>	Beaucoup	Oui	Assez peu
<b>Pression</b>	Beaucoup	Un peu	Oui
<b>Buse</b>	Oui	Très peu	Au centre
<b>Parcelle</b>	Assez peu	Départ-arrivée	Périphérie

## Efficiencce de la distribution :



## Efficiencce de la distribution :

- ✓ **Les pertes dans le système de distribution à la parcelle sont très variables :**
  - **En couverture intégrale, les fuites peuvent être nombreuses et de petit débit ;**
  - **Pour les enrouleurs et les pivots, il s'agit en général de fuites « accidentelles » plus faciles à identifier**
- ✓ **La vétusté du matériel, son entretien, influencent plus ou moins l'efficiencce de la distribution**
- ✓ **Selon la topographie et le parcellaire, les fuites peuvent parfois être moins visibles**

## La méthode de mesure de l'efficacité : conclusions

Un protocole de mesure a pu être formalisé pour chaque type de matériel :


- ✓ En couverture intégrale :
  - La mesure est lourde, et les risques de sous-estimation de l'efficacité sont importants
- ✓ Pour les enrouleurs :
  - La mesure est plus aisée, mais le niveau d'efficacité est plus facile à maîtriser
- ✓ Pour les pivots :
  - Seule la mesure sur les travées d'extrémité, le porte-à-faux et le canon, sont envisageables facilement

*Dans tous les cas, la maîtrise des incertitudes est un point capital*

## Perspectives

***L'efficacité de l'irrigation n'est pas le seul critère à prendre en compte pour évaluer un système d'irrigation***

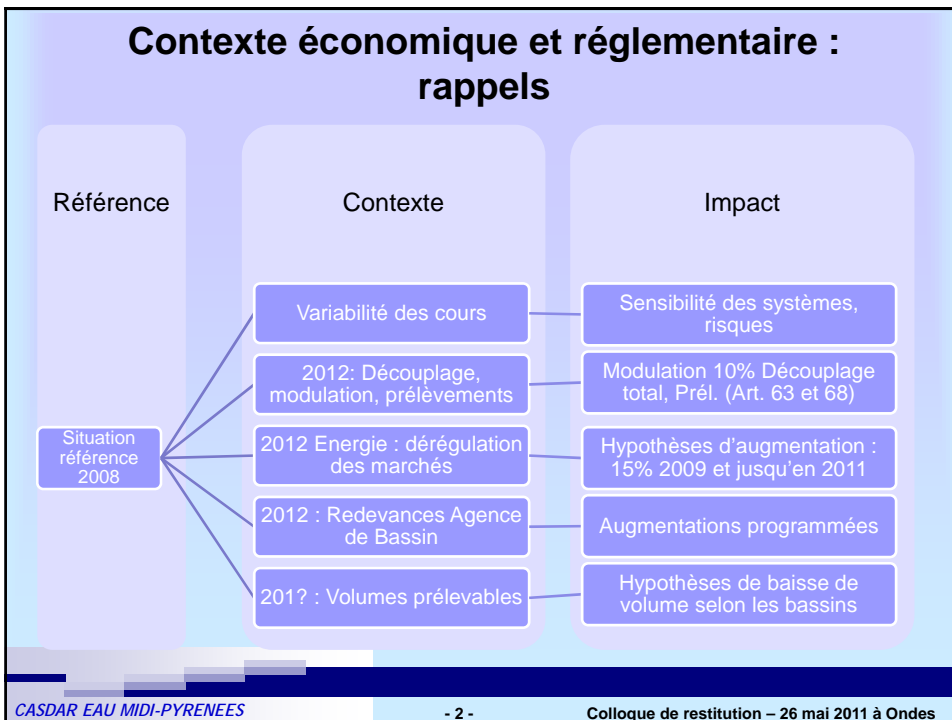
- ✓ ***La qualité de l'apport d'eau améliore sa productivité***
  - ✓ *Uniformité de répartition / vent*
  - ✓ *Taille des gouttes / énergie cinétique*
- ✓ ***L'efficacité énergétique devient une contrainte forte***
  - ✓ *La mise en pression de l'eau perdue est également de l'énergie perdue*
  - ✓ *Il est parfois difficile de concilier efficacité hydraulique et efficacité énergétique*



# Assolements : Voie d'adaptation ?

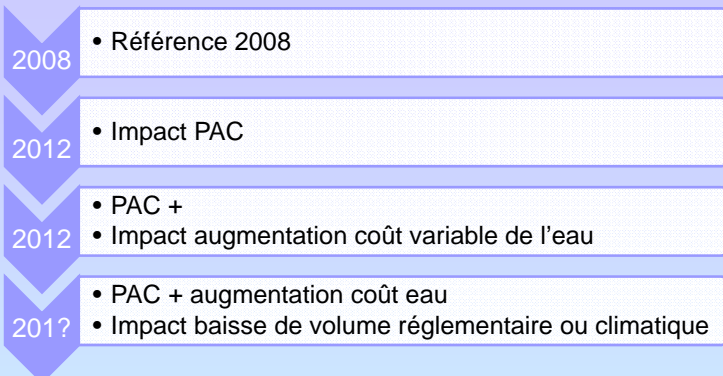
Sylvain MARSAC  
ARVALIS – Institut du végétal

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 1 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes





## Scénarios Simulés : Mesures d'impact, Adaptation d'assolement



Impacts Volatilité des prix

## Déroulement

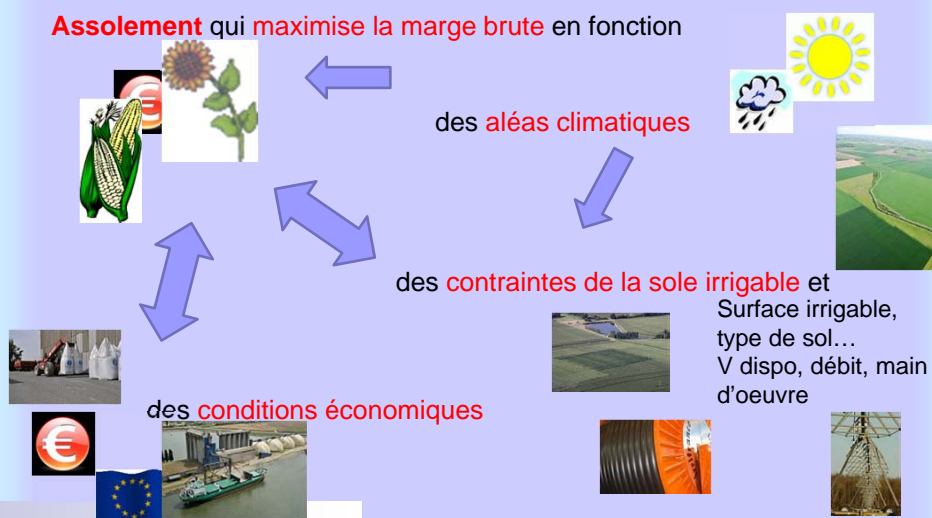
- Le processus de simulation:
  - Construction des scénarios
  - Outil LORA :
    - bases de données, modèles agronomiques
    - utilisation
- Résultats :
  - Les mesures d'impact
  - L'optimisation d'assolement

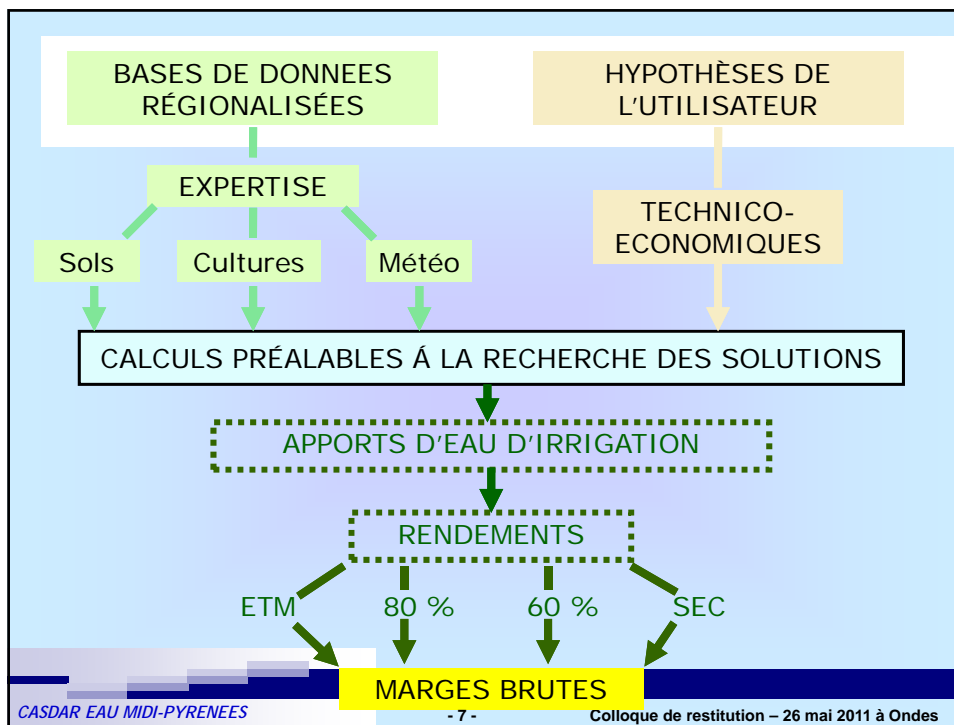
## Processus de simulation

- Des scénarios co-construits
  - Agriculteurs, CDA, CACG...
  - Hypothèses volumes, économiques
- 2008 : typologies d'exploitation et de fonctionnement
  - Connaissance de chaque exploitation
  - Référencement de données agronomiques pour le modèle LORA
- 2009 – 2010 enquêtes exploitations simulées plus poussées
  - Connaissances approfondie des contraintes de chaque bloc, des ressources, de la main d'œuvre...
  - 2 réunions / an :
    - précision des scénarios
    - Retour de résultats et précision des scénarios

