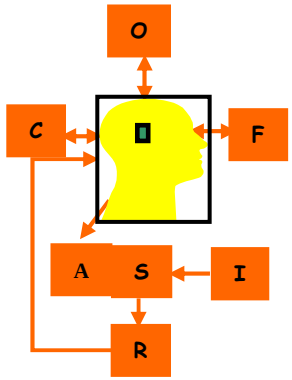
Modéliser la décision en agriculture



Jacques-Eric Bergez

INRA - UMR ARCHE – Toulouse

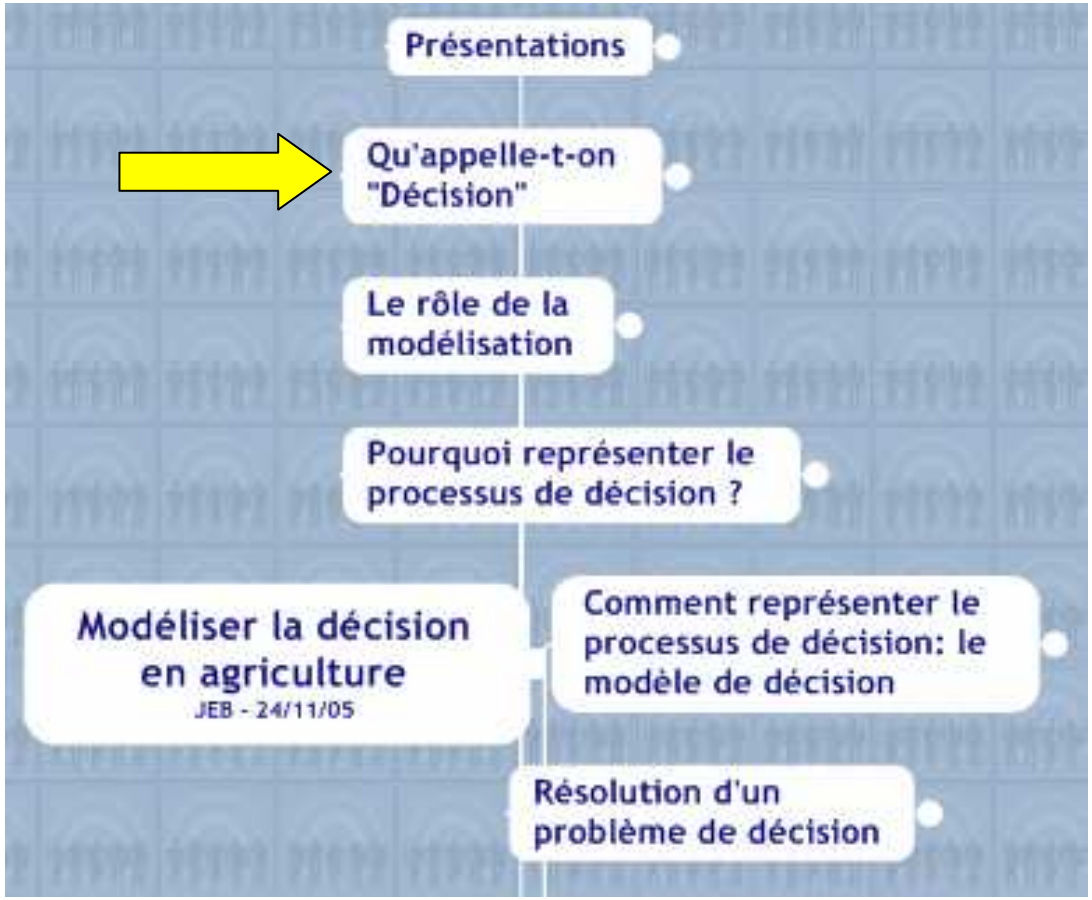
jbergez@toulouse.inra.fr

Utilisation de supports de l'école Chercheurs « Aide à la décision » du 18/05/01
J.M. Attonaty, M. Cerf, M.O. Cordier, F. Darese, M. Duru, N. Girard, F. Garcia, Ph. Faverdin, C. Loyce, R. Teulier

Préambule

Il s'agit bien ici d'une introduction sur les **modèles de décision** tels que l'on peut en développer pour répondre à certaines questions et non pas sur la création et l'utilisation d'un **outil d'aide à la décision** qui peut certes correspondre à une utilisation d'un modèle de décision, mais qui peut aussi provenir de la traduction et de l'utilisation de tout autre modèle

Plan

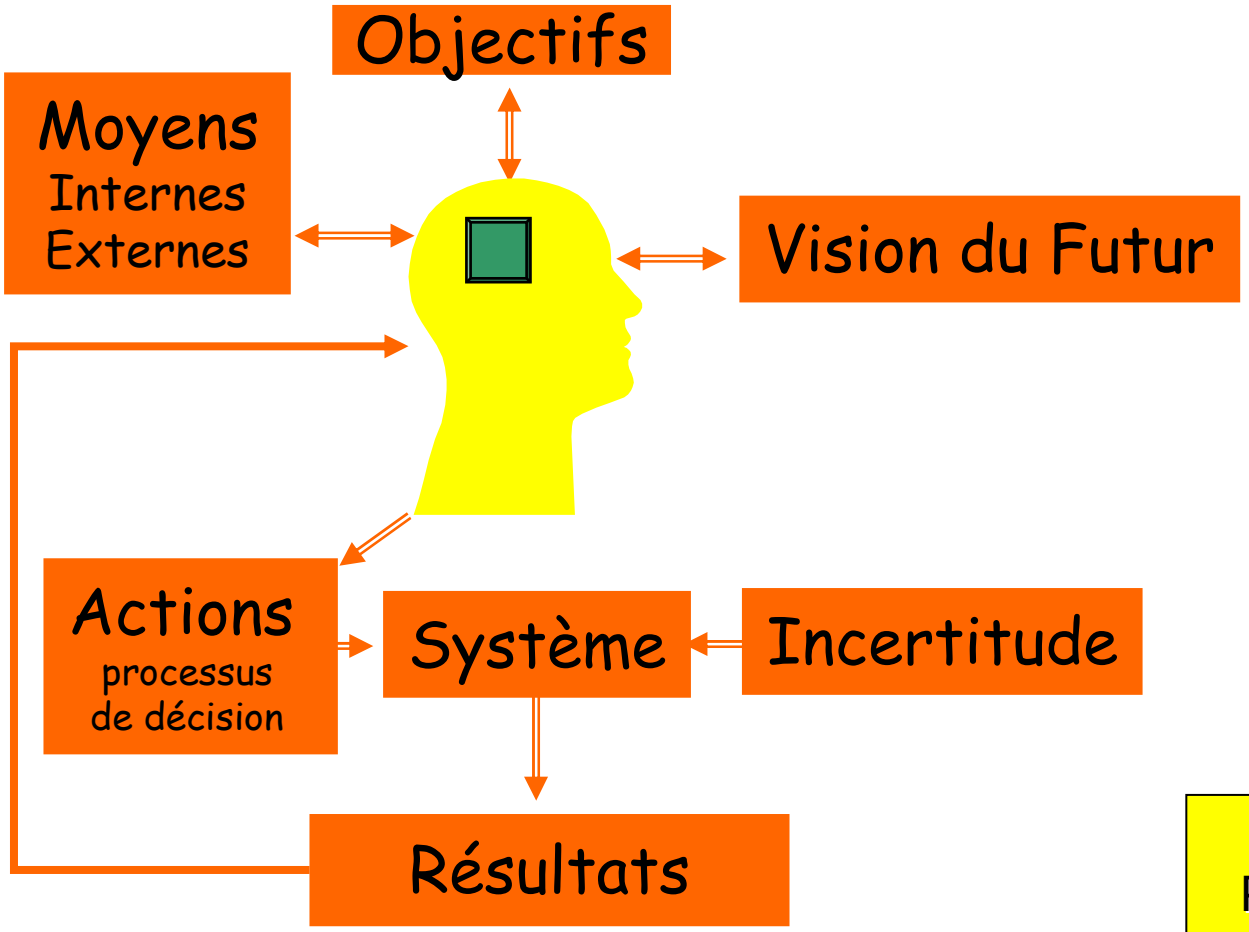

Présentations
Qu'appelle-t-on "Décision"
Le rôle de la modélisation
Pourquoi représenter le processus de décision ?
Modéliser la décision en agriculture
JEB - 24/11/05
Comment représenter le processus de décision: le modèle de décision
Résolution d'un problème de décision

