







# **MODERATO**



# Simulateur de conduite de l'irrigation du maïs





#### Plan

# Plan de la présentation

- Le contexte et la demande
- Modèle de décision
- Modèle biophysique
- Du modèle à l'outil
- Utilisations de l'outil
- Remerciements



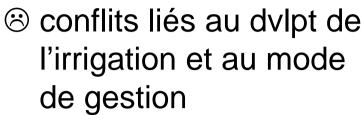


# Problématique générale

Katerji et al., 2001



- pas de menace de pénurie quantitative au niveau national
- ressources souterraines abondantes (pour eau potable)



- dérèglements
   climatiques : 'accidents'
   (sécheresse) ou
   changement climatique











Introduction à la modélisation - Moderato - JE Bergez



#### Contexte

# Problématique irrigation

- L'eau est un bien à partager
- DCE Eau
- Raisonner pour mieux gérer
- Gestion collective de la ressource en eau
  - partage entre usagers, gestion décentralisée
- Gestion volumétrique
  - volumes nécessaires
  - optimisation de l'utilisation de l'eau
- Les irrigants
  - partenaires actifs et responsables
  - besoins d'outils pour optimiser leurs décisions





# Les décisions en irrigation

- En grande culture, les décisions stratégiques sont déterminantes
  - Assolement
  - débits, volumes
  - organisation de la campagne d'irrigation
- décisions tactiques
  - pilotage en cours de campagne = application du plan d'action à l'année en cours





Collaboration 1997 - ...

- Etat des lieux des travaux de recherche
  - thème :stratégie et conduite de l'irrigation du maïs dans différents contextes hydrauliques
  - 2 niveaux de travail :
  - modèle de décision à partir de l'analyse menée pour IRMA (INRA ESR-ITCF)
  - Exploitation agricole
  - plusieurs cultures
- contraintes spécifiques



- 1 culture dans un milieu (sol climat)
- contraintes communes à un type d'exploitation agricole
- modèle biophysique :

  modèle statistique modèle dynamique

Tester des règles de décision pour un contexte donné sur des situations pédoclimatiques variées





#### Collaboration

#### Objectifs finalisés et de recherche

#### **Objectifs finalisés**

Développer un outil d'aide à la stratégie d'irrigation du maïs :

- intégrant certaines contraintes d'irrigation de l'exploitation
- intégrant un contexte fluctuant

Pour améliorer les règles de décision notamment en condition de volume ou de débit limitant et les préconisations

#### Objets de recherche

- Utilisation de modèles dynamiques pour l'aide à la décision
  - Estimation des paramètres
  - Qualité prédictive
  - Influence des erreurs sur la décision
- Formalisation de règles de décision
  - Optimisation de règles
  - Développement de stratégies
- Se démarquer des modèles types « on décrit tout » ou « on reste à la parcelle »
- Intégrer les connaissances de fonctionnement d'une culture ainsi que les contraintes liées à l'irrigation
- Utiliser une modélisation dynamique ET décisionnelle
- Intégrer l'hétérogénéité spatiale consécutive à l'irrigation d'un bloc





#### Collaboration

#### Objectifs partagés

 $X(t+1) = f(X(t), C(t), D(t), \beta)$ 

Modèle biodécisionnel

Outil biodécisionnel

Modèle biophysique

Modèle de décision

$$\Pi(t) = g(D(t), \theta)$$

\_ | D | X

Run

Info

Description du sol

Description des règles/pratiques

Description du climat
Description des

contraintes d'irrigation Diagnostic

Analyse stratégie

Analyse spécifique

Études de variation

**Optimisation** 

MODERATO

Simulation Fin

# Cahier des charges

- Décrire (enquêtes/litt) et simplifier (modélisation) la complexité de la décision en un algorithme
- Utiliser des indicateurs disponibles dans le modèle biophysique
- Intégrer les contraintes de contexte dans la décision (une parcelle ∈ exploitation)
- Développer une interface pour entrer les règles (finalité de l'outil)





Une RdD est une fonction qui permet de calculer la valeur d'une variable d'action, d, à partir d'autres variables, x, appelées indicateur. Pour qu'une RdD soit opérationnelle, le vecteur x doit être observable ou estimable.

 $a \in A, a \to d(x), x \in \Omega$ 

Un exemple : règle de déclenchement de l'irrigation

A partir du stade 7F, si le déficit en eau sur la profondeur d'enracinement dépasse 50 mm, je déclenche la campagne. Si au stade 9F, le déclenchement n'a toujours pas eu lieu, je change mon seuil de déclenchement: 70 mm. J'apporte alors 30 mm.





#### Modèle de décision -3-

#### Règle de décision -2-

Structuration d'une RdD sous forme Si-Alors

Si Stade < 7 feuilles

**Alors Pas d'irrigation** 

Sinon Si 7 feuilles < Stade < 9 feuilles

Alors Si Déficit < 50 mm

**Alors Pas d'irrigation** 

Sinon Irrigation=30 mm

**Sinon** 

Si Déficit < 70 mm

Alors Pas d'irrigation

Sinon Irrigation=30 mm

Indicateur

Seuil

Action

**Syntaxe** 

**Opération** 

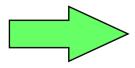




# Les différents indicateurs

- « Comment démarrez-vous votre campagne d'irrigation ? »
  - Quand le sol devient sec ;
  - Quand la couleur du sol change ;
  - Quand la terre soufflée par les taupes devient sèche ;
  - Quand mon voisin démarre ;
  - •Quand la bêche ne rentre plus dans le sol;
  - Quand le conseiller dit de démarrer ;
  - Quand les tensiomètres indiquent une forte tension ;
  - Quand la plante montre qu'elle souffre, que les feuilles se recroquevillent
  - . . .