## LORA : Logiciel d'optimisation et de recherche d'assolement

**Assolement** qui maximise la marge brute en fonction

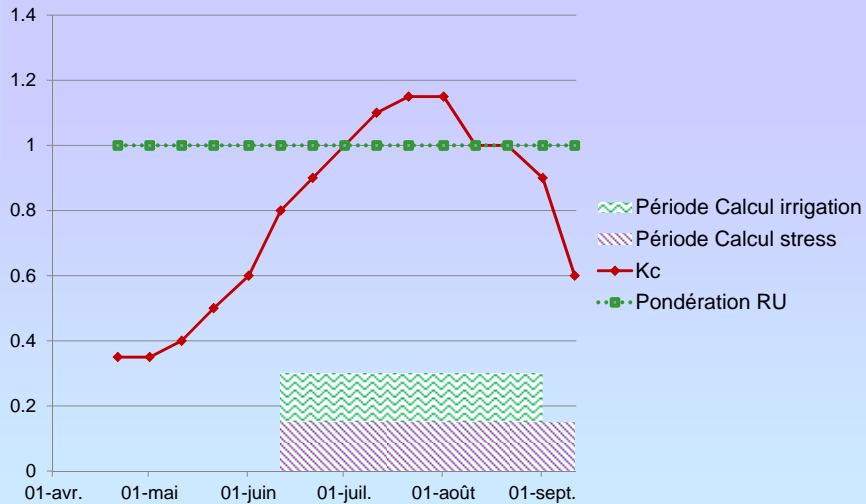




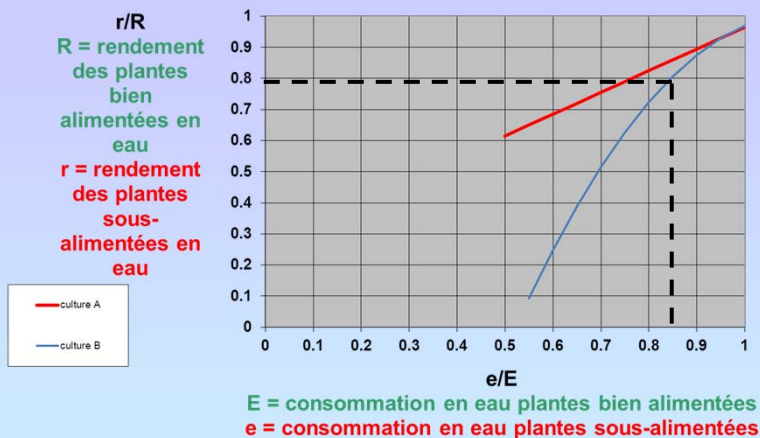
- ## Le contenu des bases LORA
- Des bases régionalisées:
    - Cultures candidates
      - Rendement potentiel
      - Charges opérationnelles
      - Prix des produits
      - Cycles des cultures
    - Stations météo
    - Type de sol : RU, RFU, R survie
  - Des calculs de Bilan hydrique décadaire
  - Une **co-construction** des bases de données
    - **Agriculteurs** ASA
    - **Conseillers** Chambre d'agriculture
    - Experts régionaux ARVALIS
    - Types de sol représentatifs
    - Cultures candidates
    - Potentiel des cultures
    - Références économiques...
- CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 8 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes

## Le contenu des bases LORA

Cycle cultural d'une culture de maïs : Kc, irrigation....



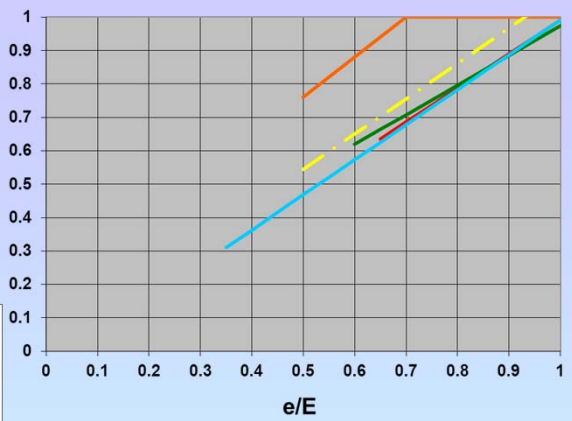
## Le contenu des bases LORA : Calcul du rendement des cultures pour chaque régime hydrique : fonction de production



## Fonctions de production actualisées à partir d'essais récents

$r/R$   
**R = rendement des plantes bien alimentées en eau**  
**r = rendement des plantes sous-alimentées en eau**

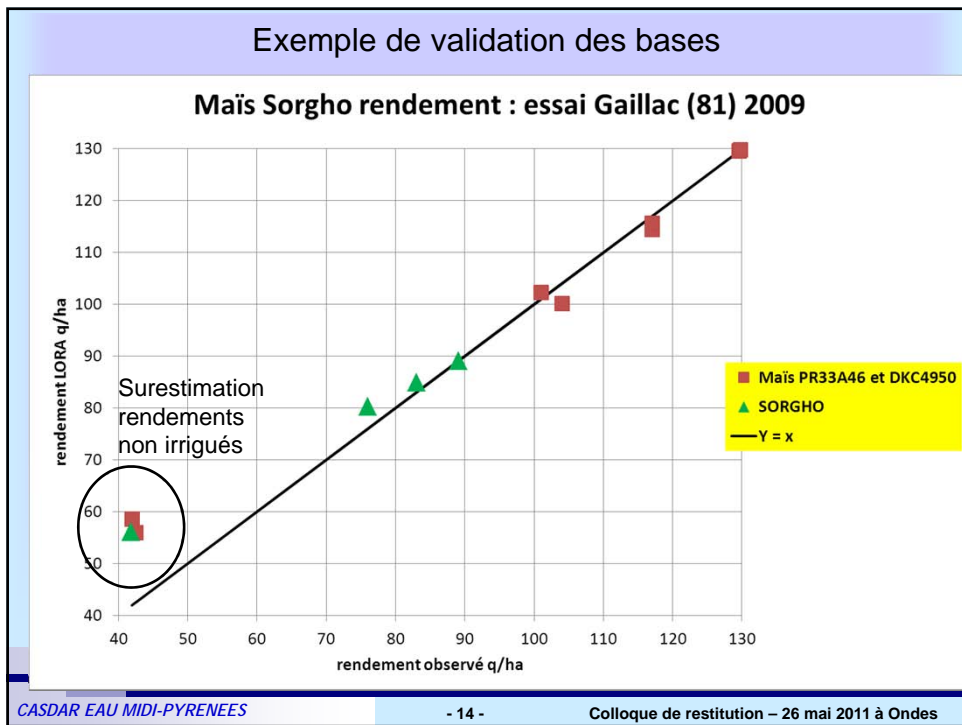
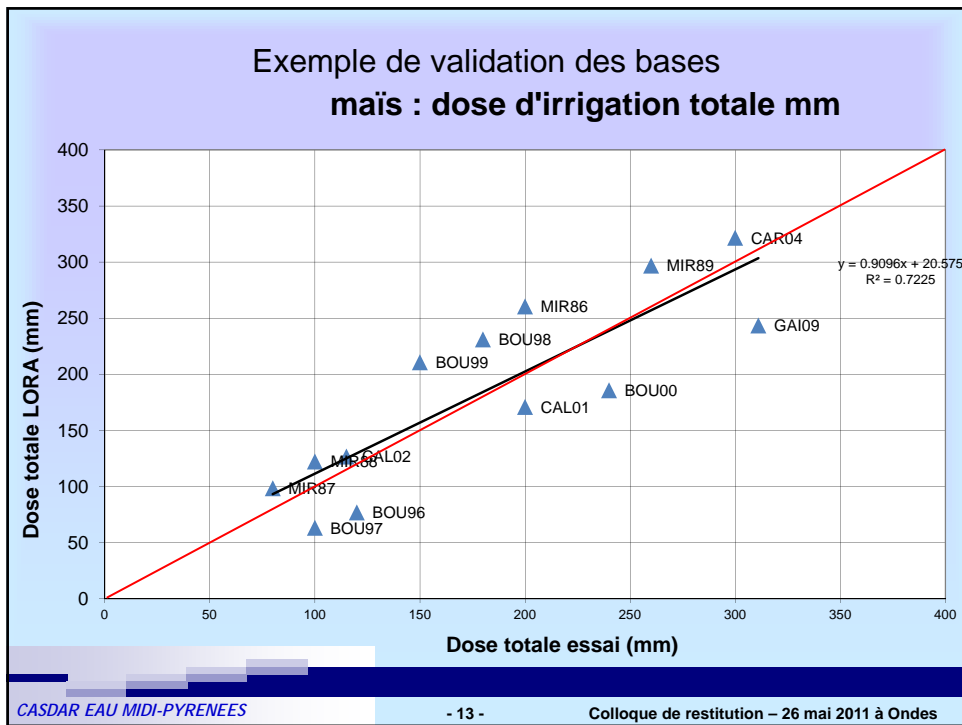
- blé épi 1 cm - maturité
- tournesol semis - maturité
- sorgho 10 f - Hpan 30%
- maïs 10f - H32%
- soja levée - maturité



**E = consommation en eau plantes bien alimentées**  
**e = consommation en eau plantes sous-alimentées**  
 tournesol, soja : référence CETIOM

## Des bases de données validées...

- Validation par la dose totale d'irrigation
- Validation par le rendement des cultures pour différents régimes hydriques
  - En utilisant :
  - ✓ des références locales : essais, expertises



## LORA : utilisations

- Sur demande auprès d'ARVALIS
- Utilisé avec des groupes d'irrigants
  - Réflexion en parallèle à des changements réglementaires
  - Réflexion sur orientations de systèmes de cultures irrigués (mise aux normes....)
- Accompagnés de conseillers
- Utilisation autonome et accès par serveur WEB :
  - <https://gateway.arvalis-fr.com/SecureGateway/auth/login.aspx>
- Formation et Encadrement méthodologique ARVALIS
  - Réunions échange:
    - Construction hypothèses
    - Analyse résultats

## Résultats des simulations

- **Hypothèses** détaillées par ASA
  - Volume initial et hypothèse baisse
  - Evolution coûts
  - Types de sols majoritaires
- Présentation d' ilot(s) représentatif (s) par ASA
  - Impacts
  - Adaptation d'assolements
    - Sensibilité
    - Généralisation à l'ASA
    - Grandes tendances

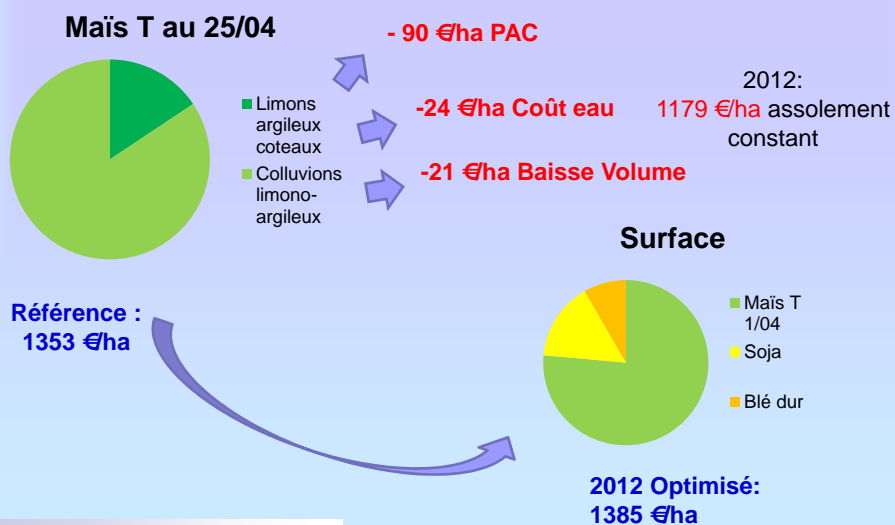


## Hypothèses

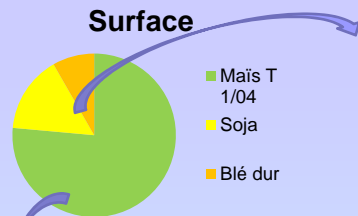
(Hypothèses prises en compte au cours du projet, déconnectées des volumes prélevables définitifs)

	Asa Sauveterre	Asa Baysole	ASA Saurune
V dispo initial (/ha souscrit)	1900 m <sup>3</sup> /ha	2100 m <sup>3</sup> /ha	3725 m <sup>3</sup> /ha
V Simulé	1500 m <sup>3</sup> /ha		3492 m <sup>3</sup> /ha
Baisse de V simulé	-21%		-6% (-38% sur réalimentation)
Autre hypothèse	Années sèches	Années sèches	Années sèches
Coût référence ct€/m <sup>3</sup>	3.7	3.2	2.3
Coût Simulé ct€/m <sup>3</sup>	5.7	5.1	3.7