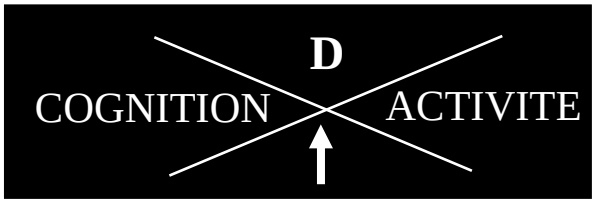
Qu'appelle-t-on « Décision »

Le Petit Robert: Décision

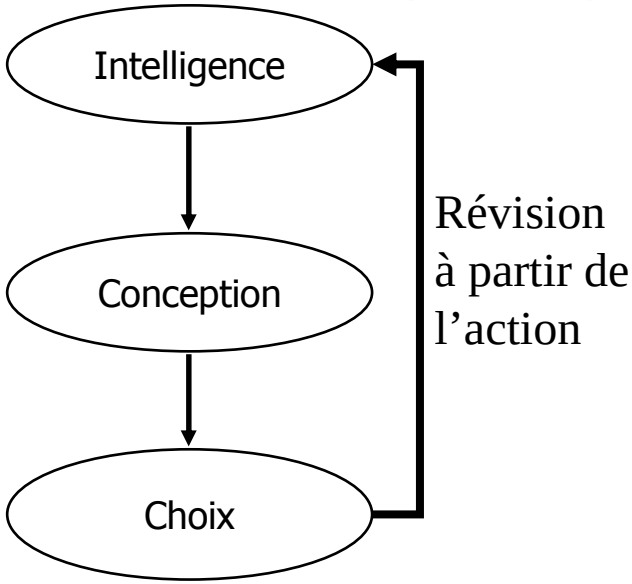
Action de décider ; Jugement qui apporte une solution

Fin de délibération dans **un acte volontaire** de faire ou de ne pas faire une chose



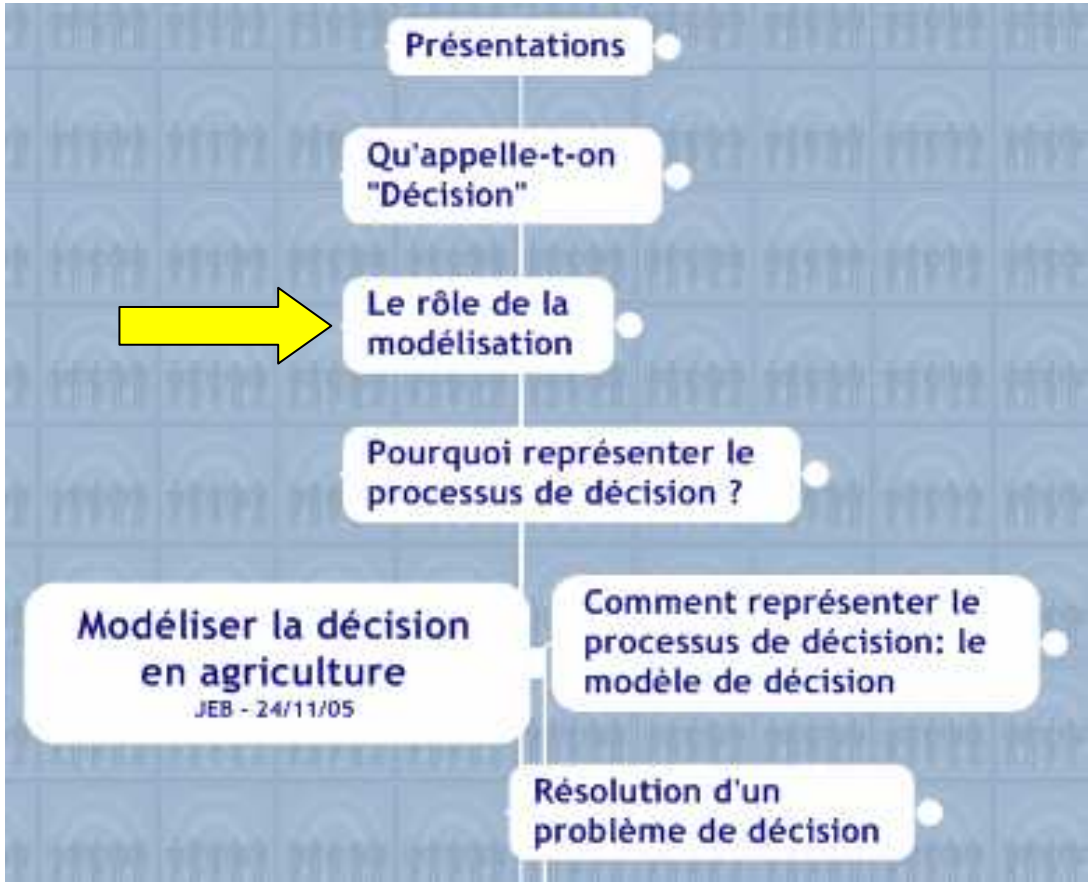


Le modèle canonique de la décision par Simon (1960, 1977)



Processus de décision :
Processus ni **séquentiel** ni **linéaire**

Plan


Présentations
Qu'appelle-t-on "Décision"
Le rôle de la modélisation
Pourquoi représenter le processus de décision ?
Modéliser la décision en agriculture
JEB - 24/11/05
Comment représenter le processus de décision: le modèle de décision
Résolution d'un problème de décision

Le rôle de la modélisation

- Il s'agit ici aussi d'une représentation simplifiée et partisane d'un système plus ou moins défini
- Le système est circonscrit :
  - aux actes techniques des agriculteurs
  - aux processus de décision qui mènent à ces actes
- Le processus de décision peut être complexe, des simplifications sont alors proposées en fonction des finalités du modèle et des connaissances disponibles

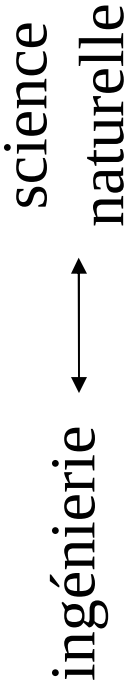
Pourquoi modéliser ?

Qu'il s'agisse d'un phénomène physique ou d'un phénomène social, on peut assigner trois objectifs à la modélisation

Comprendre - Analyser

Proposer - Concevoir

Transmettre - Enseigner



Quelle décision modéliser ?

