

**SIMULATION A BASE DE CONNAISSANCE  
POUR L'AIDE A LA DECISION EN AGRICULTURE.  
APPLICATION AU CHOIX DES EQUIPEMENTS ET A L'ORGANISATION DU TRAVAIL.**

Jean Marie ATTONATY \*, Marie Hélène CHATELIN \*,  
Jean Christophe POUSSIN \*\*, Louis Georges SOLER \*\*\*

**RESUME**

Pour aider les agriculteurs à raisonner leur équipement et l'organisation du travail, nous avons cr   un simulateur conçu pour être un instrument d'apprentissage. Sa mise en oeuvre passe par:

- la formalisation des processus de décision de l'agriculteur;
- la représentation informatique de ce modèle dans un cadre qui fait appel à trois classes d'objets, des règles de production et un langage dédié;
- l'exploitation de ces connaissances par un simulateur qui reconstitue le journal des travaux pour divers scénarios climatiques.

Les résultats de la simulation constituent une base de données que l'agriculteur interroge pour apprécier la pertinence de ses règles de décision et le niveau de risques qu'elles induisent.

**Mots-clés**

Gestion d'exploitation agricole, SIAD, simulation à base de connaissance, perception du risque, organisation du travail.

**ABSTRACT**

To help farmers to assess their equipments and work management, the authors have built a simulator conceived as a training tool. It is based on three approach stages :

- modeling the farmer's decision processes;
- representing this model through a informatic framework using three classes of objects, production rules and specific language;
- using this knowledge to run the processes and build a work schedule according to several weather scenarii.

The results make up a data base. The farmer questions it in order to analyse the pertinence of his rules and the risk levels linked with the simulated decisions.

**Keywords**

Farm management, DSS, knowledge-based simulation, risk perception, work management.

\* I.N.R.A. Economie et Sociologie Rurales. 78850 Grignon ( tel 16 1 30.54.45.46, Fax 30.54.94.54 )

\*\*O.R.S.T.O.M. antenne auprès de la station INRA ESR 78850 Grignon

\*\*\* I.N.R.A. Systèmes Agraires et Développement. 78850 Grignon ( tel 16 1 30.54.41.81,  
Fax 30.54.40.66 )

Dans l'ensemble du processus décisionnel (Simon 1960, Courbon 1982), les techniques quantitatives de gestion privilégient traditionnellement les phases de choix (recherche opérationnelle) et de suivi (système de traitement de l'information). L'évolution et l'utilisation de ces deux approches furent indiscutablement liées à l'évolution des ordinateurs. C'est ainsi que l'émergence du concept de SIAD (système interactif d'aide à la décision) revendiqué aussi bien par les informaticiens de gestion que par la recherche opérationnelle ne fut possible qu'avec la génération d'ordinateurs dotés d'interfaces interactives (écran, clavier, souris, graphisme).

Il peut paraître surprenant de noter que ces deux approches évoluèrent souvent de façon indépendante alors même que Simon mettait en évidence la double nature de la décision agissant à la fois sur la réalité (variables de choix) et sur les représentations que se fait le décideur de cette réalité (variables de contrôle).

Actuellement l'introduction des techniques issues de l'intelligence artificielle permet d'imaginer une nouvelle génération de simulateurs fournissant les moyens de formaliser ces représentations et d'en analyser la cohérence. En ce sens, l'organisation du travail dans l'exploitation agricole constitue pour nous un banc d'essai pour créer et expérimenter ce nouveau type d'instrument dont l'ambition est double :

- offrir un cadre et un langage permettant de décrire la représentation que se fait l'agriculteur de son mode de gestion, d'en simuler le comportement face à des scénarios climatiques, et finalement d'apprendre à réagir sur modèle.
- être un instrument d'aide au choix, dans la mesure où une fois une représentation acceptée, il permet de tester des hypothèses.

## 1. POSITION DU PROBLEME

Comme tout chef d'entreprise un agriculteur doit décider de ses productions et de ses techniques de production.