## Mesures d'impacts : ASA Sauveterre Ex sur 1 ilot



## Sauveterre : Optimisation d'assolement et conduites de culture



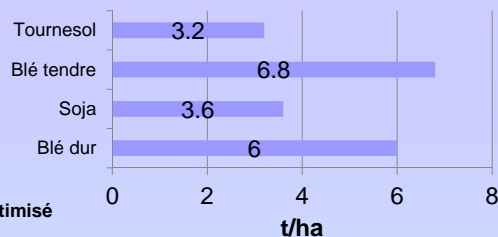
- ✓ Soja: intérêt agronomique et rotation
  - ✓ Technique de culture à développer
  - ✓ Irrigation légèrement limitante
- ✓ Blé dur : concurrence interventions phytosanitaires et semis du maïs
  - ✓ Risques atteinte rdts objectifs
  - ✓ Irrigation année sèches

- ✓ Semis plus précoces :
  - ✓ selon types de sol (Boulbènes, coteaux...)
  - ✓ Impacts sur coûts de séchage
  - ✓ Gestion des risques : décalage semis

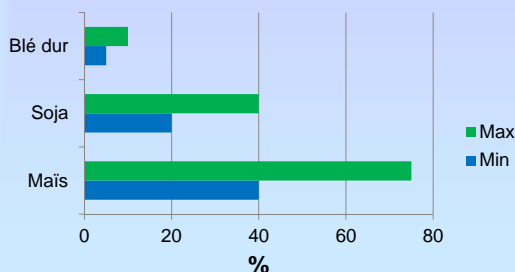
## Sauveterre : Analyse de sensibilité de l'adaptation d'assolement

Autres cultures maîtrisées?  
 Assolement Maïs, Soja, Blé T, Tournesol  
 → -15€/ha / Optimisé  
 → Semis maïs 20/04 – 01/04 = -20 €/ha

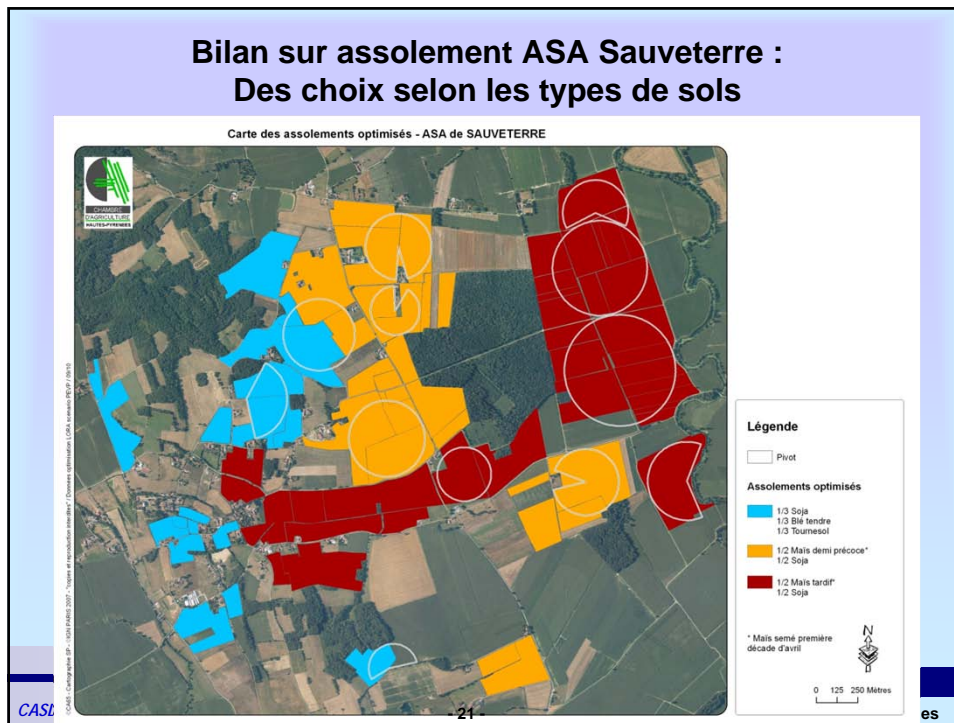
Rdt irrigué plancher



Part des cultures dans assolement optimisé



## Bilan sur assolement ASA Sauveterre : Des choix selon les types de sols

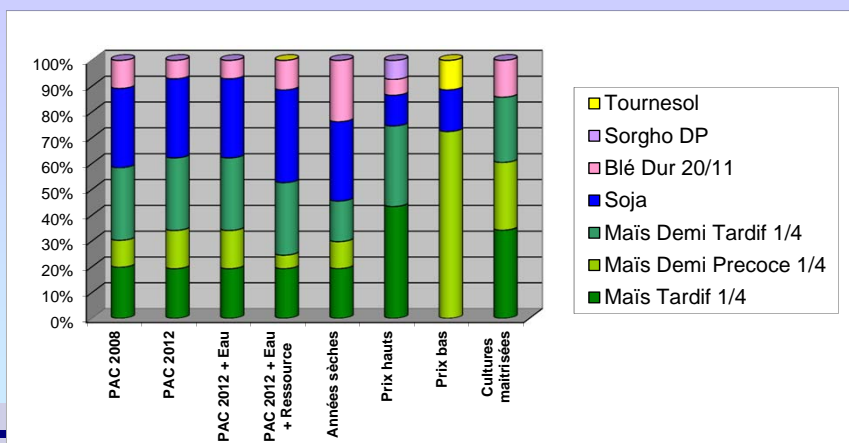


## Saudrune : ex exploitation 1

→ Assolement de base : 50 % maïs + Blé dur et Tournesol

Impacts : Débit parfois limitant

PAC : -76 €/ha  
 Prix de l'eau : -17 €/ha  
 Baisse ressource : -5 €/ha



### Sauдрune : ex exploitation 2

→ Assolement de base : 75 % maïs + Blé dur et Tournesol

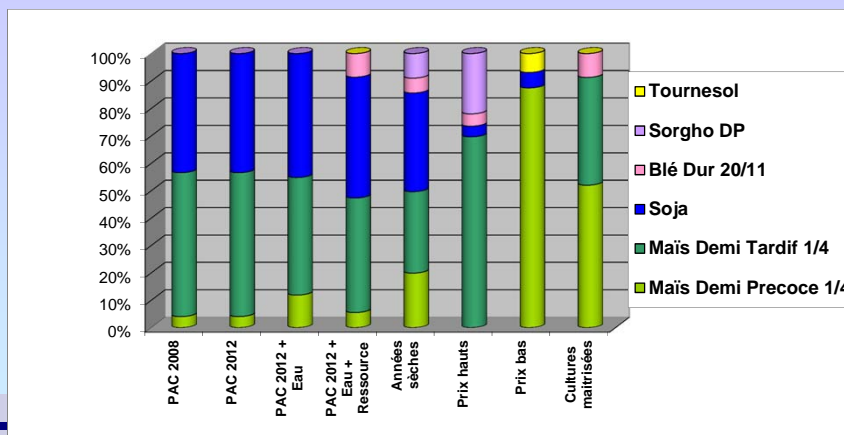
Impacts :

PAC : -90 €/ha

Prix de l'eau : -22 €/ha

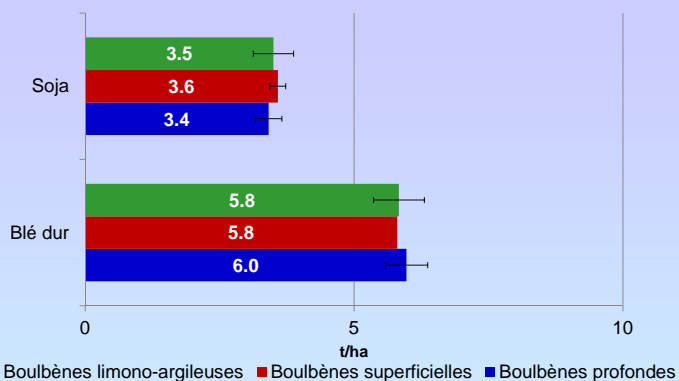
Baisse ressource : -15 €/ha

Débit peu limitant

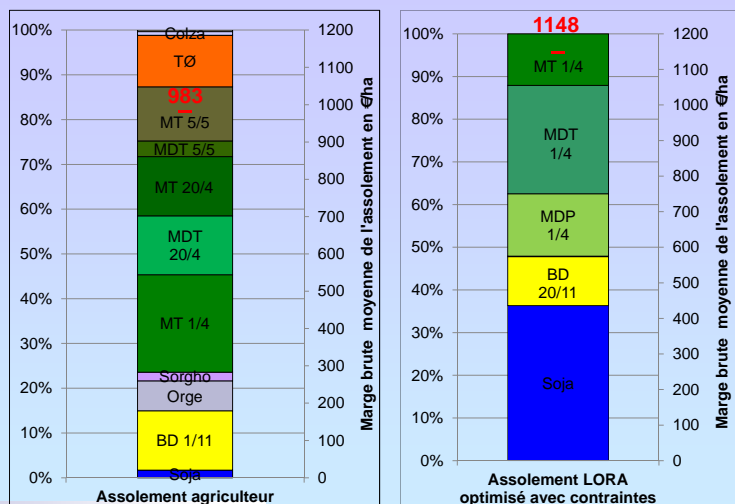


### ASA Sauдрune: sensibilité des assolements

Rendements irrigués plancher - ASA Sauдрune



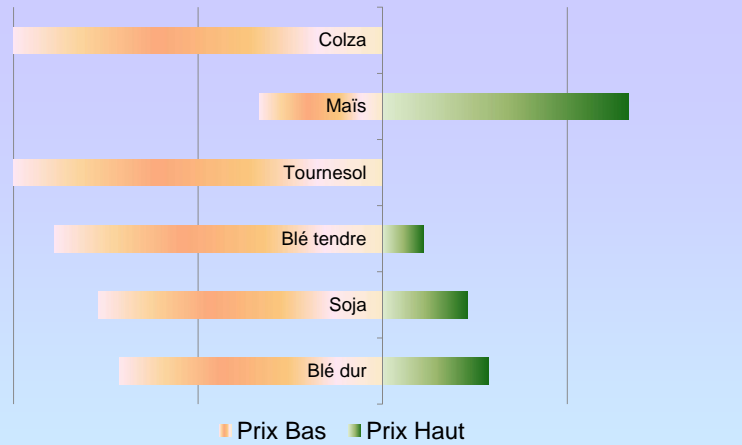
## Sole ASA Saudrune simulée



## ASA Baysole

- Assolement de base diversifié :
  - 40 % céréales à paille
  - Maïs, soja, tournesol....
  - Cultures spéciales
- PAC : - 70 à - 90 €/ha
- Augmentation coût de l'eau : 5 à 10 €/ha
- Adaptation assolements:
  - Tournesol, céréales, sorgho irrigués
  - Un large choix de cultures et de conduites
  - Risque moindre face aux aléas climatiques

### Ensemble des ASA : Impact Variation de Prix



### Ensemble des ASA : Impact années sèches récurrentes

- Perte de 20 à 40 €/ha supplémentaires selon secteur
- Diminution de la sole maïs
- Introduction de
  - Cultures d'hiver irriguées
  - Tournesol ou sorgho irrigué
- Impact moindre pour des assolements de base plus diversifiés