Clavé, 2002 ; Rouffaud, 2002



Aspect modélisable de l'indicateur





#### De la règle au modèle de décision

### Le corps de règles

- Règle d'irrigation au semis
- Règle de déclenchement de la campagne d'irrigation
- Règle de retour
- Règle d'arrêt
- Règle d'attente climatique





Modèle de décision -6-

Un choix de représentation

## Choisir un niveau d'approche

- Pouvoir tout tester
  - éditeur de règle ... (IRMA, DECIMAIS)
  - ⇒ Difficile d'utilisation
- Tout imposer
  - → Ne permet pas de tester
- Faire la part des choses
  - ⇒Choisir un cadre-options

1⇒2 ⇒3

j'irrigue

#### Processus décisionnel

Une décision à deux niveaux

Temps



Etat du sol concernant l'eau

#### Des indicateurs à deux niveaux

- Facilement accessibles
  - Date
  - Nombre de jours

- Calculés par le modèle
  - Somme de température
  - Réserve utilisée

- Samme de plujes odélisation - Moderato - JE Bergez





## **Exemple Semis**

- S'il n'a pas plu durant les 10 jours suivant le semis alors on apporte 15 mm
- Si la réserve en eau du sol sur la couche de travail superficiel du sol est <0.7 au semis, alors on irrigue, on apporte 15 mm

# Exemple Début

- Si on a atteint le stade 10F, alors dès que le déficit hydrique cumulé atteint 40 mm, on commence l'irrigation
- A partir du stade 10F, dès que les tensiomètres 0.30 décrochent, on commence l'irrigation





# Exemple Retour

- •Apport de 30 mm tous les 7 j
- •Avant floraison, apport de 20 mm tous les 7 jours, autour de la floraison 15 mm tous les 5 jours puis en stade de remplissage, reprendre un rythme plus espacé de 20 mm tous les 7 j

## **Exemple Retard**

Si la somme des pluies actives sur les 7 derniers jours dépasse 20 mm alors on retarde d'un jour par 5 mm

# Exemple Arrêt

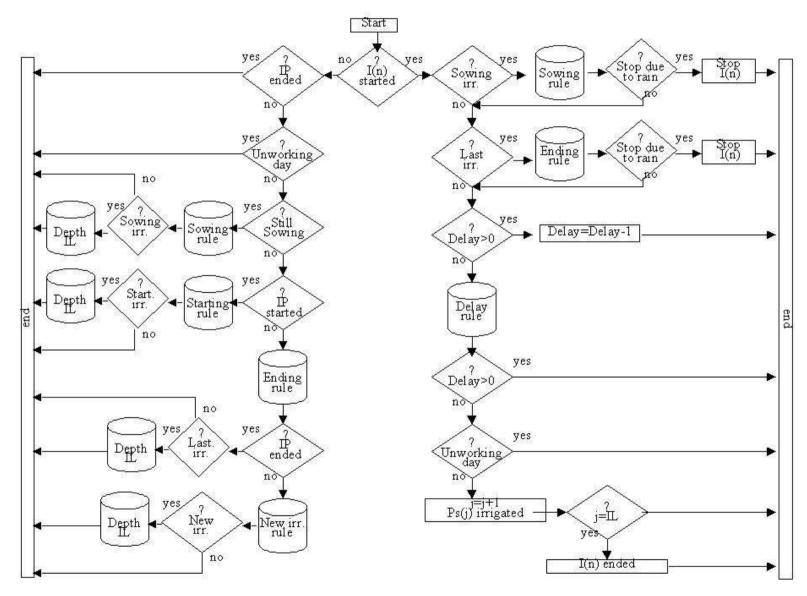
Pour l'irrigation suivant le 1 septembre, si le cumul des pluies des 5 derniers jours est inférieur à 15 mm et le cumul des ETP supérieur à 20 mm, alors je fais une dernière irrigation





#### Modèle de décision -9-

#### Algorithme







#### Modèle de décision -10-

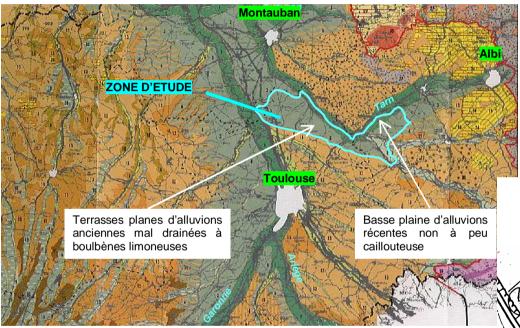
Caractérisation de la région d'étude, des irrigants et de leurs pratiques : enquête de 32 irrigants

 Affinement de la compréhension des règles de décision en matière d'irrigation du maïs : suivi de 8 irrigants parmi les 32