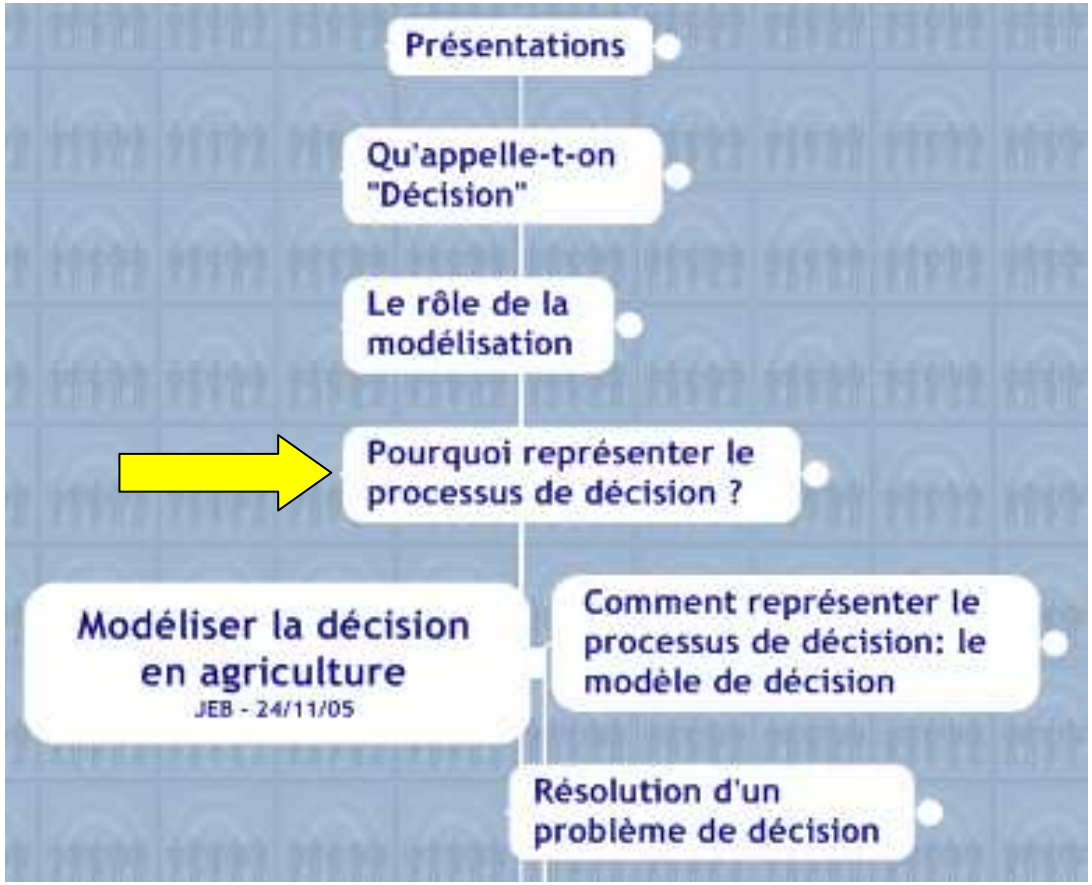
- La décision peut-être abordée comme un phénomène naturel (chez l'homme, l'animal, en société, etc.) [économie, psychologie, sciences cognitives, intelligence artificielle …]
- La décision peut-être étudiée en tant que résultante d'un problème de conception, de conduite, d'aide à la décision, etc.

	Objets et phénomènes naturels	Objets et phénomènes artificiels
Science naturelle	analyse	
Science d'ingénierie	analyse, transformation, conception →	

On retrouve ici la Dichotomie de l'analyse systémique

MODELISATION =>SIMULATION

Plan


Présentations
Qu'appelle-t-on "Décision"
Le rôle de la modélisation
Pourquoi représenter le processus de décision ?
Modéliser la décision en agriculture
JEB - 24/11/05
Comment représenter le processus de décision: le modèle de décision
Résolution d'un problème de décision

Itinéraire technique

De nombreux modèles de culture sont des modèles prescriptifs: date/dose sont données comme entrées du modèle.

Le 15/04 je laboure à une profondeur de 0.4 m ;
Le 18/04 je fais la reprise de labour avec un cover crop ;
Le 01/05 je sème du maïs Cécilia à la densité 80 000 pieds ha^{-1} et une entre ligne de 0.8 m. Je combine le semis avec un apport d'engrais starter à 30 Unité N ha^{-1} ;
Le 05/05 j'irrigue pour aider à la levée, j'apporte 10 mm avec un pivot ;
Le 20/05 je fais un binage ;

Management option	Valeur
D_semis	01/05
Q_semis	80 000
D_Fert1	01/05
Q_Fert1	50
D_Fert2	15/06
Q_Fert2	150

Ces modèles doivent alors:

Intégrer les actions menées (semis, fertilisation, irrigation …)

Intégrer l'effet des différentes modalités pour une même action (labour : profond, superficiel, reprise ; fertilisation : starter, en plein, localisée ; irrigation : pivot, enrouleur, intégrale …), mais également aux espèces et au sein des espèces, aux variétés.

Ex: Semis

« Je sème le 15/04 »

« A partir du 15/04, dès que la somme des pluies des 3 jours précédents est inférieure à 10 mm, alors je peux semer »

Damned, il pleut des cordes !!!

Prendre en compte le climat

20 mm sur sable ou sur argile, c'est pas pareil

« A partir du 15/04, dès que la somme des pluies des 3 jours précédents est inférieure à 10 mm et que je suis en sol léger (%argile<15%), alors je peux semer ; sinon j'attends un jour de plus

Prendre en compte le sol

Euh, faut voir pour chaque sol ?

« A partir du 15/04, quand le sol est portant (FRUT<0.8) alors je peux semer

Généraliser le conseil par changement de variable

« Si date<01/05 alors on utilise des variétés tardives et la densité est 77 000 pieds ha^{-1};

Si 01/05<date<15/05 alors variétés $\frac{1}{2}$ tardives et la densité est 80 000 pieds ha^{-1};

Sinon on utilise des variétés précoces et la densité est 85 000 pieds ha^{-1}.»

Oui mais je varie en fonction ...

Comportement adaptatif de l'agriculteur

« Si date>15/06 et semis de maïs non effectué, alors je sème du tournesol »

« Si date<01/05 et que les prévisions de pluie sur les 4 jours à venir sont inférieures à 15 mm, alors je sème »

Oui mais je fais en fonction du futur

Comportement anticipatif de l'agriculteur

Fichiers de paramètres

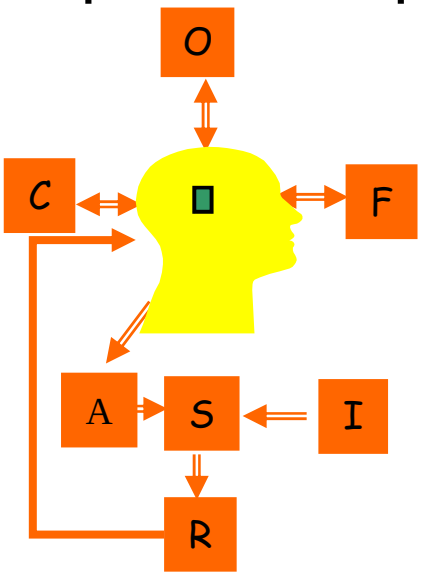
- Représenter des décisions déjà prises :
  Diagnostic – Estimation des paramètres
- What if :
  Expérimentation virtuelle, mais limitée

Modèle prescriptif :

Ne prend pas en compte l'état du système
Est spécifique au contexte pédo climatique concerné

Pourquoi modéliser la décision ?

- Les systèmes de production (de culture ou d'élevage) nécessitent des actions humaines. Ces actions sont la résultante de contraintes et d'objectifs. Proposer une modélisation de la décision, c'est **expliciter les objectifs et les contraintes** pour pouvoir dans un second temps améliorer les actions dans un cadre connu et explicité: on parle alors de **stratégie de conduite**



- Dans un même cadre de contraintes et de décision: modifier les critères (les objectifs)
- Si on modifie les contraintes, quelles actions modifier pour atteindre les objectifs
- Chercher de nouveaux systèmes de vision pour mieux atteindre les objectifs

Modéliser la décision

C'est donc aussi bien pour :

Optimiser le choix de la dose d'azote sur blé

- Expliquer différentes attitudes face au risque climatique
- Concevoir des itinéraires techniques du blé éthanol
- Classer différentes stratégies de conduite du pâturage
- Comprendre l'organisation du travail agricole au sein de la cellule familiale
- Représenter la demande individuelle en eau d'irrigation d'un territoire