# Bilan

- PAC : 70 à 90 €/ha
- Coût de l'eau :
  - +5 à 30 €/ha selon les ASA
- Baisse de Volume
  - Perte de 5 à 20 €/ha selon hypothèses
  - Perte de 40 €/ha pour de fortes baisses (-38%)
- Adaptation assolement = 1 piste
  - Base de maïs avec conduites adaptées : précocité variétés et semis
  - Complément soja : intérêts agronomiques
  - Autres cultures irriguées selon sols : Blé dur, Tournesol, Sorgho



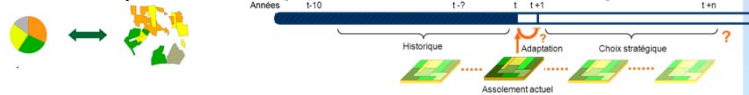


# CRASH: un simulateur d'assolement

(Crop rotation and allocation simulator using heuristics)

(J Dury, JE Bergez, A Reynaud, F Garcia)

- LORA: un premier pas pour comprendre et décider des assolements liés à des variations de climat, de prix et de disponibilité en eau, mais...
  - Un contexte **dynamique** et **incertain: dans le temps/volatilité**
  - Un processus de décision **pas uniquement rationnel complet**
  - Des **avancées** sur la simulation et la représentation de la décision
- Idée:
  - Revisiter l'assolement comme un processus dynamique d'attribution spatiale et temporelle de cultures sur des parcelles



- Profiter des avancées techniques et algorithmiques pour proposer une revisite de LORA

## Se baser sur des enquêtes

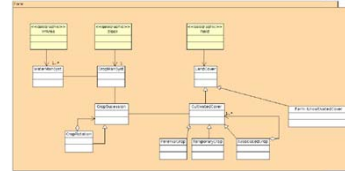
- Favoriser une diversité sur plusieurs régions en:
  - Mobilisant les acteurs régionaux
  - Se focalisant sur les systèmes irrigués
  - Mobilisant un cadre d'analyse et de simulation par enquêtes:
    - 3 régions: PC/Centre/MP
    - Approche conjointe d'analyses et de simulations de scénarios pour extraire des principes d'action



## Formaliser les résultats: UML + BDI



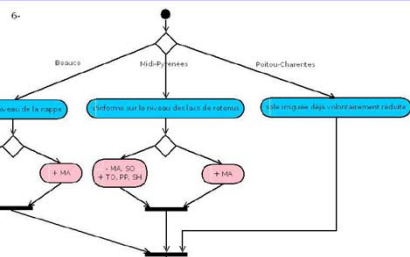
- Passer du spécifique (un agriculteur) à du générique (ontologie)
  - Diagramme de classe UML



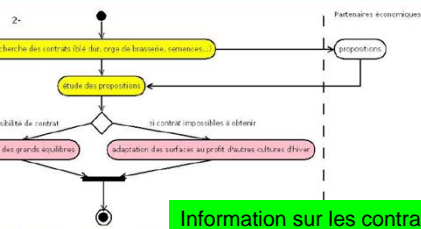
- Intégrer le « savoir » et « l'intention » de l'agriculteur
  - Le cadre d'analyse « Croyance » - « Désir » - « Intention »



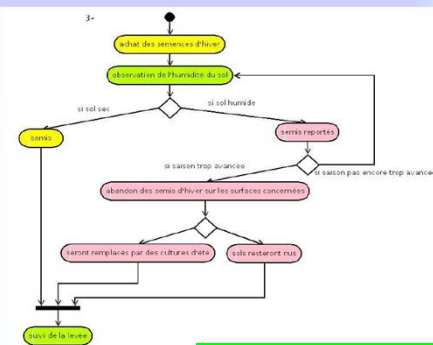
## Pouvoir représenter une dynamique liée à de nouvelles informations



Information sur la ressource eau



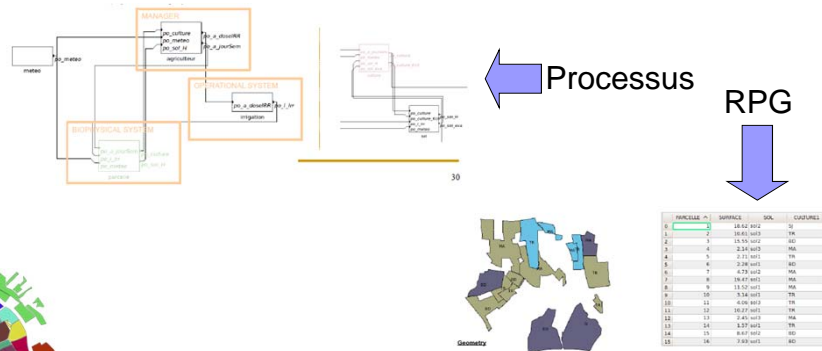
Information sur les contrats



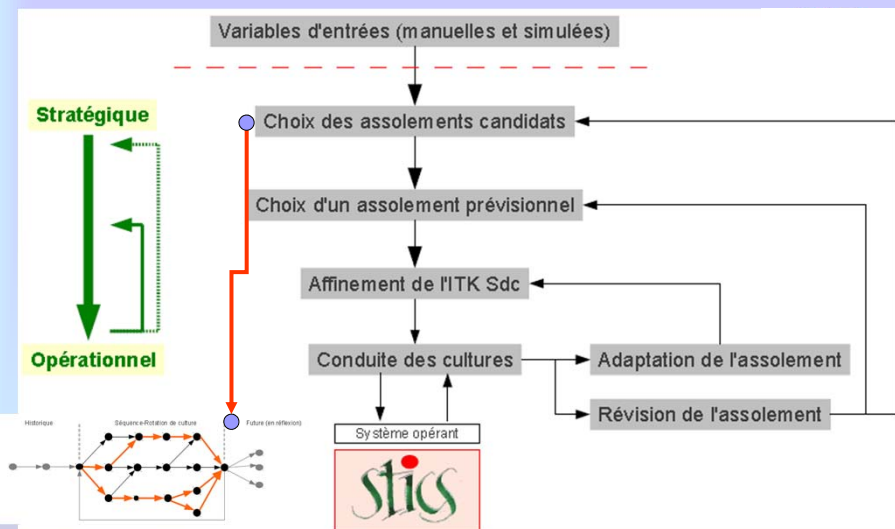
Information sur le climat

# Mobiliser RECORD pour traduire en programme informatique

## ■ Plateforme de simulation et évaluation de l'INRA



# Grandes étapes de simulation



## Du prototype au simulateur



- Des réunions avec les « futurs » utilisateurs
- Des choix non bloquants
- Une implémentation prototypale pour donner à voir et à réfléchir.







# Travaux de recherche sur les stratégies de conduite de l'irrigation par culture

Bernard Lacroix  
ARVALIS – Institut du végétal

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 1 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes



## Objectifs

Elaborer des stratégies de conduite de l'irrigation par culture

- Maïs
- Tournesol
- Blé dur
- Soja
- Sorgho

adaptées à différents contextes :

- ⇒ niveau de ressource en eau
- ⇒ milieu sol - climat
- ⇒ conditions économiques

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes



## Stratégie de conduite de l'irrigation

**Plan d'action prévisionnel** pour la conduite de la campagne d'irrigation visant à atteindre des **objectifs** (rendements, marge etc.) tout en respectant des **contraintes** (volume, débit, état de la ressource, ...)

Cette stratégie se décide avant la campagne et doit **s'adapter à différents scénarios climatiques** et états du système.

Le calendrier d'irrigation est le résultat de l'application une année donnée de la stratégie par la mise en œuvre des règles de décision (pilotage)



## Stratégies par culture

### Moyens d'irriguer

ressource , matériel,  
main d'œuvre

### Assolement

Cultures à irriguer

Volume  
disponible m<sup>3</sup>

Débit  
disponible m<sup>3</sup>/h

Surfaces  
à irriguer par culture

### Allocation de moyens d'irriguer par culture :

Références  
Par milieu  
pédoclimatique

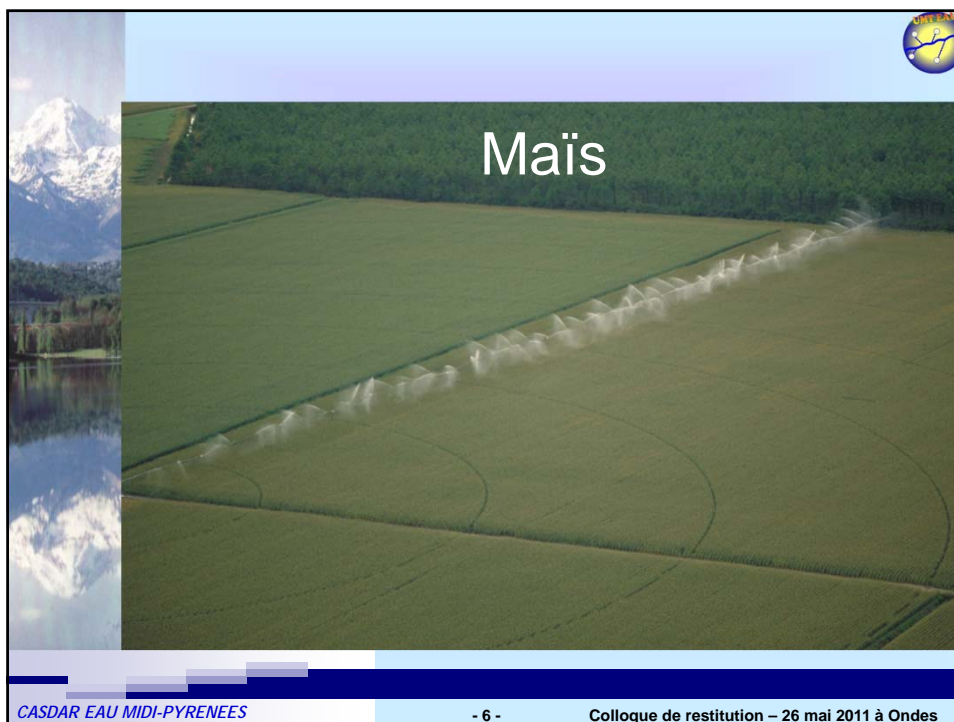
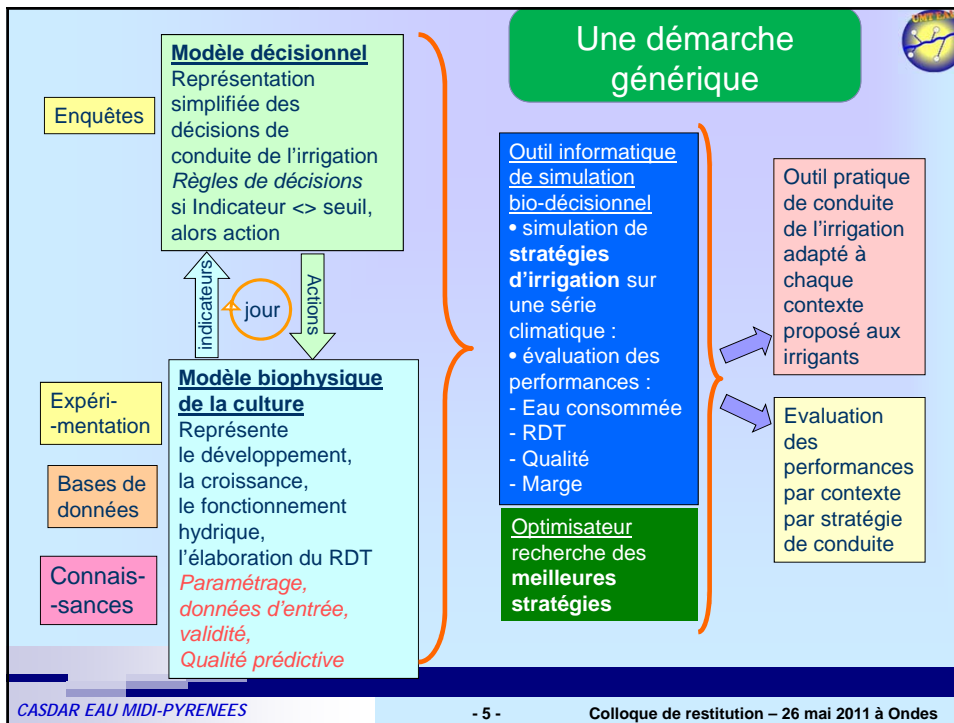
Volume  
Volume/ha  
m<sup>3</sup>/ha