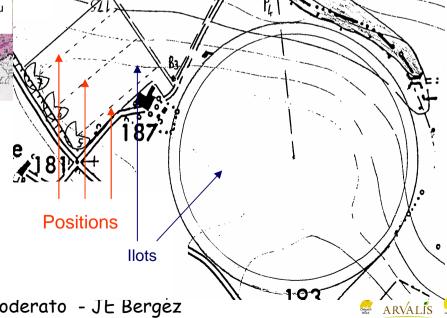
✓ Choix des irrigants parmi les types les plus représentés

**Validation** 

- ✓ Diversité des îlots suivis
- ✓ Contribution demandée réduite



Retour sur le terrain Validation





Introduction à la modélisation - Moderato - JE Bergez

#### Modèle biophysique -1-

#### Cahier des charges

- Décrire l'évolution du système Sol-Plante avec des variables d'entrée accessibles facilement à l'utilisateur
- Utiliser une méthodologie robuste d'estimation des paramètres
- Qualité prédictive du modèle
- Quel modèle pour une bonne décision ?

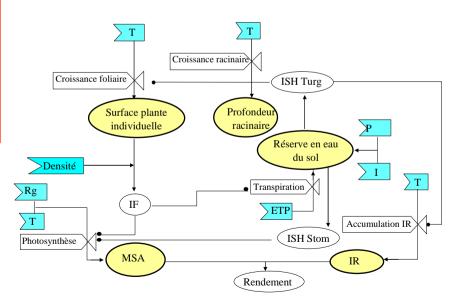
# Un modèle ... Une finalité... Une étape

# Des données



#### Cahier des charges

- Répondre à la question posée
- Echelles de temps et d'espace compatibles avec la question
- Données présentes pour l'estimation des paramètres et la validation du modèle







#### Modèle biophysique -2-

#### **Processus**

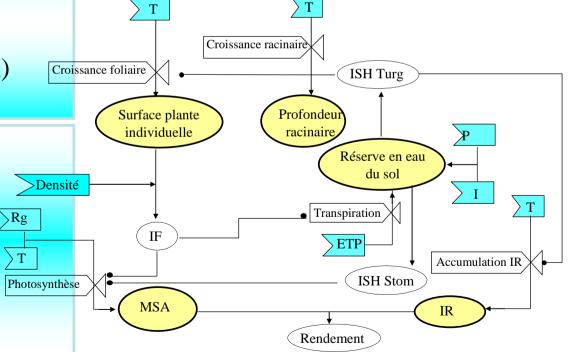
On ne construit pas un modèle général puis on l'applique ensuite

On construit un modèle en vue de l'utilisation finalisée désirée

- 1. Décrire les processus
- 2. Coder les processus
- 3. Estimer les paramètres
- 4. Valider le modèle
- 5. Etudier sa qualité prédictive

Plante (potentiel)

- phénologie
- indice foliaire Feuilles
- enracinement
- biomasse aérienne (MSA)
- rendement (via IR)
- Plante (effet des stress)
  - IF: eau
  - MSA: eau, Temp
  - IR: eau
- Sol:
  - extraction d'eau
  - drainage/lessivage





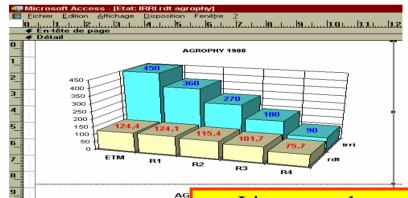
Introduction à la modélisation - Moderato - JE Bergez



Les données coûtent chères mais sont indispensables aux modèles. Il faut donc pouvoir: i) être confiant dans les données présentes ; ii) les utiliser à plusieurs fins (choix)

- Base de données relationnelle BASEAGRO
  - Logiciel ACCESS pour la gestion
- Les entités de base
  - La campagne (un traitement, une année)
  - Le champ (pour les caractéristiques du sol)
  - La station météo
- Grande ouverture
  - N'importe quels types, nombre de mesures

- Développement de la base
- Implémentation de la base : récupération des données Sud-Ouest maïs irrigué
- Développement d'une méthodologie de traçabilité et de vérification
- Création des fichiers d'entrée des modules (ITK, biophysique, Estimation/Validation)





- automatique (programmation)
- manuelle





#### Modèle biophysique -4-

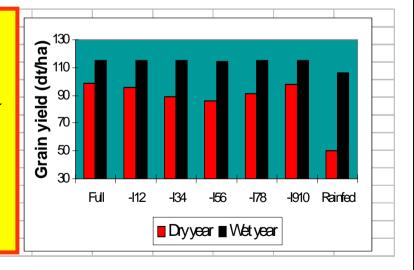
#### **Estimation - Validation**

#### Estimations/Validations

- Analyse qualitative des modèles
- Développement sur un modèle simplifié d'une méthodologie d'estimation des paramètres
- Validation du modèle sur un critère défini
- Propagation des erreurs

#### Analyse qualitative

- Création d'une base de connaissances
- Développement de routines de test
- Développement de situations de base (Sol x Climat x ITK) pour tester les connaissances
- <u>Connaissance</u>: une contrainte hydrique à la floraison est plus préjudiciable pour le rendement qu'une contrainte avant ou après la floraison
- <u>Test</u>: 10 \* 25 mm du 10 juin au 10 Sept & suppression de 2 irrigations à différentes pèriodes