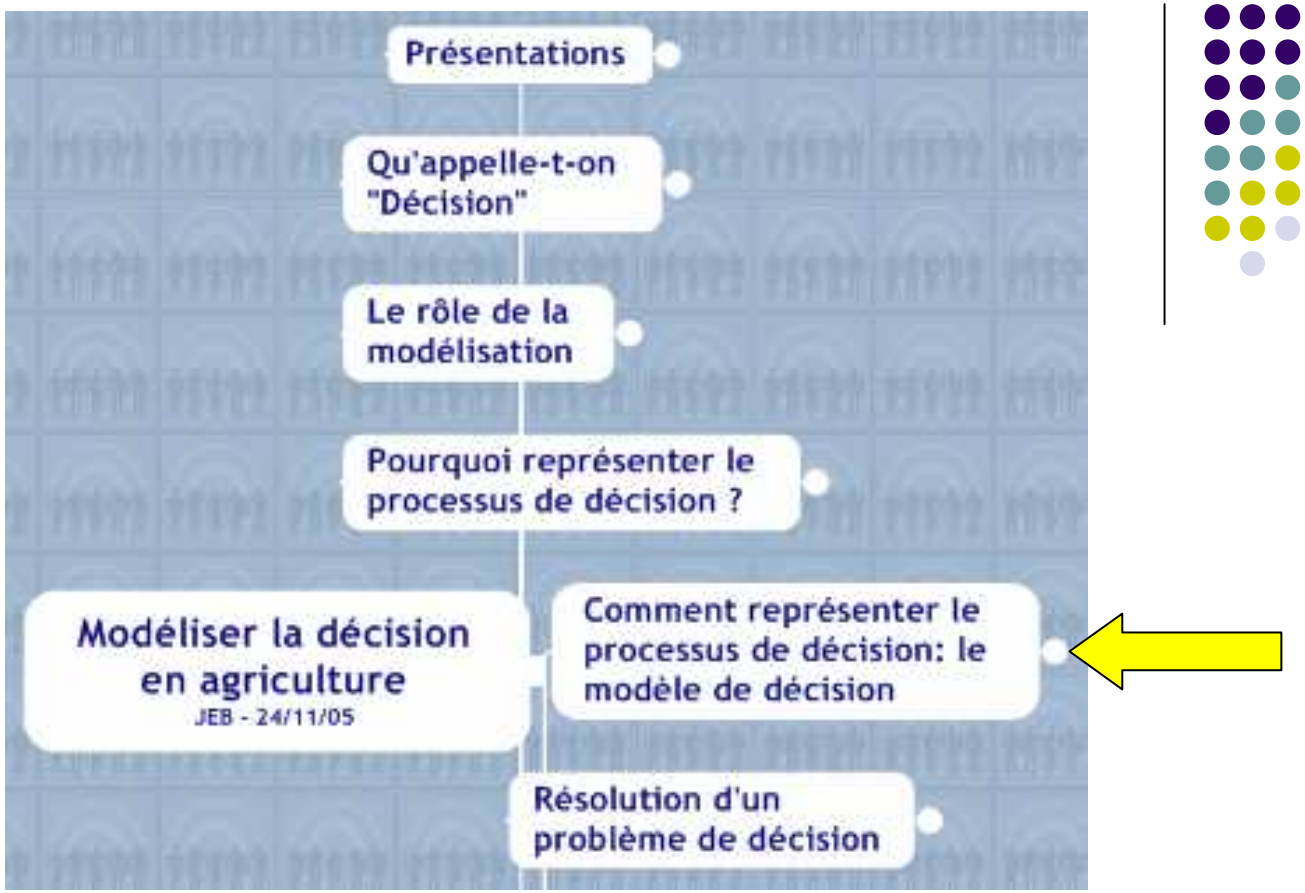
Des **modèles décisionnels variés**

Diachronisme et modèle de décision

Positionnement de l'utilisation du modèle par rapport aux informations disponibles

Type	Diagnostic	Tactique Pronostique	Stratégique
Temps	Passé	Présent	Futur
Informations	On connaît tout	Une information	On ne connaît rien
Applicatif	Particulier	Particulier	Général
Décision	Actions	Actions Modèle	Modèle
Avenir	Non	Non/Oui	Oui

Plan


Présentations
Qu'appelle-t-on "Décision"
Le rôle de la modélisation
Pourquoi représenter le processus de décision ?
Modéliser la décision en agriculture
JEB - 24/11/05
Comment représenter le processus de décision: le modèle de décision
Résolution d'un problème de décision

Comment représenter le processus de décision ?

- Un acte technique peut jouer sur plusieurs composantes du système biophysique: pour atteindre un même objectif, il existe plusieurs voies
- Un acte technique n'est pas indépendant des autres actes techniques: on ne peut représenter indépendamment les différentes décisions
- On ne modélise pas la décision, mais on représente le jeu des déterminants menant à la décision

Choix d'un modèle statique déterministe: la Régle de décision

- Il s'agit d'une fonction reliant les variables du système aux variables décisionnelles;
- Les variables du système utilisées sont appelées Indicateurs ; elles n'ont pas à être des variables d'état

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.

Indicateurs

- Dans le cadre d'enquêtes sur l'irrigation, les indicateurs au déclenchement de la campagne:
  - Quand le sol change de couleur
  - Quand la bêche ne rentre plus
  - Quand les feuilles se tordent
  - Quand le voisin commence
  - Quand le conseiller le dit
  - Quand les tensiomètres ont atteint un seuil
  - Quand les taupes soufflent une terre plus sèche
  - …
- Aspect simulable (donc modélisable) de l'indicateur
- Spécificité quant à l'action simulée
- Représentant une certaine réalité (dépend de la finalité du modèle)

Structuration 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

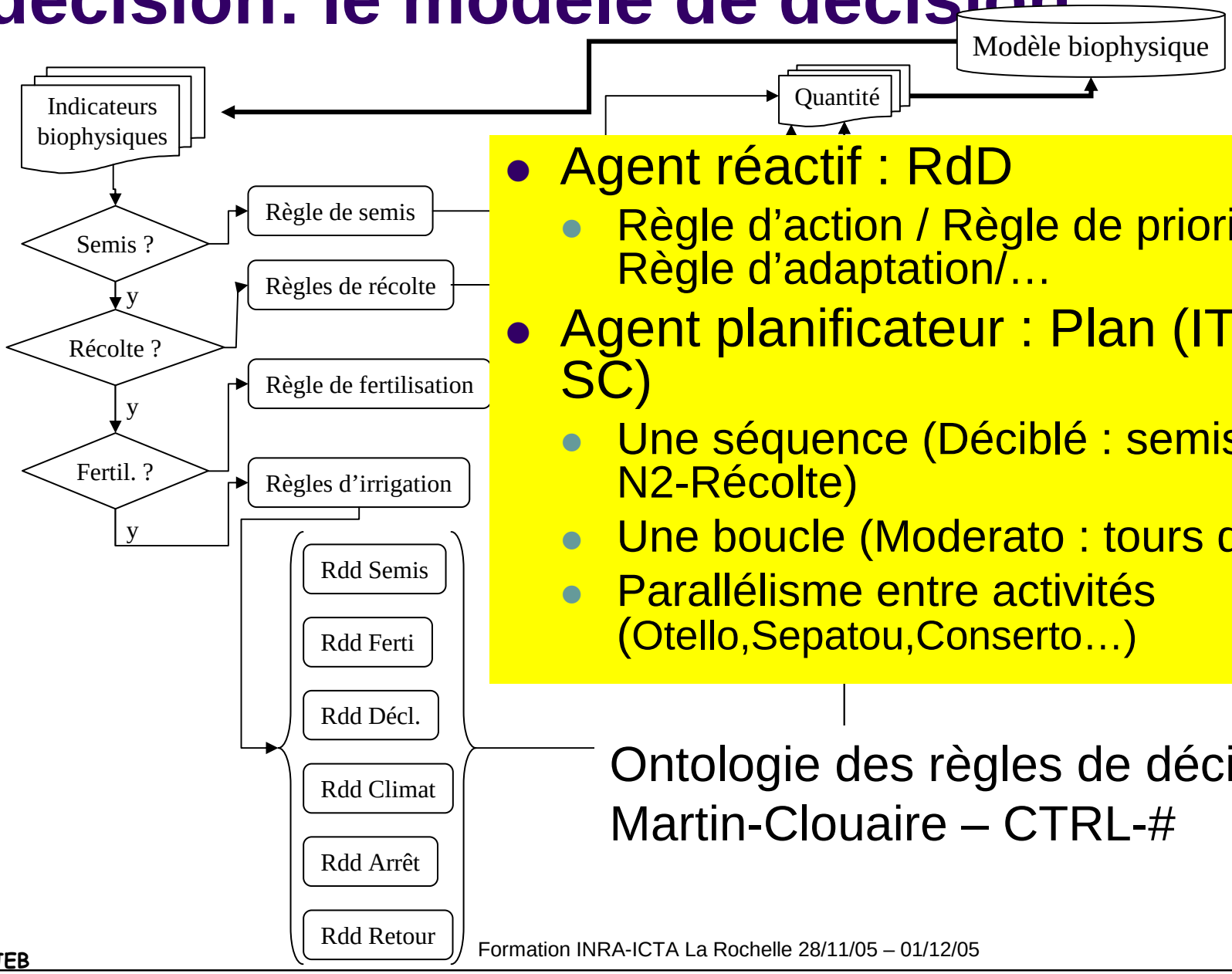
Seuil

Action

Synt/Gram

Opération

Enchaînement de règles de décision: le modèle de décision



- Agent réactif : RdD
  - Règle d'action / Règle de priorité / Règle d'adaptation/…
- Agent planificateur : Plan (ITK / SC)
  - Une séquence (Déciblé : semis-N1-N2-Récolte)
  - Une boucle (Moderato : tours d'eau)
  - Parallélisme entre activités (Otello,Sepatou,Conserto…)