Débit  
Capacité d'irrigation  
mm/jour

Bornes  
calendrier

Suffisants  
Pour couvrir  
les besoins  
8 années sur 10

Restrictifs  
(différents degrés de restriction)  
Insuffisants pour  
couvrir les besoins  
8 années sur 10







## Objectif

- Un outil (MO<sub>U</sub>STICS maïs) opérationnel, de simulation et d'optimisation de la conduite de l'irrigation du maïs dans différents contextes de ressource en eau développé sous la plateforme INRA RECORD

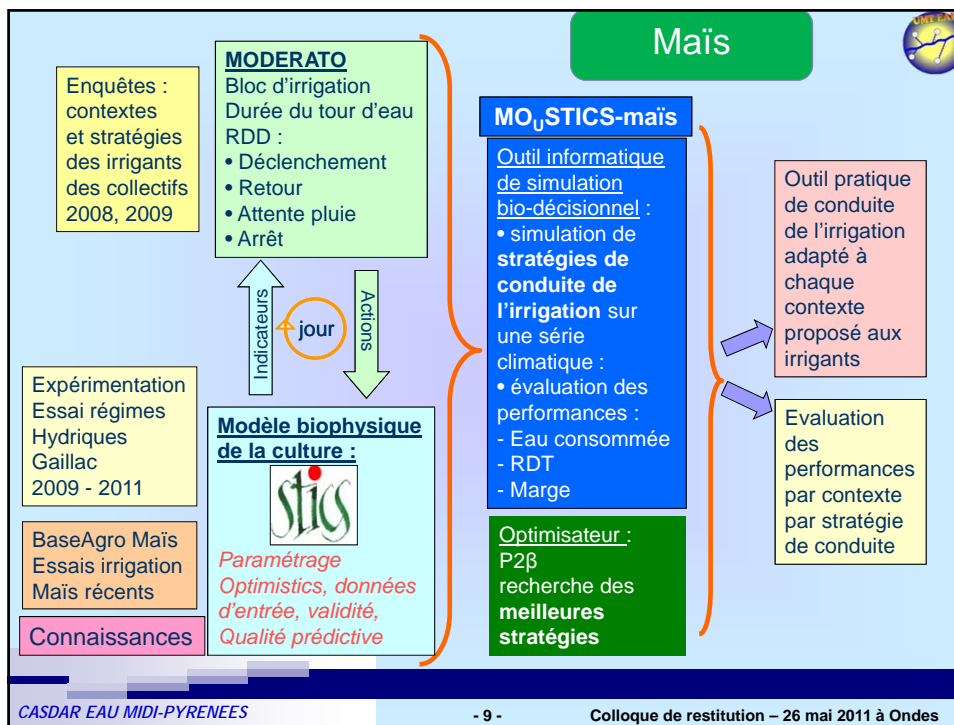
permettant

- de proposer des stratégies optimisées de conduite dans différents contextes
- d'évaluer (multi - critères) des stratégies
- d'élaborer et de proposer des outils pratiques aux irrigants et à leurs conseillers pour la mise en œuvre de ces stratégies



## L'outil devrait répondre à

- Contribution à l'évaluation « réaliste » des besoins en eau d'irrigation
- Stratégies adaptées à différents niveaux de volume limité – limitant (sensibilité de la stratégie optimale au degré de restriction du volume)
- Prise en compte du volume restant dans la stratégie
- Sensibilité des stratégies aux contextes pédoclimatiques, hydrauliques et économiques
- Enjeux et possibilité de l'esquive (date de semis-précocité)
- Effet des incertitudes (entrées, qualité prédictive du modèle biophysique) sur les stratégies optimales
- Prise en compte de l'évolution climatique dans les simulations
- Outil pour le futur prenant en compte le Changement Climatique



- ## Travaux de 2008 à 2010
- Recherche des **seuils de déficit hydrique du sol** pour le déclenchement et la reprise des tours d'eau aux différentes périodes du cycle
  - Recherche d'une modulation de la stratégie en cours de campagne avec l'indicateur **volume restant**
  - Recherche de **stratégie optimale** à partir de calendriers annuels optimaux (climat connu). Comparaison à l'optimisation des seuils de règles de décision
  - **Expérimentation** régimes hydriques pour alimenter la modélisation biophysique
- CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 10 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes



## Travaux 2011

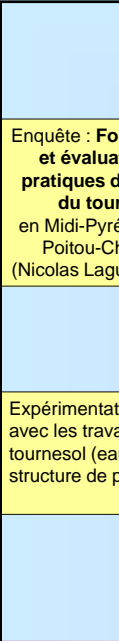

- MO<sub>U</sub>STICS sur la plateforme de modélisation des agro-écosystèmes INRA RECORD
- Mise à jour de la base de données BaseAgro
- Evaluation et amélioration de la qualité prédictive de STICS maïs
- Définition des scénarios à simuler
- Expérimentation virtuelle
- Valorisation scientifique et technique




# Tournesol

Luc Champolivier  
CETIOM

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 1 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes

# Tournesol

**Enquête : Formalisation et évaluation des pratiques d'irrigation du tournesol**  
en Midi-Pyrénées et en Poitou-Charentes  
(Nicolas Laguionie 2009)

**Expérimentation :** en lien avec les travaux de l'UMT tournesol (eau, azote structure de peuplement)

**Modèle décisionnel**  
Base Moderato adaptée au tournesol

- nombre d'apports limité (1 à 4)
- positionnement optimal des apports
- indicateurs différents selon la période du cycle et l'utilisateur

↑ Indicateurs → jour ← Actions ↓

**Modèles biophysiques de la culture :**

- Sunflo (2010) : modèle spécifique du tournesol
- STICS : modèle générique en vue d'une prise en compte à terme des interactions entre cultures irriguées

**2008 - 2009 :** mise au point de la version 1 de Sunflo (prise en compte des effets rayonnement, température, eau et azote)

**2010 :**  
Ecriture de Sunflo sous Record  
Construction du cahier des charges du modèle décisionnel (septembre 2010 ⇒ avril 2011)

**2011 (mai ⇒ ...) :**  
Ecriture du modèle décisionnel sous Record  
Couplage avec modèles biophysiques

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 2 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes

## Formalisation et évaluation des pratiques d'irrigation du tournesol en Midi-Pyrénées et en Poitou-Charentes

(Stage Nicolas Laguionie 2009)



### ■ 5 pratiques d'irrigation du tournesol

Nombre d'apports par stratégie	Stades en préfloraison			Stades en postfloraison		Nombre d'exploitants concernés
	E1	E5	F1	F4	M0	
2	1			1		13
			1	1		3
3	1	1	1			4
	1			1	1	1
4	1	1	1	1	1	2

Grande majorité des irrigants opportunistes

Anciens irrigants du maïs avec ressource et matériel suffisants

## Formalisation et évaluation des pratiques d'irrigation du tournesol en Midi-Pyrénées et en Poitou-Charentes

(Stage Nicolas Laguionie 2009)



### ■ 4 indicateurs potentiels :

- Stade de la plante
- État de la plante (état de sénescence / flétrissement / couleur)
- Conditions climatiques à venir (pluie annoncée ?)
- Nombre de jours depuis l'apport précédent (en moyenne 7)

Pas de référence explicite à l'indice foliaire



### ■ 3 types de règles de décision pour le 1er apport en préfloraison et/ou le premier apport en post-floraison

- Systématique (6)  
**SI** [Stade plante]=[OK] **ALORS** [1<sup>er</sup> apport lancé]
- Besoin de la plante (11)  
**SI** [Stade plante]=[OK] **ET** [état plante]=[stress] **ALORS** [1<sup>er</sup> apport lancé]
- Besoin de la plante + Climat (6)  
**SI** [Stade plante]=[OK] **ET** [état plante]=[stress] **ET** [pluie prévue]=[faible] **ALORS** [1<sup>er</sup> apport lancé]

## Formalisation et évaluation des pratiques d'irrigation du tournesol en Midi-Pyrénées et en Poitou-Charentes (Stage Nicolas Laguionie 2009)



- Règle de décision complémentaire
  - pour le 2ème apport en préfloraison
  - et / ou le 2ème apport en post-floraison
- Systématique (5) :
  - SI [nombre jours depuis apport précédent]=[n] **ALORS** [apport lancé]
- Besoin de la plante + climat (2) :
  - SI [stade de la plante]=[OK] **ET** [état de la plante] = [stress] **ET** [pluie prévue]=[faible] **ALORS** [apport lancé]

Pas de lien entre les règles de décision pour l'irrigation  
et la décision d'irriguer tous les ans ou pas le tournesol

## Règle de décision proposée « CETIOM »



Indicateurs :

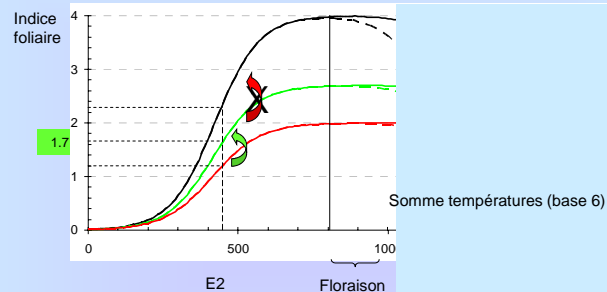
- Avant floraison : pilotage d'après l'indice foliaire
- Après floraison : pilotage d'après bilan hydrique

Croissance du tournesol au stade bouton	Sols superficiels	Sols moyennement profonds
Modérée 	Sud-Ouest : 2 à 3 tours d'eau Sud-Est : 2 à 4 tours d'eau* - Avant floraison - <b>Début floraison</b> - Fin floraison - 10 jours plus tard*	Sud-Ouest : 1 à 2 tours d'eau Sud-Est : 1 à 3 tours d'eau* - <b>Début floraison</b> - Fin floraison - 10 jours plus tard*
Exubérante 	2 à 3 tours d'eau - Début floraison - <b>Fin floraison</b> - 10 jours plus tard	1 à 2 tours d'eau - <b>Fin floraison</b> - 10 jours plus tard

## Règle de décision proposée « CETIOM »



Gérer l'irrigation pour approcher le « parcours idéal de croissance »



Avant floraison :  
atteindre un IF de 2.5 à 3

Mesure de l'indice foliaire :

- mesures optiques : appareils coûteux, délicats d'utilisation
- mesures planimétriques et allométriques : long
- travaux en cours sur la mise au point méthodes plus simples (référentiel photographique...)