Certaines décisions ont un rôle stratégique dans la mesure où elles augmentent ou restreignent le champ des possibles. C'est le cas de l'acquisition de nouveaux équipements. Elle le restreint au niveau de la structure financière, mais elle l'accroît en augmentant les capacités de production. En effet choisir des équipements c'est :

- choisir une gamme de productions que l'on pourra pratiquer,
- déterminer le niveau de main d'oeuvre nécessaire,
- se préparer à saisir des opportunités de s'agrandir,
- enfin pouvoir réagir aux aléas climatiques.

Le choix des équipements oblige donc une projection dans l'incertain de l'avenir.

Traditionnellement, l'augmentation de la productivité de la main d'oeuvre s'est faite par une augmentation systématique de la puissance des matériels à chaque renouvellement. Cette pratique, à l'origine d'un certain suréquipement, était aussi une façon simple de pallier les risques liés aux aléas climatiques. Mais le coût de cette assurance passive devient trop élevé et entraîne une fragilité des exploitations vis à vis des aléas commerciaux.

En effet, l'environnement économique s'est modifié : le prix des produits agricoles baisse en valeur réelle, l'inflation ralentie accroît le taux réel des emprunts.

Aussi de plus en plus d'agriculteurs se demandent si une autre voie ne consisterait pas à disposer d'un parc de matériel moins important et à s'adapter de manière plus active aux conditions climatiques par des ajustements dans la conduite des cultures, au prix d'une éventuelle baisse des rendements.

Rappelons brièvement quelques spécificités de l'activité agricole.

- Les décisions prises sont le fait d'un décideur unique qui a donc une vision multiforme mais unique de son exploitation et de l'environnement. Les décisions à prendre sont continues, techniques et économiques, tactiques et stratégiques.

- La faisabilité et la performance des travaux sont tributaires des conditions climatiques alors que l'enchaînement des travaux doit être raisonné en fonction des dates d'exécution et de la qualité du travail, et que les plages d'exécution revêtent un caractère flou et peuvent être remises en cause par l'agriculteur.
- Enfin les données chiffrées sont rares. En effet, les comptabilités ne fournissent pas de données sur les temps de travaux ou sur les opérations culturales. L'évolution rapide des techniques agricoles rend rapidement obsolètes le peu de références expérimentales existantes. Nombre d'informations présentes seulement dans la mémoire de l'agriculteur sont de nature qualitative et subjective, l'extraction de ces connaissances constitue donc une condition de la résolution du problème.

La nature complexe et peu structurée du problème, la multiplicité des critères qualitatifs sont autant d'obstacles que nous ne savons pas franchir dans le cadre d'approches issues de la théorie de la décision. C'est la raison pour laquelle, nous ne cherchons pas à proposer une solution mais à créer les conditions pour que l'agriculteur apprenne à mieux maîtriser son exploitation dans un environnement aléatoire. C'est donc un simulateur conçu comme un instrument d'apprentissage que nous avons mis au point. L'objectif de ce simulateur est que le décideur :

- se projette dans un modèle en analysant ses pratiques et en les formalisant,
- fasse fonctionner ce modèle pour des scénarios climatiques variés,
- puisse réfléchir au vu des résultats, remettre en cause ses pratiques, imaginer des modifications du parc de matériel, de la main d'oeuvre ou des cultures.

Ce type de simulateur oblige à prendre en compte de façon très fine le processus technique de production et surtout à centrer la démarche autour du décideur et de ses pratiques. L'écriture d'un tel simulateur est un travail lourd et le nombre d'agriculteurs est important, aussi nous avons repris le principe des systèmes experts : la séparation des connaissances de l'agriculteur et de la façon de les utiliser. Ceci nous a amené à créer des modes de représentation du domaine à base d'objets, de règles de production et d'un langage dédié. Ces connaissances sont exploitées par un programme qui effectue la simulation.