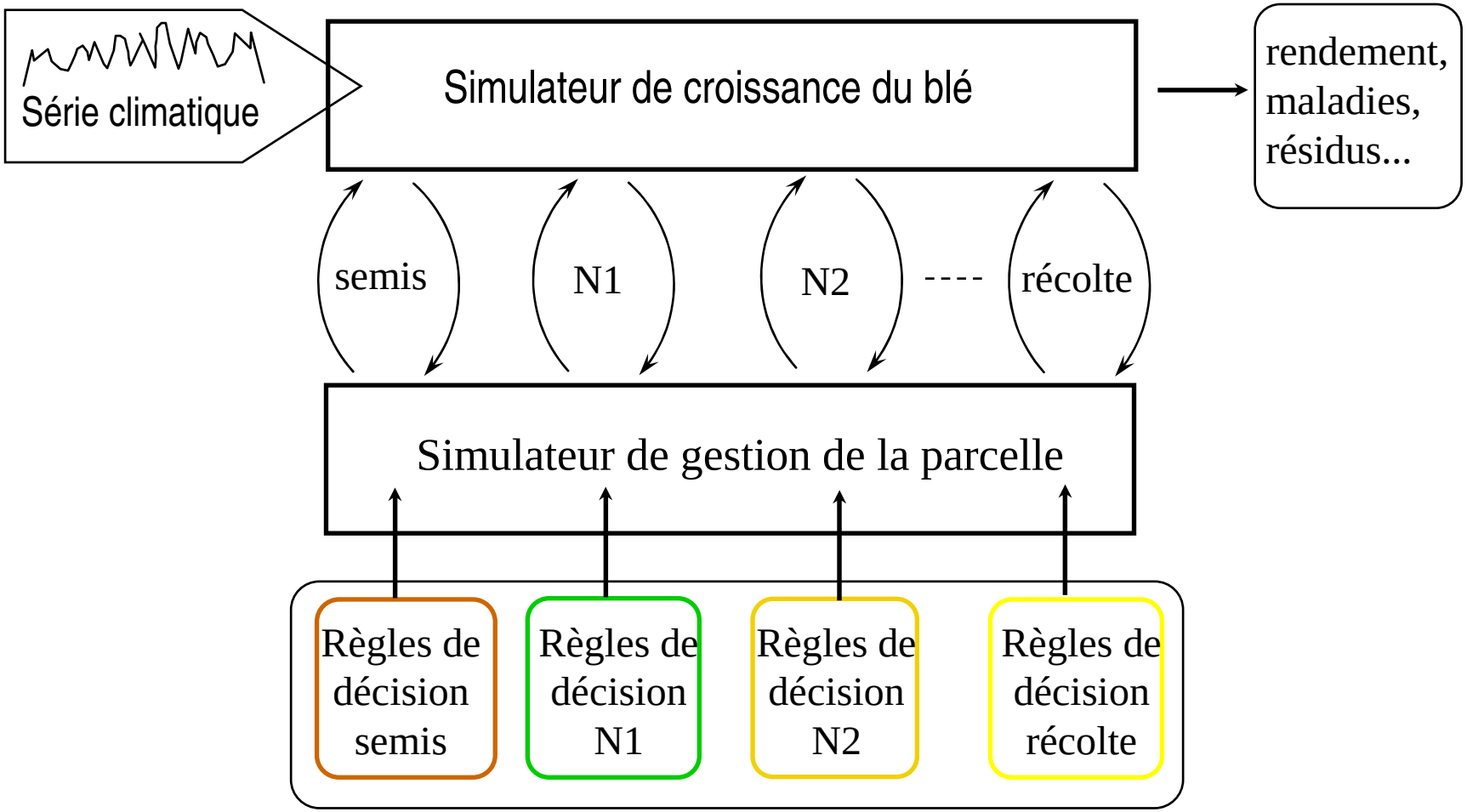
Ontologie des règles de décision : R Martin-Clouaire – CTRL-#

Exemple : DÉCIBLÉ

(Aubry et al. 96)

- conduite d'une parcelle de blé (semis, fertilisation, récolte)
- plan = **séquence** d'étapes de décision
- règles de décision précisant le moment de réalisation et les choix techniques
- sorties = itinéraire technique, variables agro-économiques

Exemple : DÉCIBLÉ



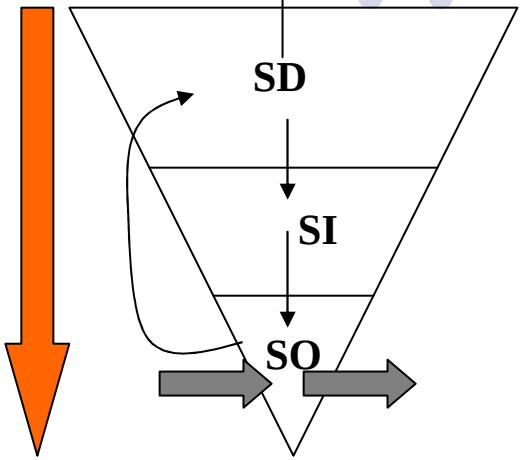
Obtenir les données pour écrire le modèle

- Importance des enquêtes et de l'expertise pour:
  - Définir le cadre des contraintes
  - Expliciter les objectifs
  - Structurer et hiérarchiser les actions
  - Définir les invariants et les spécifiques
- Mais:
  - La part du quantitatif vs le qualitatif
  - La part du modélisable vs le non modélisable
  - La part de l'explicit vs l'implicit
  - La part du technique vs le social
- L'importance des oublis (des hypothèses) dépend des objectifs de la modélisation

Deux approches pour construire des modèles décisionnels

Modéliser le processus décisionnel en vue
d'explorer le comportement du système
ainsi défini
⇨ prédiction, planification

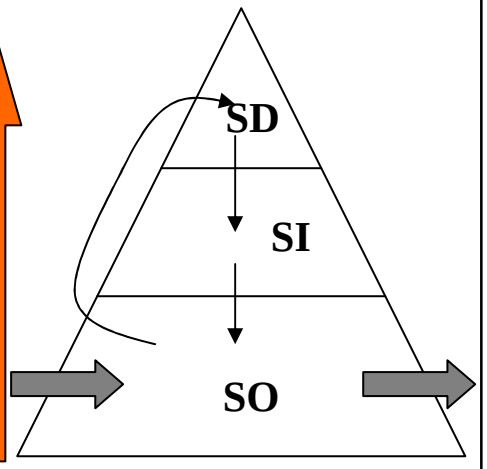
Processus de décision



Modéliser le système décisionnel, puis définir ce qu'il est nécessaire de modéliser sur les processus biotechniques en cause

Comprendre les combinaisons de pratiques mises en œuvre par les agriculteurs
⇨diagnostic, évaluation, classification