## Modèle décisionnel : Cahier des charges



### ■ Paramètres d'entrée :

- Quantité d'eau totale allouée à la culture
- Débit (fixe ou variable par période)
- Dose (fixe ou variable par tour d'eau)
- Durée théorique du tour d'eau + délai supplémentaire (fixe ou modulable par tour d'eau)
- Nombre d'apports prévus
- Courbe « idéale » d'évolution d'indice foliaire
- Stade limite maximal d'irrigation



## Modèle décisionnel : Cahier des charges

Possibilité de prise en compte d'indicateurs divers pour reproduire tous types de règles de décision :

Fenêtre de développement ( $\Sigma$ températures)		Etat du système		Délai entre irrigations		Nb irrigations max dans la période	Dose à apporter
Condition 1		C2	C3	C4	C5	C6	D1
$\Sigma T_1$	$\Sigma T_2$	k IF	fw	$\Delta \Sigma T$	Nb jours	Ix	Dose
$\Sigma T_3$	$\Sigma T_4$						

La ligne de règle de décision est composée de 5 éléments :

- une partie temporelle, représentée par le développement de la culture sous forme de  $\Sigma T$
- une partie condition de croissance (k IF) ou de déficit en eau du sol (fw)
- une partie de délai supplémentaire entre irrigation (lié à la culture ou à l'organisation du travail)
- un nombre maximal d'irrigations dans la fenêtre temporelle
- une partie définissant le mode de calcul de la dose à apporter (fonction du déficit en eau du sol)



## Modèle décisionnel : Cahier des charges



- Règle d'interruption et de reprise des irrigations en cas de pluie (pour 3 phases du cycle)
- Trois positions simulées
  - la première (pilote des décisions)
  - la médiane
  - la dernière





## Perspectives


- Analyse et écriture informatique du modèle décisionnel
- Couplage du modèle décisionnel et des modèles bio-techniques
- Test du modèle bio-décisionnel :
  - définition de stratégies à tester
  - simulation de ces stratégies

## Adaptation d'un modèle de culture et conception d'un modèle de décision pour la gestion conjointe de l'irrigation et de la fertilisation azotée du blé dur

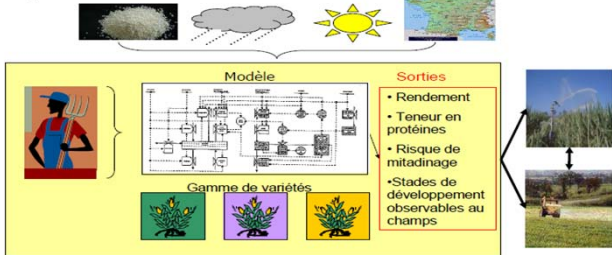
**S Guillaume** ARVALIS - Institut du végétal  
E Justes, JE Bergez INRA

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 1 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes



### Irrigation + fertilisation

- Mobiliser la même démarche générique **MAIS**
  - Complexifier les décisions:
    - qualité/production/environnement
  - Analyser et améliorer le modèle de culture
  - Proposer un modèle de décision



The diagram illustrates a modeling process. At the top, four icons represent inputs: a soil profile, a cloud, a sun, and a map. These feed into a central box labeled 'Modèle' (Model), which contains a complex flowchart. Below the model box is a section labeled 'Gamme de variétés' (Range of varieties) with three small plant icons. To the right of the model box is a section labeled 'Sorties' (Outputs) with a list: 'Rendement' (Yield), 'Teneur en protéines' (Protein content), 'Risque de mitadinage' (Risk of lodging), and 'Stades de développement observables au champs' (Observable development stages in the field). Arrows point from the model box to the outputs and then to two photographs of wheat fields, one showing a field with a rainbow and another showing a field with a combine harvester.

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 2 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes

# Stratégie de Recherche

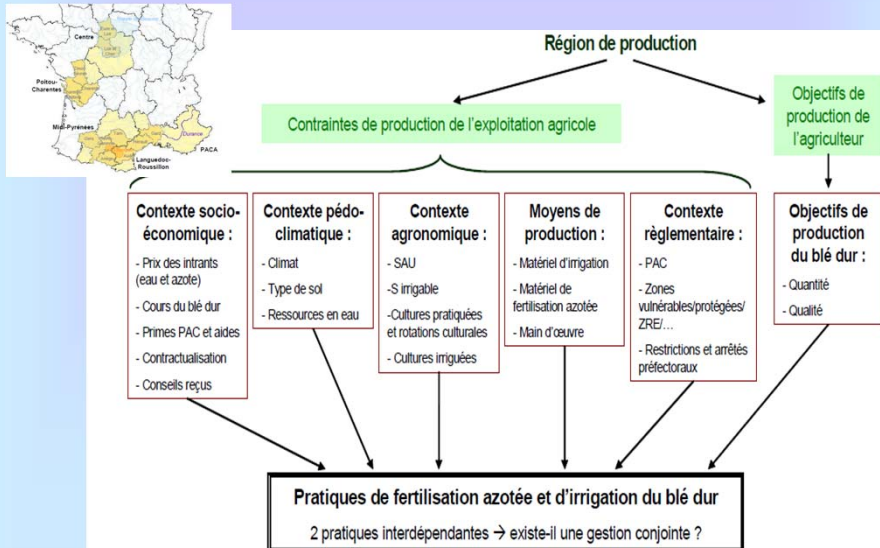


Conception  
Modèle  
décisionnel

Adaptation  
modèle de  
culture

Modèle biodécisionnel

# Modèle de décision



## Résultats : stratégies de fertilisation N et d'irrigation

	Qualité	Quantité (prod de semences)
Objectifs	Augmentation du rendement et du taux de protéine	Augmentation du nombre de grains
Pratiques	Apports tardifs d'azote	Pas d'apport tardif d'azote



→ La fertilisation N dépend de la destination du grain

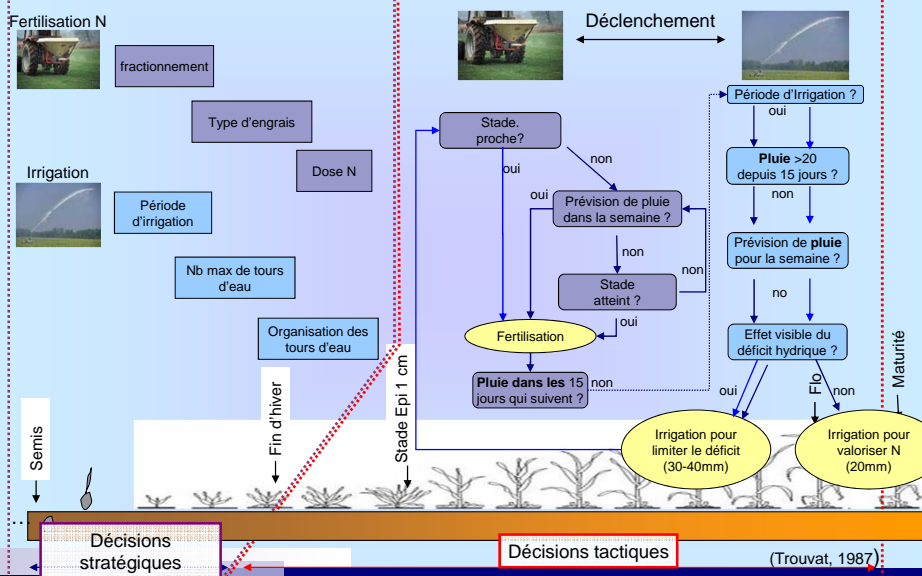
Irrigation et fertilisation N sont gérées conjointement



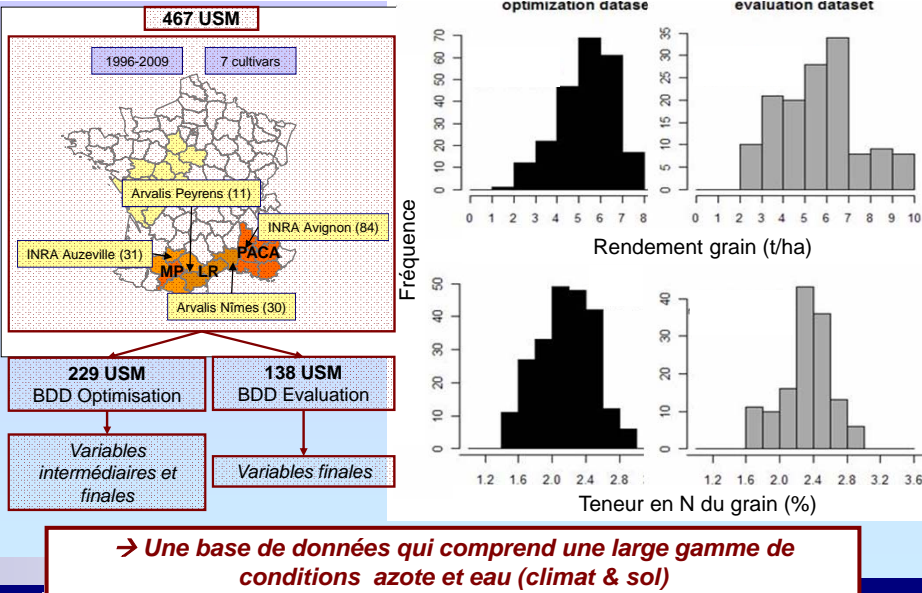
→ L'irrigation dépend du lieu

	Complément	Assurance	Survie
Objectifs	Eviter perte de RDT due à stress hydrique	Augmenter le RDT accessible	Maintenir un niveau de RDT « rentable »
Pratiques	Pas d'irrigation systématique 1/an	Irrigation systématique 1-3/an	Irrigation systématique ~3/an

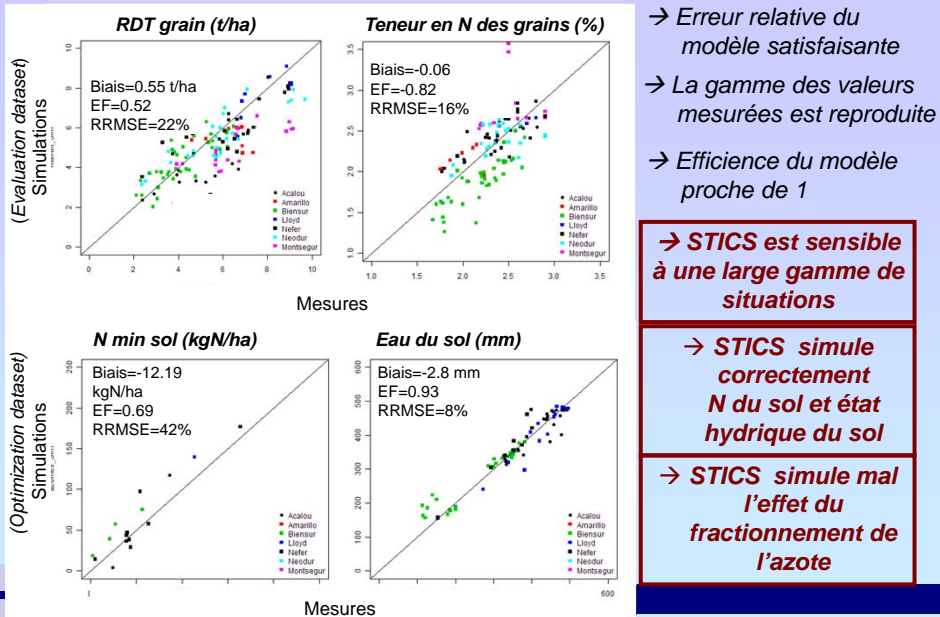
## Résultats : stratégies de fertilisation N et d'irrigation