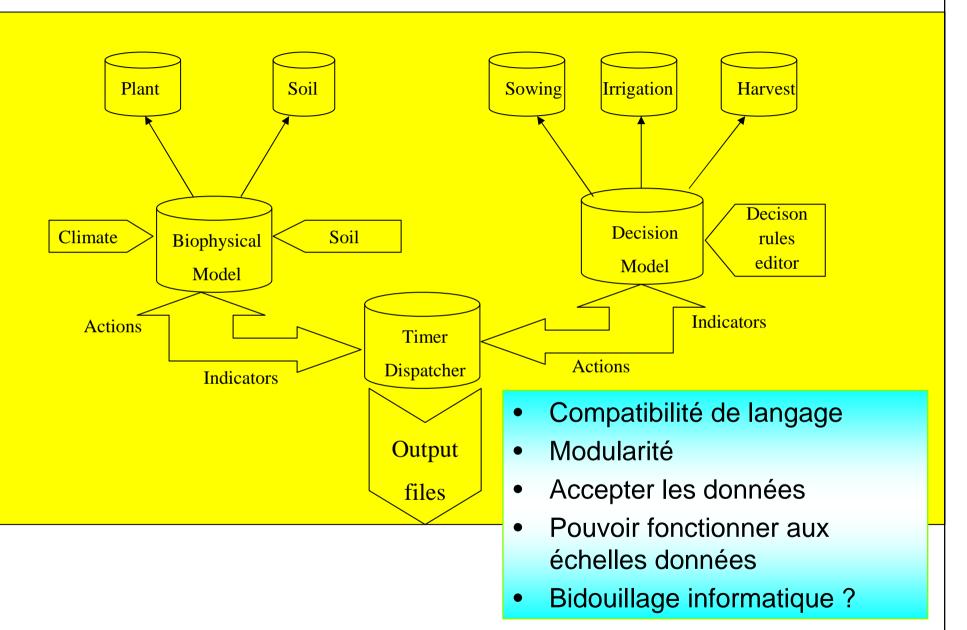






#### Modèle biophysique -5-

#### **Programmation**

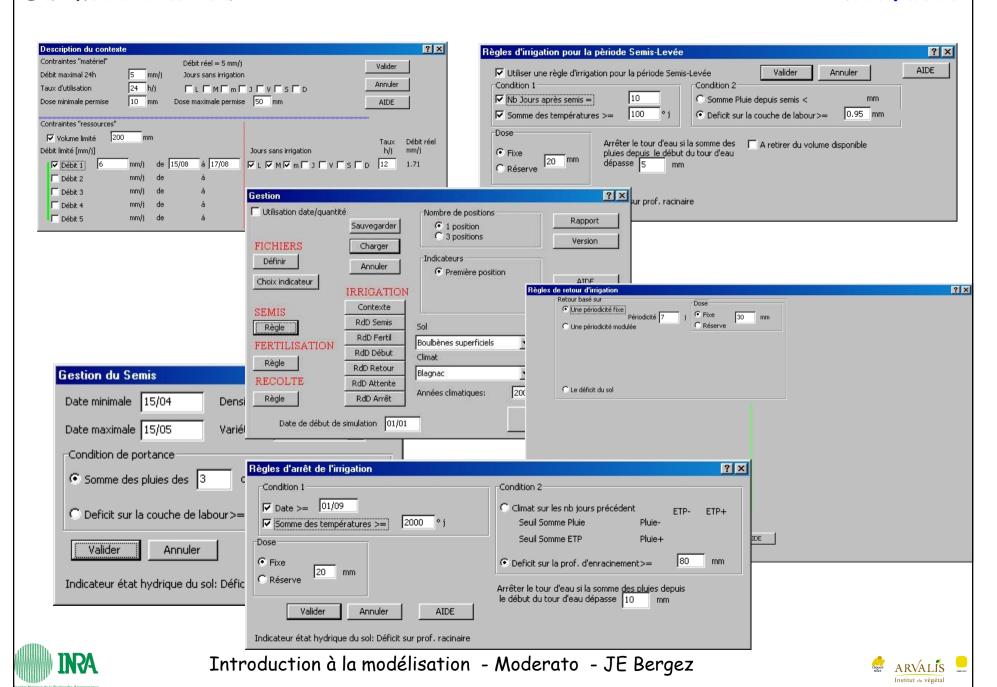


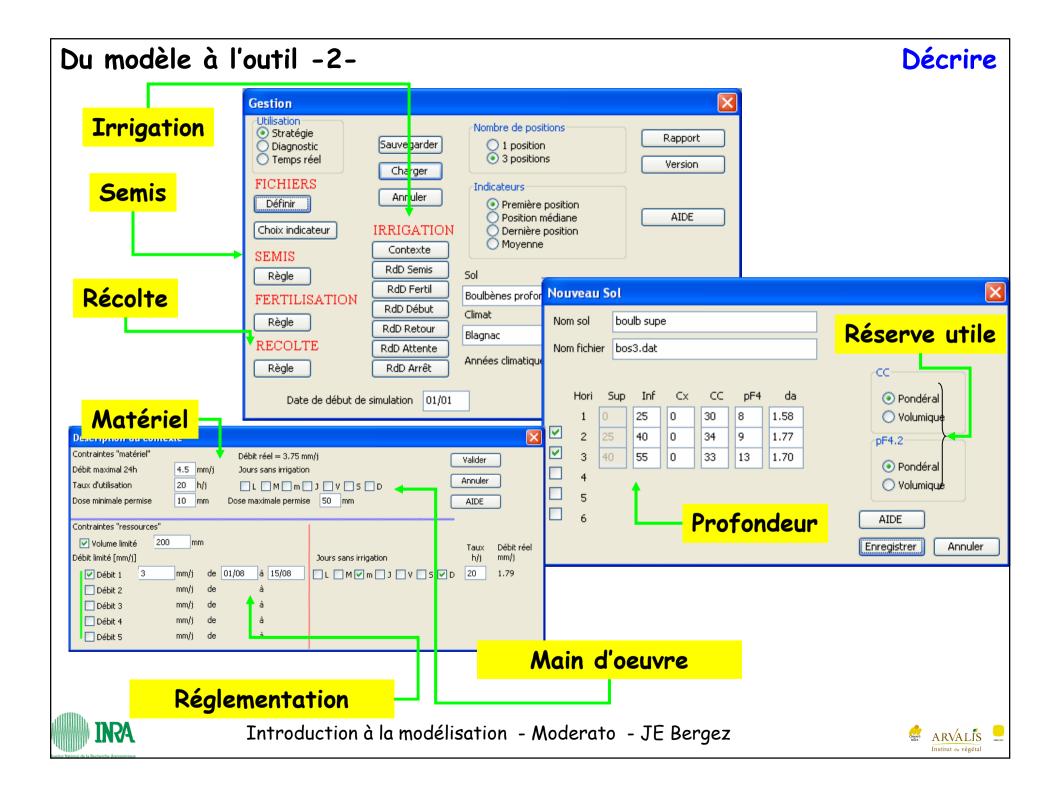




#### Du modèle à l'outil -1-

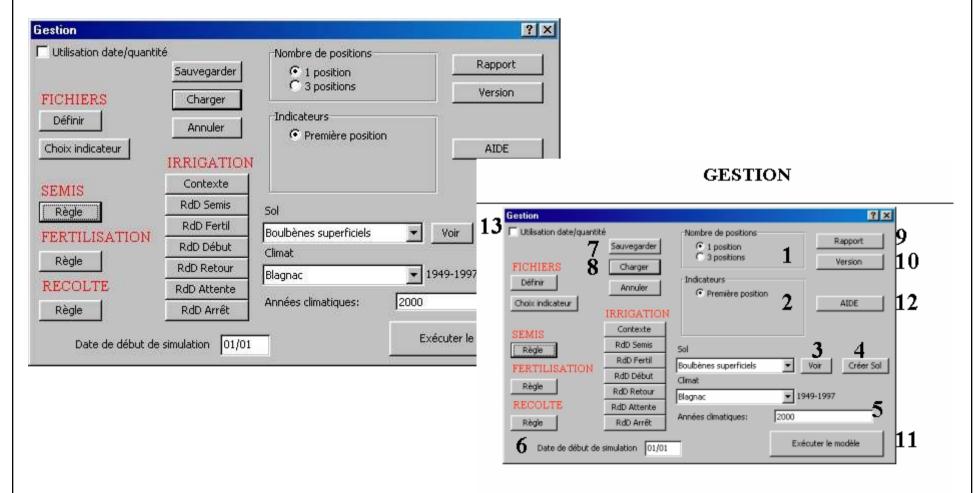
#### Interfaces





#### Du modèle à l'outil -3-

#### Aide contextuelle



#### Logique

"Gestion" est l'entrée de l'interface homme-machine. Ce masque permet d'accéder aux autres masques de saisie décrivant les règles de décision des différentes opérations culturales. Ce masque permet également de définir les conditions de la simulation (sol, climat, date de début simulation) et de lancer l'exécution de la simulation.

#### Définitions

Introduction à la modélisation - Moderato - JE Bergez





#### Du modèle à l'outil -4-

#### Prise en main

#### Programme COS-ACTA

- Il s'agit de mettre au point une méthode d'utilisation de MODERATO pour l'aide à la décision en irrigation du maïs dans un contexte régional (Midi-Pyrénées) pour en tirer des conclusions sur :
- les améliorations possibles de la gestion de l'eau par les irrigants,
- l'intérêt de ce type d'outil pour le développement et le conseil,
- les perfectionnements nécessaires en terme de recherche et de mise au point informatique.