Pratiques

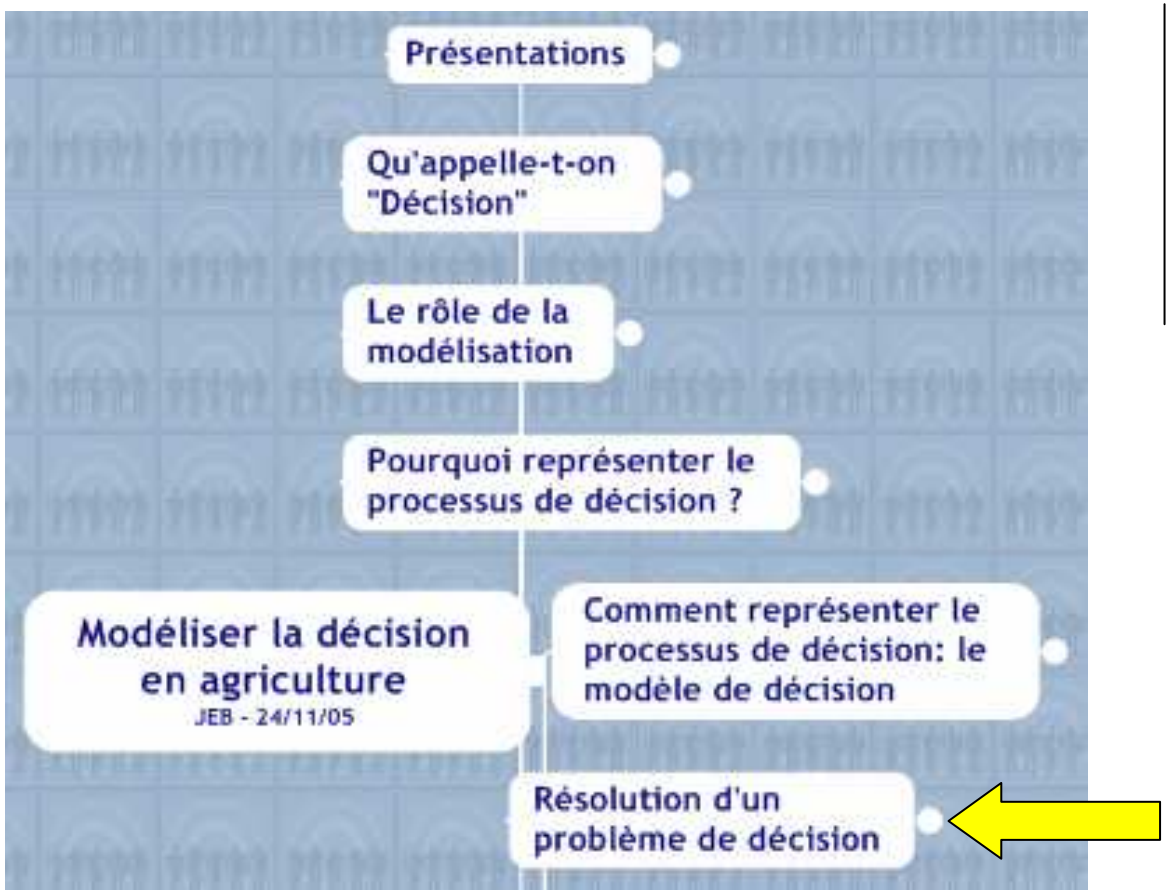


Modéliser les processus biotechniques, puis complexifier le modèle en y rajoutant des variables décisionnelles

Ce peut aussi être la base de modèles « individu centré »: de la décision au comportement

Mais les moutons ne parlent pas

Plan


Présentations
Qu'appelle-t-on "Décision"
Le rôle de la modélisation
Pourquoi représenter le processus de décision ?
Modéliser la décision en agriculture
JEB - 24/11/05
Comment représenter le processus de décision: le modèle de décision
Résolution d'un problème de décision

Résoudre un problème de décision

- Résoudre un problème de décision: on cherche une solution, dans un cadre théorique donné, qui permet d'atteindre ou d'approcher un objectif: quel jeu de déterminants mettre en œuvre et comment les agencer

Résoudre un problème de décision: pour qui ?

- Un agriculteur
- Un technicien de chambre ou d'institut
- Un décideur public
- Un problème de recherche

- Spécificité du problème et des hypothèses, spécificité de la représentation, spécificité du cadre théorique de résolution

Quels objectifs des modèles de l'activité agricole : quel formalisme, quelle méthodes de résolution?

Systèmes innovants

	1. Maîtriser les processus biotechniques	2. Explorer des alternatives de gestion	3. Comprendre les finalités du système
Tâche du modèle	Prédire / optimiser à partir d'options techniques standardisées	Comparer par simulation différentes options de gestion - Explorer des alternatives	Comprendre les objectifs du décideur en se focalisant sur ses pratiques
Contenu et type de modèle	Modèle biophysique + options	Modèle mixte biophysique /décisionnel	Modèle décisionnel à base de connaissances permettant des représentations symboliques
Données	Quantitatives Produites expérimentalement Sur les processus biologiques	Quantitatives et qualitatives Enregistrements dans les exploitations Sur les facteurs techniques et économiques	Surtout qualitatives Enregistrements dans les exploitations Décrivent les pratiques et leurs déterminants
Echelle de temps	Une saison ou un cycle annuel	Un cycle de production ou plusieurs années	Selon les échelles de temps pertinentes pour le projet de l'agriculteur

Résoudre des problèmes de décision

La **résolution des problèmes de décision** est abordée par différentes disciplines :

- recherche opérationnelle (science de la gestion)
- intelligence artificielle (science des machines intelligentes)
- automatique (science des automates)

La finalité de ces disciplines impliquent de travailler avec des **modèles spécifiques**

Cadres théoriques de résolution

Rationalité Complète

- Les objectifs du décideur sont clairement exprimés dès le départ et peuvent être rangés selon un ordre de préférence;
- L'ensemble des solutions possibles dans une situation de décision précise est connu et peut être évoqué;
- Les conséquences rattachées à chacune des solutions sont précisées;
- Le choix de la solution s'effectue en retenant celle qui produit les conséquences préférées en tenant compte des objectifs préétablis.

Rationalité limitée

- Percevoir un problème auquel il réagit: une version simplifiée de la réalité;
- identifier des actions possibles (sans toutes les découvrir);
- recueillir l'information nécessaire pour déterminer et évaluer les conséquences des actions;
- Les objectifs poursuivis par le décideur sont précisés tout au long du processus en termes de "niveaux d'aspiration » ou de buts minima";
- Le décideur arrête son choix sur la première option analysée qui satisfait chacun des buts fixés.

Rationalité adaptative

- Adaptation de l'organisation à son environnement

  provient d'enseignements découlant d'expériences antérieures (learning by doing)

- Apprentissage se fait dans:
  - l'élaboration de règles spécifiques de décision
  - la création d'indicateurs
  - le choix des buts à poursuivre
  - le développement de compétences particulières

Recherche Opérationnelle

La RO repose historiquement sur de nombreux modèles, formalismes et techniques :

- programmation linéaire et non-linéaire,
- programmation dynamique,
- théorie des graphes,
- théorie des files d'attente,
- théorie de la décision, décision statistique,
- théorie des jeux, etc.