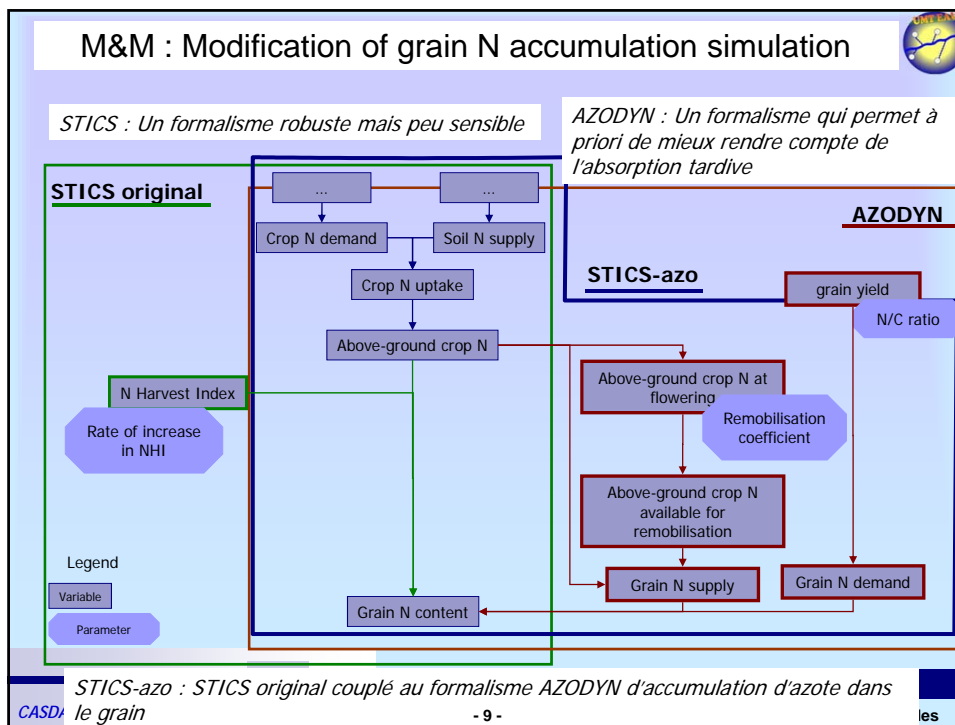


## M&M : Base de données pour l'adaptation et l'évaluation du modèle de culture



## Performances du modèle après ajustement des paramètres





## Conclusions

**Identification des stratégies et des déterminants**

**Représentation des décisions stratégiques et tactiques**

La procédure d'ajustement des paramètres dépend des objectifs d'utilisation du modèle

Ajustement des paramètres et évaluation de STICS sur une large gamme de conditions azote et eau

STICS n'est pas sensible au fractionnement de N

STICS simule correctement un ensemble de variables

Construction et évaluation de différentes stratégies de fertilisation N et d'irrigation

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 10 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes






# SORGHO

## Réponse à l'eau comparée du sorgho et du maïs

Jean-Marc Deumier  
ARVALIS – Institut du végétal

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 1 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes

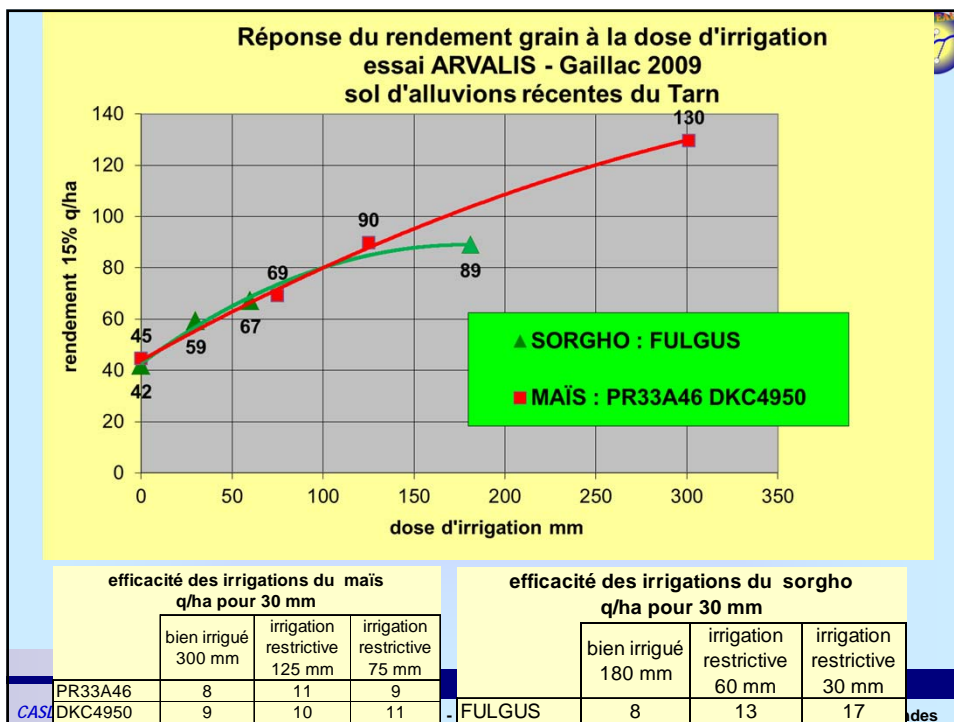
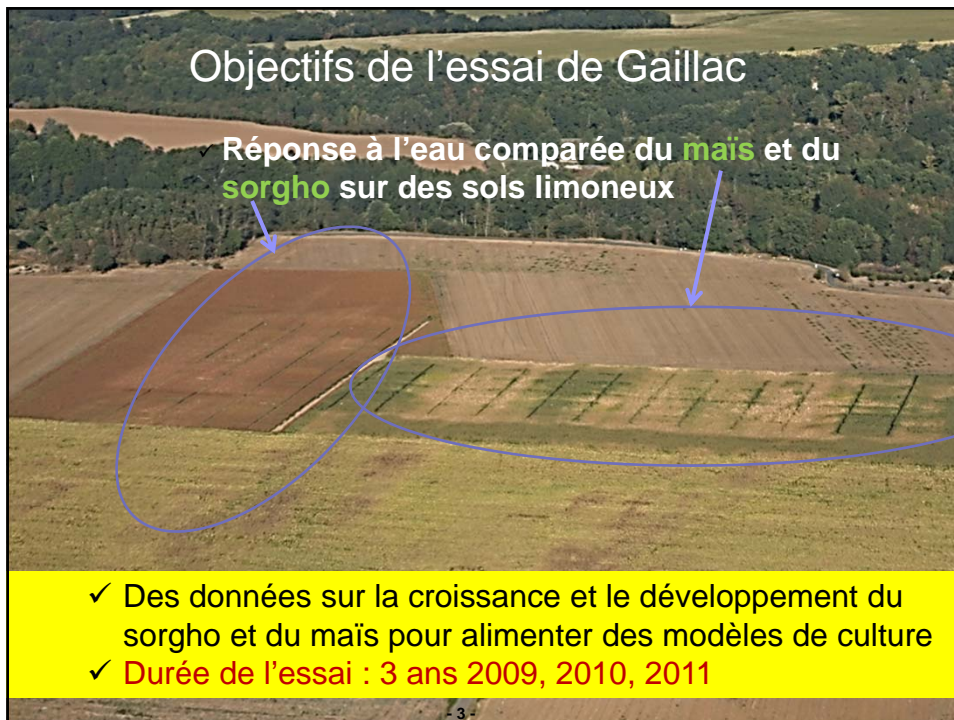


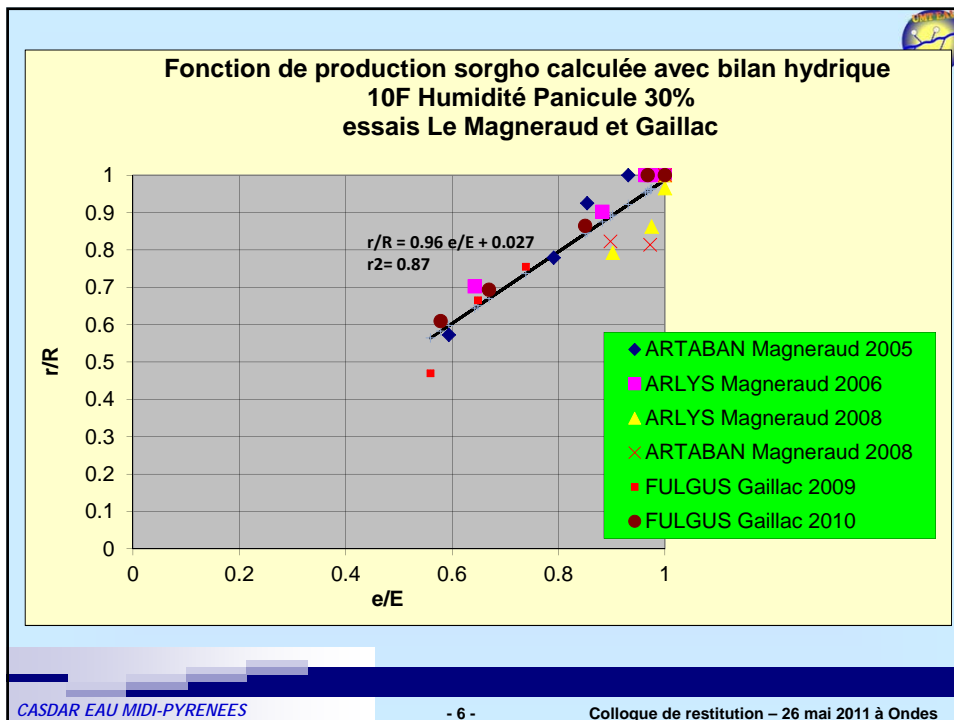
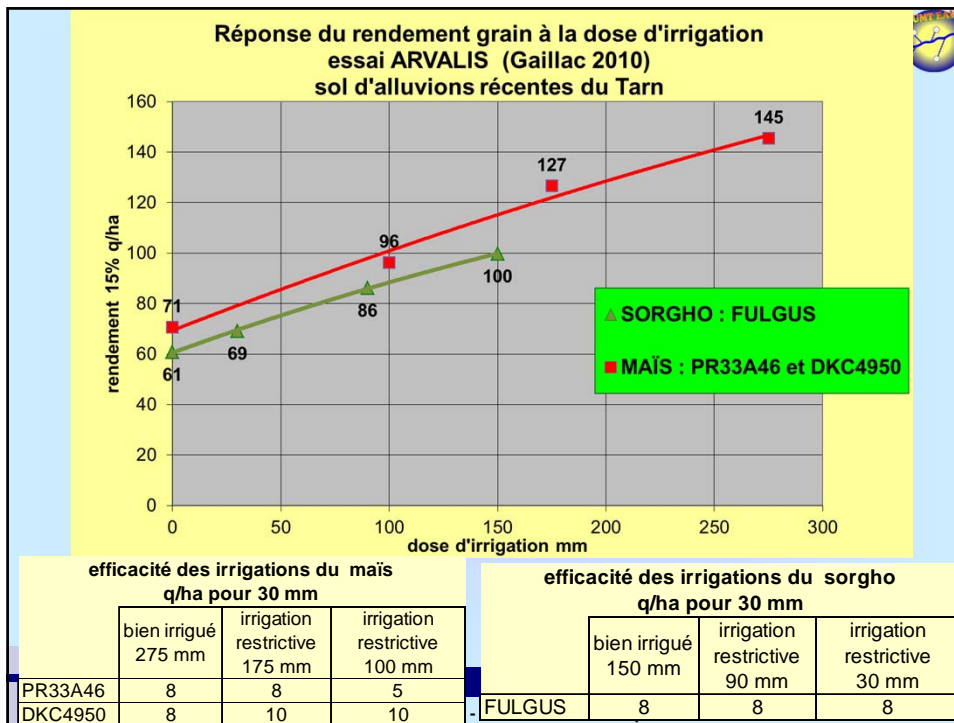
## Réponse à l'eau du sorgho : des références à mettre à jour