## 2. LA MODELISATION DE L'ORGANISATION DU TRAVAIL

Nous allons formaliser le mode d'organisation du travail et le faire fonctionner avec différents scénarios climatiques pour simuler le déroulement d'une campagne, matérialisé par le calendrier de travail journalier. C'est à travers l'analyse de ce calendrier de travail simulé que le décideur pourra juger de la pertinence de ses règles de gestion et de la sécurité qu'elles induisent.

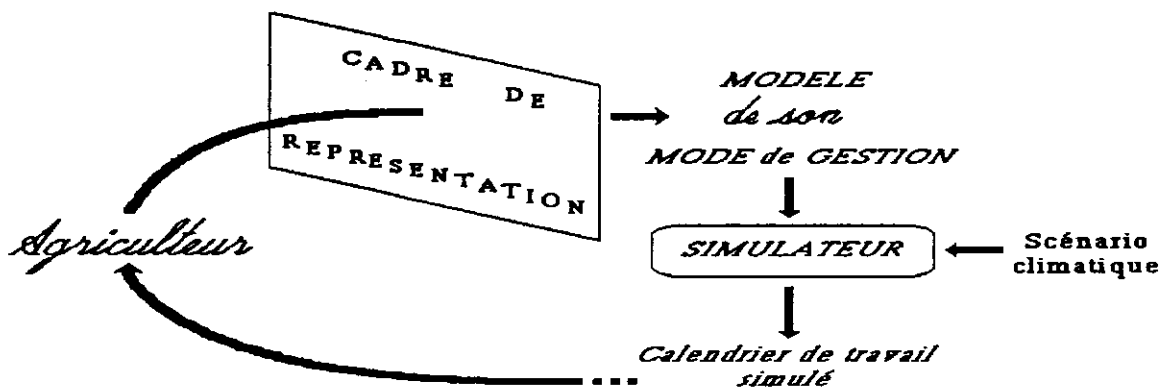


schéma 1 : problématique

## 2.1. PROPOSITION d'une REPRESENTATION de la REALITE

Cette représentation repose sur trois hypothèses fortes :

- Dans le but d'atteindre des objectifs plus ou moins explicites et parfois contradictoires, le décideur mobilise des décisions pré-programmées pour une gamme de situations envisagées.
- Des niveaux de gestion sont repérables du fait de leur quasi-autonomie de décision et de fonctionnement.
- Un mode de représentation suffisamment général est possible pour rendre compte du processus décisionnel pour divers modes de gestion.

### 2.1.1. Une structuration en trois niveaux de gestion

L'agriculteur exécute des travaux dont la réalisation est tributaire des conditions de milieu. Ces travaux ou chantiers consomment des ressources en travail et satisfont des besoins liés à la conduite des cultures. Ce sont *les objets opérants* du modèle.

Pour conduire à bien ses cultures, il définit les règles d'enchaînements de travaux à effectuer et les modalités adaptées à différentes situations. Les enchaînements constituent le *niveau diachronique*.

Enfin, ayant à conduire plusieurs cultures à la fois et compte-tenu de moyens de travail limités, il est amené à gérer des conflits entre travaux. Il règle ces conflits en fixant des priorités en accord avec ses objectifs d'avancement global des travaux. Ces objectifs, implicites, évoluant dans le temps, nous avons été amenés à découper la campagne en *périodes*. Elles correspondent au *niveau synchronique*.