Des modèles mathématiques et informatiques pour une démarche d '**optimisation de la décision** (cf. rationalité complète)

Intelligence Artificielle

Vers des machines intelligentes pour assister l'homme

- des modèles basés sur les processus de décision humains, permettant de rechercher et de construire des solutions satisfaisantes (cf. rationalité adaptative)
- pour résoudre plusieurs catégories de tâches

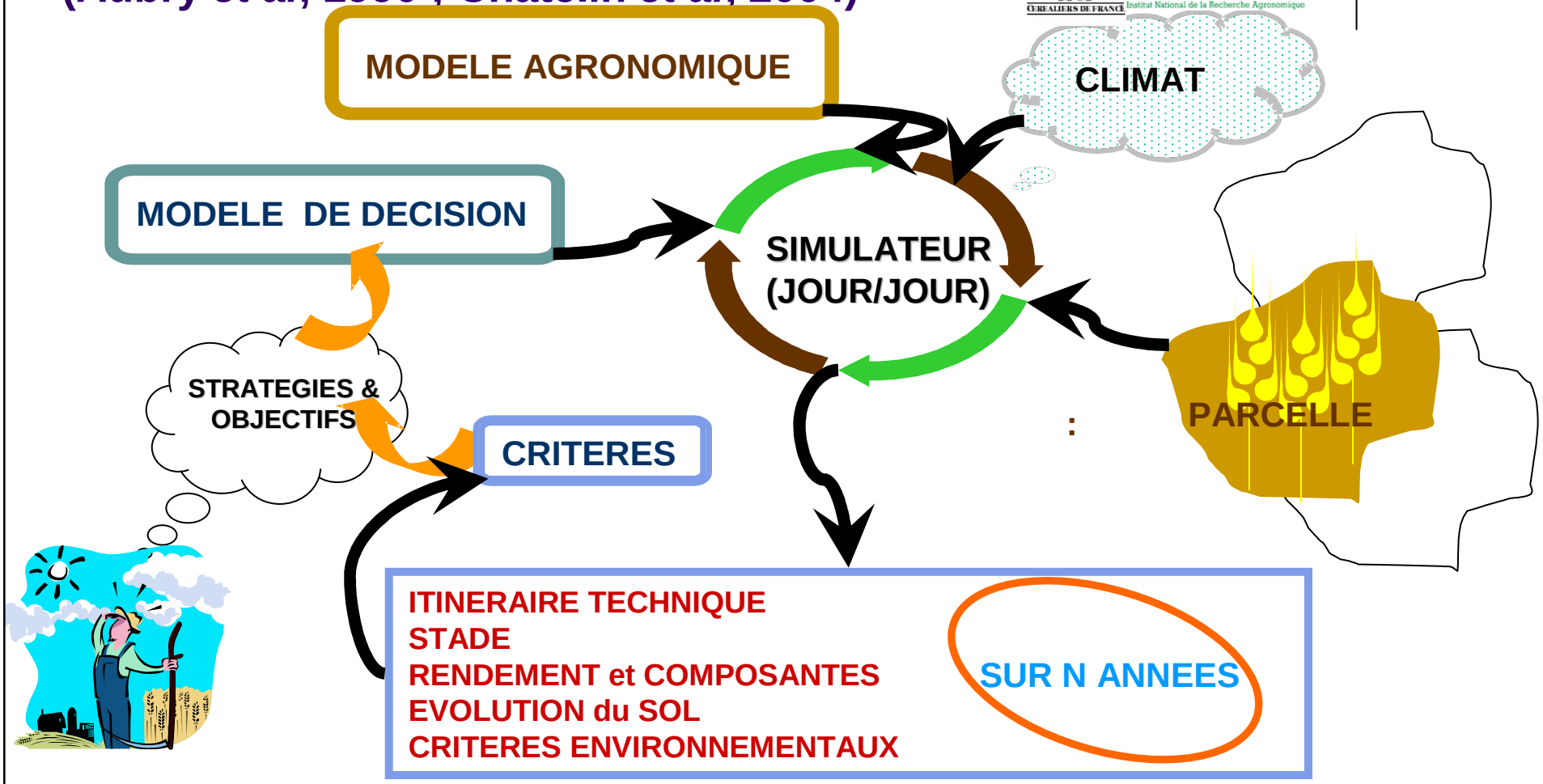
Améliorer les décisions: utiliser le modèle comme un simulateur

- Amélioration par essai – erreur
- Automatisation de création de stratégies de conduite : CSP
- Optimisation
  - D'un jeu de paramètres: optimisation stochastique
  - De règles de décision: optimisation neuro-dynamique
  - Une solution optimale – n solutions acceptables
  - Le multicritère: optimalité vs satisfaction
- Planification
- Data mining et méta-modèles (projet SACADEAU)

Amélioration par essais-erreurs

Les premières étapes de Déciblé

(Aubry *et al*, 1990 ; Chatelin *et al*, 2004)



Optimisation stochastique

*" L'irrigation débute à **T1** dès que le déficit du sol atteint **D1**. Une quantité d'eau **I1** est apportée. A la fin du cycle d'irrigation un nouveau cycle débute dès que le déficit atteint **D2**. Une quantité **I2** est apportée. Pour le cycle au delà de **T3**, si le déficit est supérieur à **D3** avant le début de cycle, un dernier cycle est initié avec une quantité **I3**, sinon la campagne se termine. "*