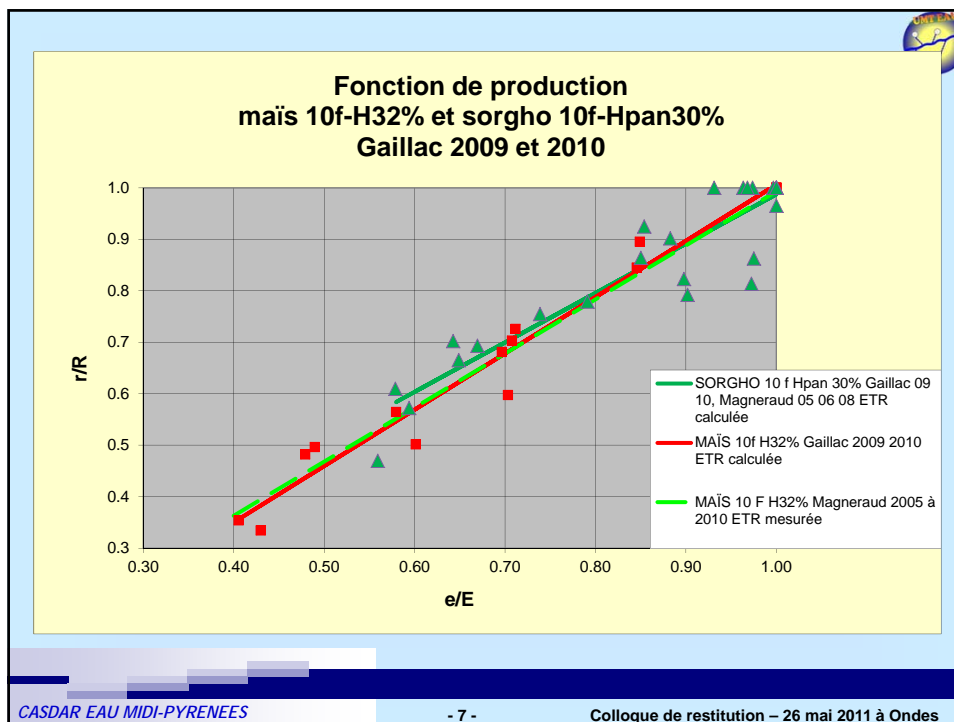
- ✓ **Des références Midi-Pyrénées anciennes, datant de la fin des années 90**
- ✓ Expertise collective INRA 2006 : si problème de ressource en eau le sorgho peut être une solution
- ✓ **Des essais dans les régions de production depuis 2005 : Magneraud (17), Etoile (26)**
- ✓ Essai de Gaillac (81) sur les terrasses du Tarn, zone irriguée

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 2 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes








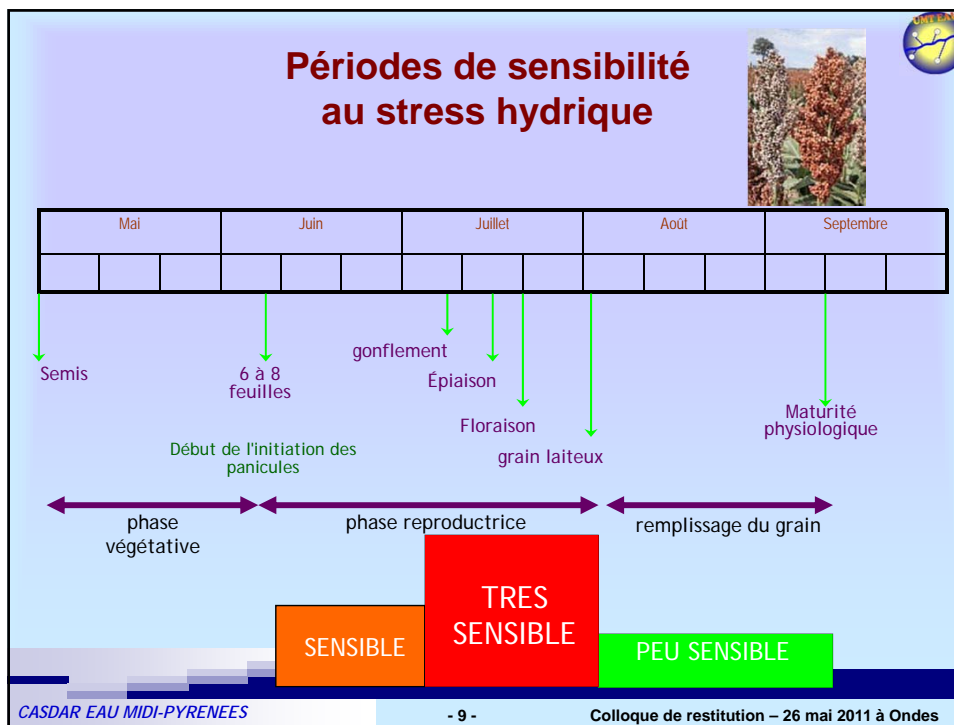


## Stratégie d'irrigation



- Stratégie d'irrigation fonction de la disponibilité de l'eau et du matériel pour le sorgho / maïs soja cultures spéciales
- On distingue
  - SORGHO NON PRIORITAIRE : 1, 2 ou 3 irrigations
  - SORGHO PRIORITAIRE

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 8 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes



## Sorgho non prioritaire

- Apports d'eau limités à 1, 2 ou 3 irrigations de 30 à 40 mm
- On recherche une efficacité maximale des irrigations par un bon positionnement
- Le rendement potentiel sera rarement atteint

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 10 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes

## Possibilité d'une seule irrigation



- Réaliser l'apport au gonflement (et non à l'épiaison)
  - Si pluie dans les 10 jours avant gonflement supérieure ou égale à 20 mm
- ➔ Reporter l'apport au début floraison

## Possibilité de 2 irrigations



- Sol moyen à profond

gonflement

Epiaison -  
floraison



30 à 40 mm



30 à 40 mm

- Sol superficiel

10 feuilles

Gonflement



30 à 40 mm



30 à 40 mm

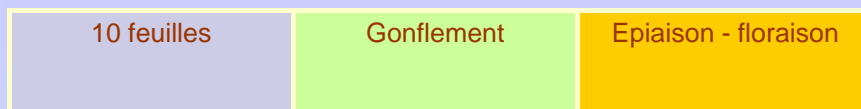
Si pluie supérieure ou égale à 20 mm dans les 10 jours précédents

➔ décaler l'apport

## Possibilité de 3 irrigations



- Sol superficiel à moyen



30 à 40 mm

30 à 40 mm

30 à 40 mm

- Sol profond



30 à 40 mm

30 à 40 mm

30 à 40 mm

Si pluie supérieure ou égale à 20 mm dans les 10 jours précédents

→ décaler l'apport

## Possibilité de 3 irrigations



- avec 3 irrigations on se rapproche du potentiel
- en région toulousaine ce potentiel sera atteint :
  - 7 ans sur 10 en terrefort moyen
  - 5 ans sur 10 en terrefort superficiel
  - 9 ans sur 10 en alluvion argileuse

## Sorgho prioritaire et atteindre le potentiel





- à partir du stade 10 feuilles si pas de pluie significative depuis 10 à 15 jours réaliser le 1<sup>er</sup> apport  
En sol profond attendre 5 jours de plus
- rythme 35 mm tous les 10 jours (40 mm tous les 10 jours pour Sud-Est et Drôme)
- si pluie > 10 mm interruption pendant P/4 jours
- dernier apport 20 à 25 jours après épiaison

## Sorgho à retenir



- ✓ Une consommation en eau plus faible que le maïs  
ex : sorgho 390 mm, maïs 480 mm (Gaillac 2010)
- ✓ Des besoins en eau d'irrigation plus faibles  
ex : sorgho 150 mm, maïs 275 mm (Gaillac 2010)
- ✓ Des fonctions de production « rendement/eau » comparables
- ✓ Un potentiel de rendement moins élevé que le maïs :  
-30 à -40 q/ha


Une synthèse des essais de Gaillac (2009 à 2011), Le Magneraud (2005 à 2009), Etoile (2008 à 2011) programmée en 2012



# Soja

Luc Champolivier  
CETIOM

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 1 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes



# Soja

- Pas de modèle biophysique validé en conditions françaises à ce jour
- Inventaire et description des modèles existants (en cours)
- Inventaire des données disponibles (réalisé)
- Inventaire des règles de décision

CASDAR EAU MIDI-PYRENEES - 2 - Colloque de restitution – 26 mai 2011 à Ondes

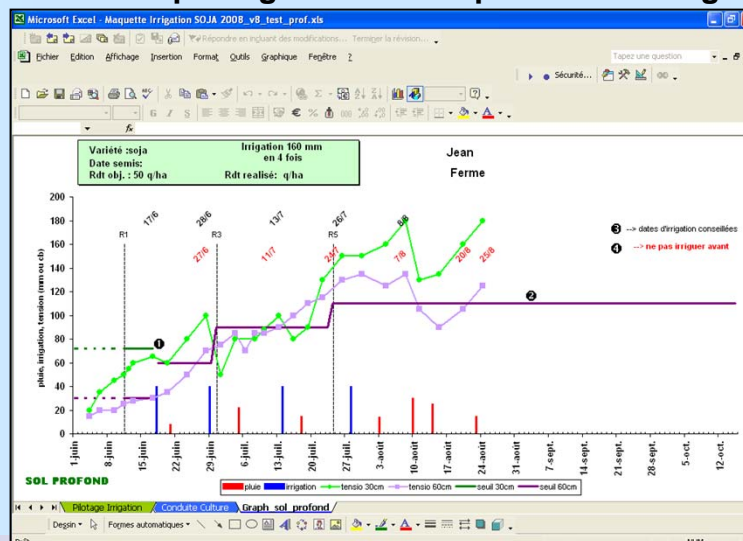


## IRRISOJA : un outil de pilotage tenant compte de la stratégie



- La règle de décision présente plusieurs variantes selon :
  - la nature du sol : sols séchants ou sols profonds
  - la priorité de la culture du soja dans la sole irriguée :
    - Cas A : la culture irriguée prioritairement est le maïs
    - Cas B : la culture irriguée prioritairement est le soja

## IRRISOJA : un outil de pilotage tenant compte de la stratégie



## Perspectives



- Poursuite de l'inventaire et de l'analyse des modèles
- Test de quelques modèles candidats