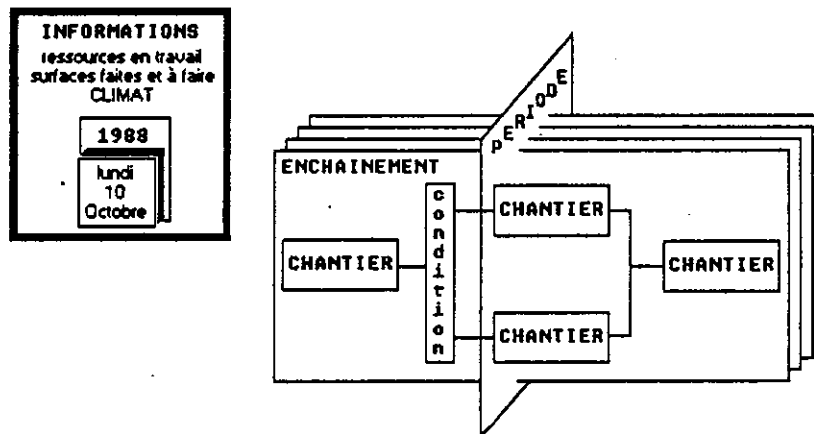


Schéma 2 : Organisation des trois niveaux de gestion

Cette représentation met en oeuvre les moyens mobilisés par l'agriculteur pour atteindre ses objectifs, sans que ces objectifs soient explicités. Elle repose sur la mobilisation d'un système d'informations.

### 2.1.2. Un système d'informations

On distingue quatre grandes familles d'informations : le climat et ses effets sur la faisabilité des travaux, le calendrier, les ressources en travail (le parc de matériel et les disponibilités en main d'oeuvre), l'état d'avancement des travaux.

Ce système d'informations est unique, chacun des trois niveaux de gestion peut le consulter. Il évolue au fur et à mesure du déroulement de la campagne, et en particulier, des travaux effectués.

### 2.1.3. Des règles de décision liées au système d'informations

Nous retenons l'hypothèse que les règles de décision de l'agriculteur peuvent s'exprimer sous la forme : *SI conditions ALORS décisions*.

Les conditions mettent en oeuvre des indicateurs, communs à tous les niveaux de gestion; les décisions par contre, sont spécifiques à chacun des trois niveaux de gestion (chantiers, enchaînements et périodes).

Les indicateurs exploitent le système d'informations. Ils sont repérés par l'emploi d'un mot clé, répondent à un contenu sémantique et doivent respecter des règles de grammaire. Ils sont regroupés en différentes catégories selon le type d'informations mobilisé : climatiques, sur le calendrier, sur la disponibilité des ressources en travail, sur l'état d'avancement des travaux;

### 2.2. Le cadre de représentation.

A chacun des trois niveaux de gestion correspond une fiche type. Cette fiche permet de décrire les diverses modalités prises dans l'exploitation. Une fiche type est constituée de différentes rubriques; chacune d'elles reçoit une information : soit "classique" (un nom, une valeur), soit une liste, soit une phrase du type "pierre et ( paul ou jacques )", soit un texte décrivant les règles de décision.

Prenons l'exemple simple du chantier d'arrachage des betteraves à trois postes. Il fait partie de la famille des arrachages de betteraves. Sa vitesse d'avancement est exprimée en hectares par jour. Il peut s'effectuer à tout moment dans la journée. Il ne peut démarrer que s'il reste au moins deux heures dans la journée. Il nécessite trois ouvriers, l'automotrice et deux tracteurs pour les remorques. Il concerne les surfaces cultivées en betteraves. Les conditions d'exécution et les performances de ce chantier sont les suivantes:

- si le sol est trop humide ou si il pleut plus de 10 mm, le chantier est impossible,
- en conditions favorables (décrites par ailleurs) la vitesse d'exécution est de 4 ha/j, sinon elle n'est que de 2,5 ha/j.

CHANTIER : arr_bs_3	Famille : arr_bs	
Unité vitesse : ha/j	Plage horaire : -	Temps minimum : 2.0
Ouvriers : 3		
Matériel : autom et t125 et ( t98 ou t92 )		
<b>Caractéristiques</b>		
Cultures : bs		
Terrains :		
Autres :		
<b>Conditions d'exécution et performances</b>		
SI ( RESERU ( J ) > 20 OU PLUITE ( J ) > 10 ) VITESSE = 0		
SINON		
{		
SI ( cond_fau_bs ) VITESSE = 4		
SINON VITESSE = 2.5		
}		

La notion de famille permet d'accéder à des mécanismes d'héritage. Dans notre exemple, il s'agit en fait d'un héritage ascendant, la famille contenant les règles de choix du chantier approprié en fonction de la main d'oeuvre disponible.