- Donner à voir pour faire croire
- <u>Tester sur des connaissances</u> <u>partager</u>
- Proposer des jeux de simulation
- Organiser des débats
- Partager des réflexions
- Faire des allers-retours sur les questions et les connaissances

#### Réalisations 2002

#### **MODERATO** outil de diagnostic

- Travail d'appropriation de l'outil par les utilisateurs
- Diagnostic des calendriers
- d'irrigation observés en 2001
- Amélioration des représentations graphiques





#### **Deux niveaux d'utilisation**

- Simple par masques de saisie
- Avancé par fichiers pour des scénarios multi-sites/multiannées/multi-règles

Utilisation avec des règles ou des calendriers (validation/diagnostic)

Les autres opérations culturales sont également définies comme des règles :

- semis
- récolte

#### Les entrées de l'outil

- Données climatiques (1 à n années)
  - Tmin, Tmax, Rg, ETP, Pluie
- Caractéristiques du sol
  - Profondeur,  $\theta$ cc,  $\theta$ pF (RU)
- Etat initial du sol
- Date de début de simulation
- Description des règles OU calendrier

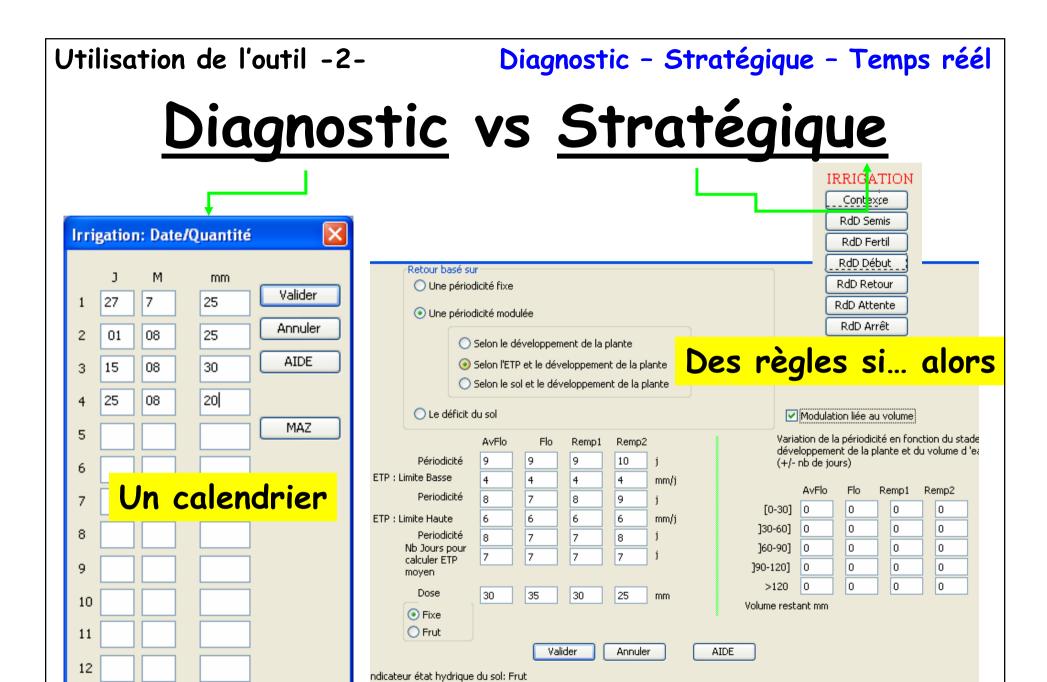
#### Les sorties de l'outil

- Evolution de la culture
- Evolution du sol
- Sorties synthétiques
- Calendrier résultant des règles

Tous les fichiers facilement importables sous tableur











#### Utilisation de l'outil -3-Analyser une année - Irrigation - Rythme - Déficit - Drainage - Drainage+3 - Tr/Tp Répartition des quantités d'irrigation Irrigation Pluie Rythme RU RDU DéfHydrique Drainage 60 20 40 AvantFlo Flo PostFlo 30 20 Efficacité irrigation=0.46 q/m Déficit à la récolte=98.5 mm Déficit max=54.3 mm Date du max=28/6/2001 RythmePI=4.54 mm/i -30 Rythmes et quantités Bilan hydrique -70 -80 Irrigation -100 Jours chomés -110 Arrêt dû au vent -120 Arrêt dû à la pluie. X jours de retour -130 Hors tour d'eau -- IFaPot MSA S Arrêt du tour d'eau MSAPot —Tr/Tp —Turg —Stom Calendrier Avril 0.8 Mai Rdt=130 q/ha (15%) Juin - [m2/ 0.5 등 Croissance et stress Aout 1 2 3 4 5 6 7





#### Utilisation de l'outil -4-

#### Analyser une stratégie

	Moy.		ЕсТу.	Min.	Q1	Med.	Q2	Max.
Rdt	•	10.30	0.69	8.95	9.6	10	).44 10.87	7 11.47
Drain		36	41	(	)	0	24 59	9 192
Eau		312	31	240	) 27	<b>'</b> 0	330 330	360
Marge		2983	515	1912	2 244	8 3	075 3423	3 3799
Effic	(	0.033	0.004	0.027	0.03	0.0	0.038	0.041
Diff		0.3	0.6	0.0	0	.0	0.0	5 3.3
Def Dbt		42.4	16.4	9.6	27	.7 4	3.3 57.6	6 72.4
Def Fin		15.3	24.5	0.0	0.	.0	0.0 38.3	84.9