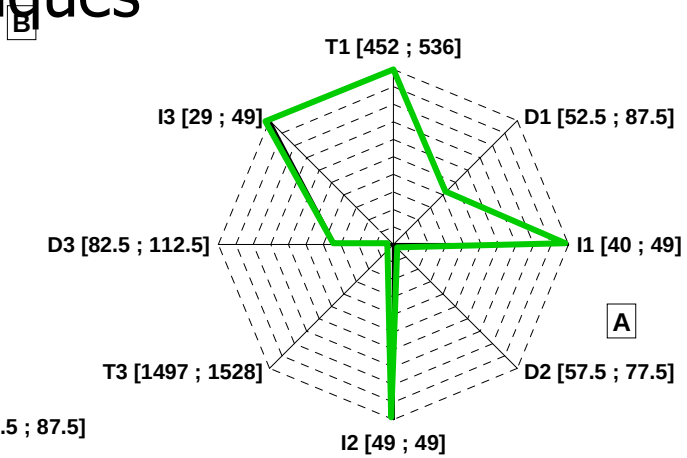
Ex: P2P

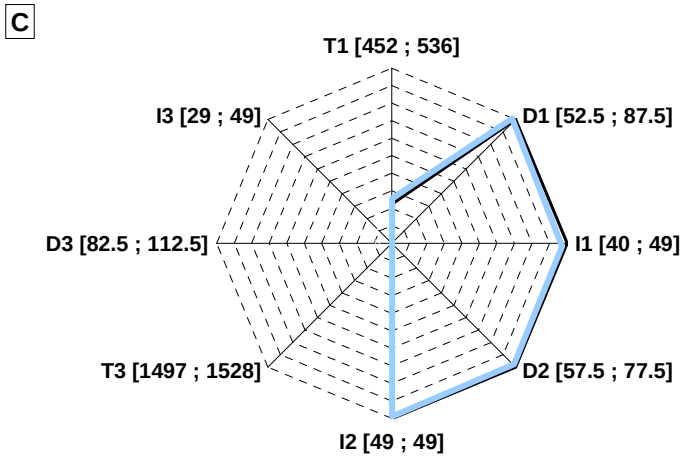
3 contextes hydrauliques

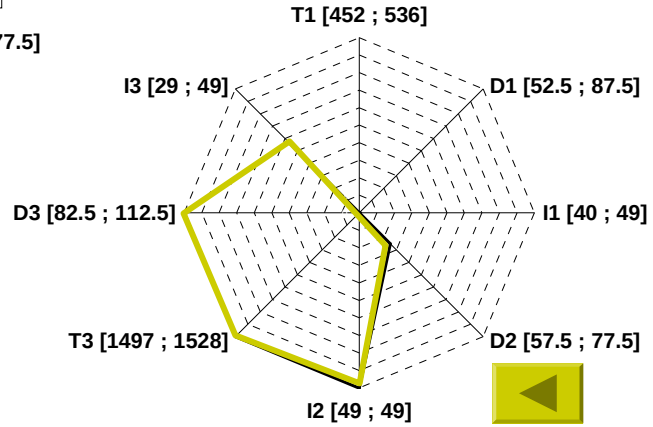
A: 2.5 mm j-1

B: 3.5 mm j-1

C: 4.5 mm j-1







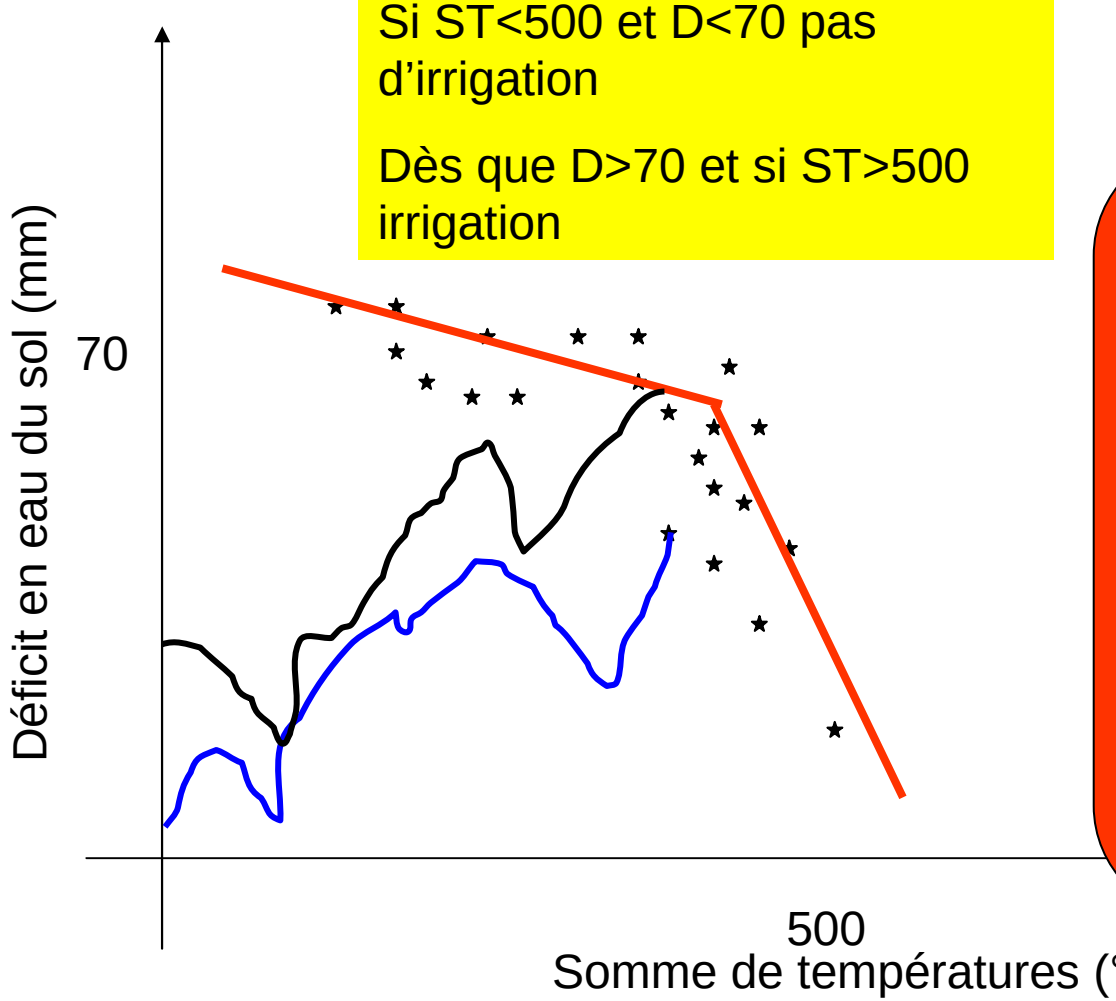
Optimisation neuro-dynamique

« *L'irrigation débute à **T1** dès que le déficit du sol atteint **D1**.* »

Si ST<500 et D<70 pas d'irrigation

Dès que D>70 et si ST>500 irrigation

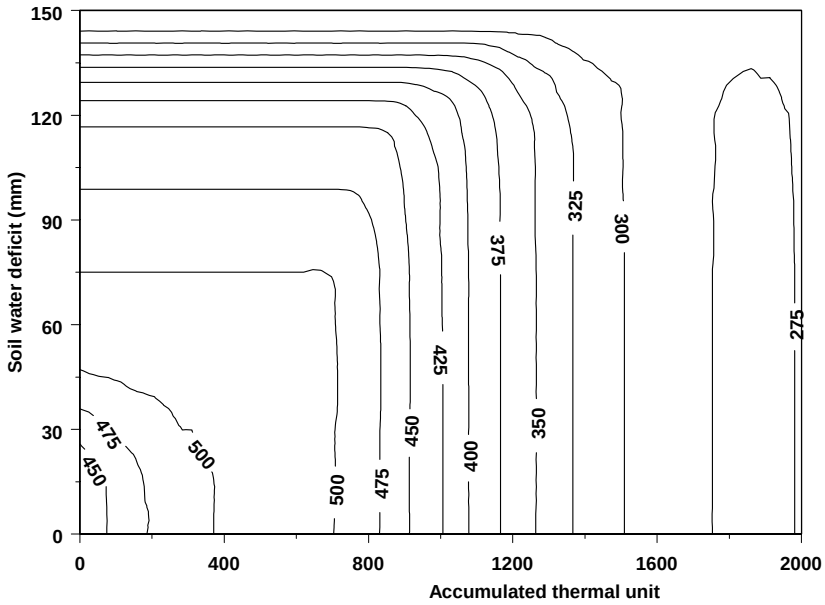
Ex: QRLearning



Méthodes complexes
Peu utilisables sur des processus complexes
Heuristiques peu évidentes
Il faut traduire les résultats en règles
MAIS elles peuvent proposer des stratégies innovantes en rupture avec la connaissance des experts

Une solution optimale; n solutions acceptables

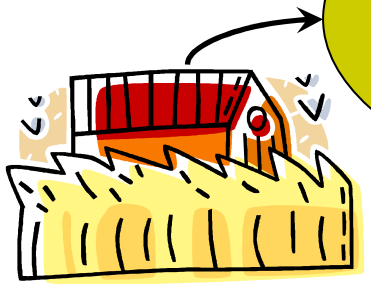
- Les algorithmes d'optimisation fournissent certes une solution optimale, mais il existe tout un espace de solutions quasi-optimale. La connaissance de cet espace est importante pour permettre une adaptation de la règle à des conditions réélles



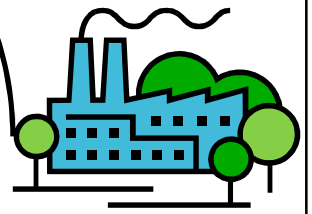
D'une optimisation monocritère à des solutions satisfaisantes multicritères

Pouvoirs publics

Marge et coût de production
Bilan énergétique
Reliquat d'azote minéral dans le sol à la récolte
Quantité de matières actives de produits phytosanitaires
Nombre de passages d'outils
Teneurs en protéines du blé
Dureté variétale



Agriculteurs



Transformateurs

Pour un critère unique J

$$\pi \rightarrow J(\pi, C)$$

on recherche des stratégies optimales

$$\pi^* = \text{argmax } E\,[J(\pi, C)\,]$$

Bon pour un certain nombre de critères; pas trop mauvais pour les autres

AMCD: RO
Opti MultiObj: IA

Thèse O.Crespo

Quelle validation des modèles de décision ?

- Validation conceptuelle par expertise;
- Comparaison entre simulations et observations: le suivi et le calendrier d'opérations techniques;
- Il est difficile de définir un critère pertinent d'évaluation du modèle : nombres de jours ou modèle et réalité donne une même action, nombre de jours moyens de décalage, nombre d'opérations totales effectuées, quantité totale apportée … ?

Quelle validation des décisions obtenues par le modèle ?

- Expertise: cohérence par rapport aux jeux de contraintes et aux objectifs;
- Courbes de ROC: approche statistique (utilisée en médecine) : difficile à mettre en œuvre dans le cas d'un modèle de décision complexe;
- Mise en œuvre: expérimentations systèmes, prototypage.

Eléments de conclusion

- Développer un modèle de décision est un choix lié à la question posée (bilan hydrique d'une région vs demande en eau d'un territoire)
- Il s'agit d'un modèle comme un autre: des hypothèses sous jacentes, des équations, des formalismes
- Des enquêtes sont nécessaires à la création des équations – des suivis peuvent être nécessaires à la validation conceptuelle
- De tels modèles permettent de représenter les processus de décision,et donc de permettre une variation plus réaliste des résultats du modèle à des changements
- Il existe des méthodes spécifiques de résolution
- Le formalisme de règle de décision peut être généralisé à d'autres types de modèles