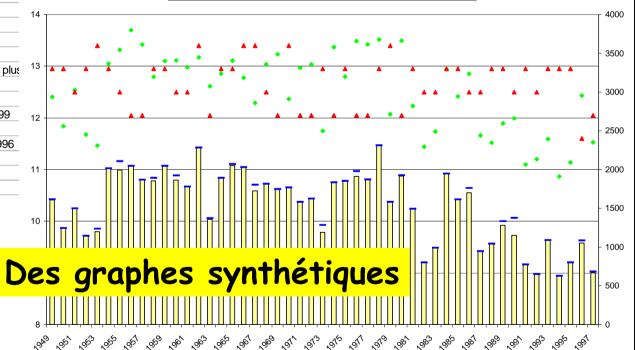
Des indicateurs

Points déviants: +/- 1.5 e.t. Rendement + 1962 1978 1982 1991 1992 1994 1995 1997 1956 Marge 1991 1992 1994 1995 Les trois années avec une différence relative de rdt au poter tiel la plus 1990 1955 1973

Satisfaction movenne en eau durant la phase de préfloraisor =0.999 Satisfaction moyenne en eau durant la phase de floraison=0 999 Satisfaction moyenne en eau durant la phase de postfloraison=0.996

Pas de décomposition Inter / Intra

Des années déviantes



☐ Rendement (T/ha) ◆ Marge (F/ha) ▲ Eau (m3) — Rendement potentiel (T/ha)





#### Utilisation de l'outil -5-

#### Améliorer une stratégie

- Screening
- Optimisation
- Apprentissage

Pas à pas : essai - erreur

Et si je commence un peu plus tard Et si je mets un peu moins d'eau Et si je reviens moins souvent

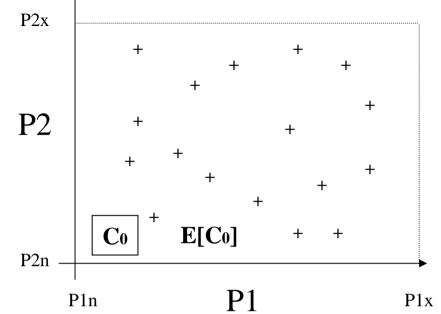
<mark>⇒ indicateurs</mark> ■

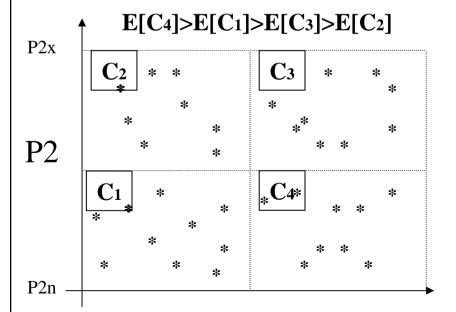
Evaluation Tri Amélioration





#### Utilisation de l'outil -6-



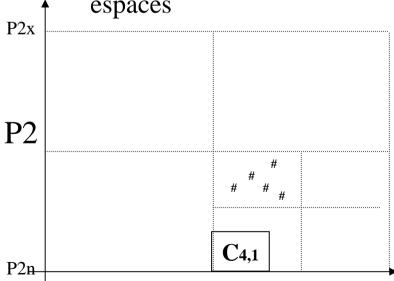


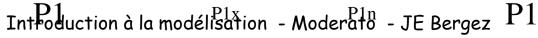
#### Optimiser une stratégie -1-

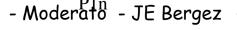
- Dans chaque région, un certain nombre de points est tiré aléatoirement
- Pour chaque point un nombre de climats est tiré
- E[J] pour la région est approché par

$$E[J(\theta,\xi)] \approx \frac{1}{M} \sum_{j=1}^{M} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} J(\theta_{j},\xi_{i}) \right\}$$

La région la plus prometteuse est alors divisées en 2<sup>p</sup> sous hyperespaces









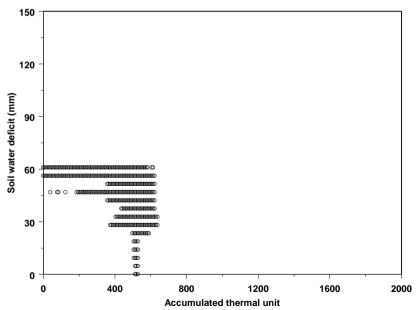


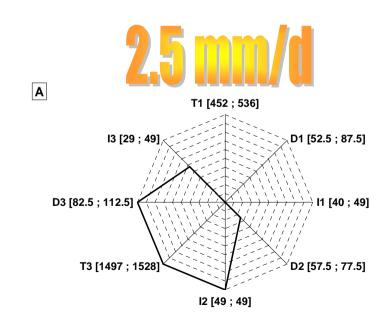
#### Utilisation de l'outil -7-

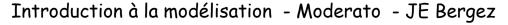
#### 150 120 Soil water deficit (mm) 325 30 400 475 500 400 800 1200 1600 2000 Accumulated thermal unit

#### Optimiser une stratégie -2-

L'irrigation débute à partir de T1 dès que le sol atteint un déficit D1. Il est apporté. Les irrigations suivantes ont lieu quand le sol atteint un déficit D2. I2 est apporté. Pour l'irrigation suivant T3, si le déficit atteint D3 alors on apporte I3, sinon on arrête l'irrigation.









Etant le jour t, ayant le système dans l'état E(t) et suivant la stratégie S, quelle estimation du 2éme décile du rendement. Quelle qualité de cette estimation ? Comment modifier S pour améliorer ?

#### Variables explicatives

•Représentation du climat

Somme des pluies depuis le semis

Somme des températures (Tb6) depuis le semis

Somme des ETP depuis le semis

Somme du rayonnement depuis le semis

Représentation stragégie\*climat

Somme des irrigations depuis le semis

•Représentation du contexte

Débit disponible

Volume disponible

•Représentation de l'état de la culture

Indice foliaire à t

Biomasse à t

Stade à t

Jour Après Levée à t

Déficit hydrique maximum entre 0 et t

Déficit hydrique à t

TrTP moyen sur t

#### Variables à expliquer

Rendement

Marge brute

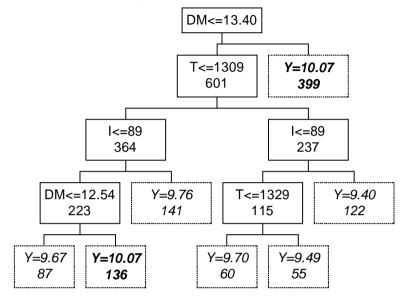
Quantité d'eau d'irrigation

Déficit à la récolte

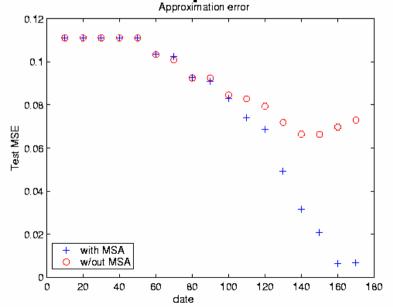


Introduction à la modélisation

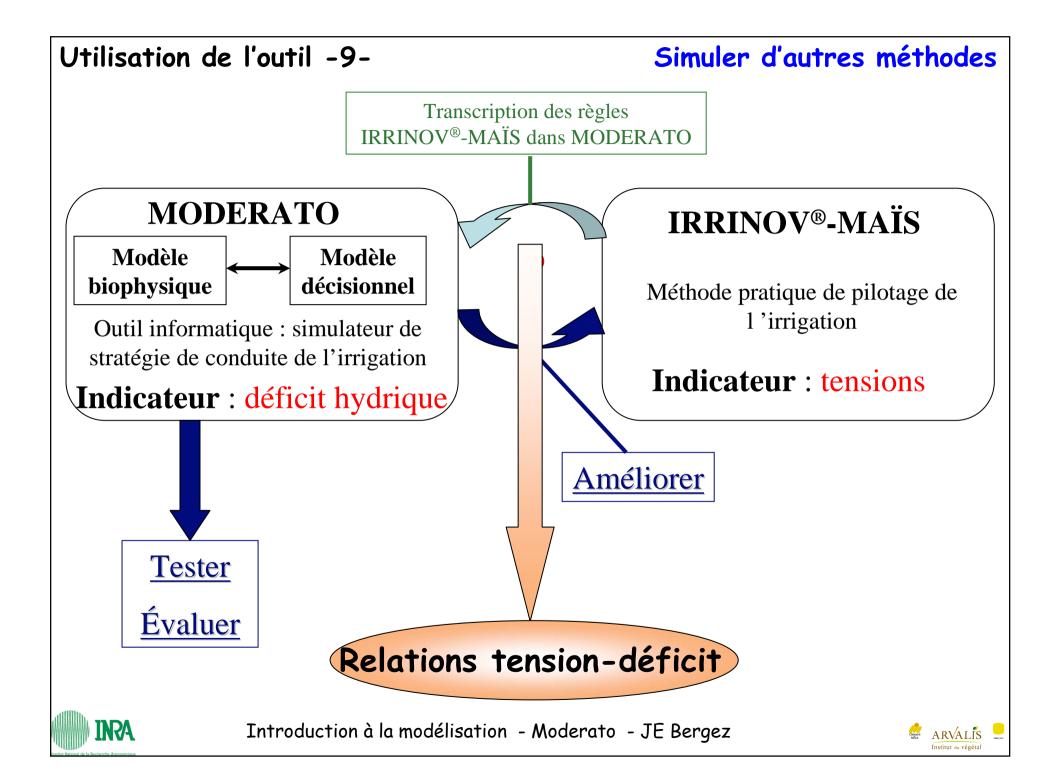
#### Arbre de regression avec t=110



#### Qualité de la prédiction







# **Participants**

#### **INRA Agronomie Toulouse**

- D. Baudet base de données
- J.-E. Bergez responsable projet, modèle décisionnel, azote
- N. Bosc aide informatique
- D. Burger-Leenhardt modèle humidité du sol
- Ph. Debaeke modèle biophysique
- A. Hilaire base de données
- D. Wallach aspects statistiques
- **Stagiaires**



- B. Lacroix- problématique irrigation du maïs
- J.-M. Deumier problématique irrigation du maïs Stagiaires

#### **INRA ESR Grignon**

P. Leroy - description du contexte et des RdD

#### **INRA BIA Toulouse**

- F. Garcia optimisation des RdD
- **B.** Goffinet aspects statistiques

Chambres départementales d'agriculture MP Chambre régionale d'agriculture MP