### 2.3. Le langage du modèle:

Il est constitué d'un lexique et d'une grammaire.

La partie fixe du lexique est constituée de mots clés comme pluie, qualite, vitesse, fait, a faire... proche du langage habituel.

La partie "utilisateur" du lexique correspond aux noms des chantiers, enchaînement, périodes et autres objets plus classiques du type ouvrier, matériel, horaire.

La grammaire fixe les règles d'utilisation de ces mots dans des "phrases", par exemple : le mot pluie sera utilisé sous la forme pluie entre deux dates ou pluie à une date. Le mot fait sera utilisé sous la forme fait pour une liste d'enchaînements.

### 3. LA SIMULATION

Pour simuler l'organisation du travail d'une exploitation, nous allons construire un automate dont la fonction est de reproduire le comportement du décideur face à l'aléa climatique. Chaque jour, l'automate simule les décisions de l'agriculteur en se conformant à ses règles d'organisation du travail. Cet automate, ou simulateur, se compose d'un modèle spécifique de l'exploitation simulée, et d'un "moteur", non spécifique, qui fait "fonctionner" ce modèle. Pour modéliser son exploitation, l'agriculteur utilise le cadre de représentation matérialisé par les fiches présentées plus haut. Le modèle obtenu est ensuite traduit dans une forme utilisable par le moteur par une technique de compilation classique (Aho et al. 1986).

L'automate étant "programmé" pour réagir à différentes situations climatiques, on peut le faire fonctionner dans des situations variées, à savoir différents scénarios climatiques.

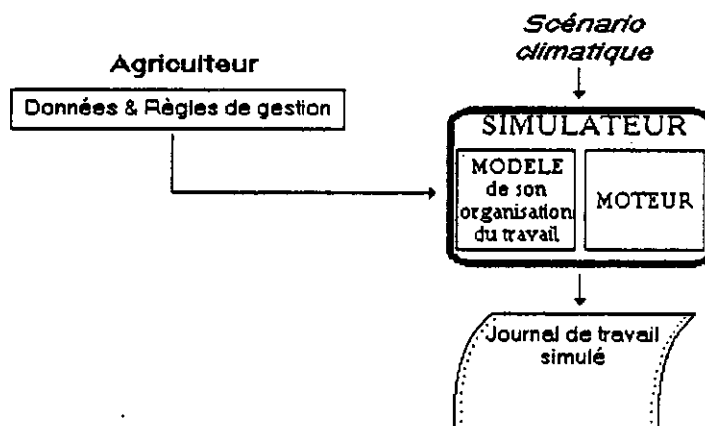


Schéma 3 : La simulation de l'organisation du travail

#### 3.1. MISE EN OEUVRE ET PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Chaque jour, le moteur active la période en cours. Il s'arrête dès que les travaux sont terminés ou que la date de fin de simulation est dépassée. Dès qu'un travail est effectué, on l'enregistre dans le journal des travaux réalisés.

#### 3.2. LE JOURNAL DES TRAVAUX REALISES

Pour chaque travail exécuté, on enregistre : la date de réalisation, l'enchaînement et le chantier réalisés, la qualité du travail, la surface travaillée, la durée du travail, la main d'oeuvre et le matériel, les caractéristiques de la surface traitée (culture, terrain, autre), la période et l'horaire en cours.

L'ensemble de ces enregistrements constitue une base de données sur la simulation effectuée.

#### 3.3. EXPLOITATION DES RESULTATS

Pour faciliter l'analyse des résultats de la simulation, nous avons conçu un module de consultation de cette base de données. Ce module permet de construire tableaux et graphiques, donnant une vision synthétique ou détaillée du déroulement de la campagne simulée. L'agriculteur peut ainsi confronter ses souvenirs des dernières campagnes, aux résultats des simulations pour les mêmes années, et évaluer la qualité de la ressemblance de son modèle à la réalité.

L'agriculteur peut alors sur certaines années, celles qui ont "le pouvoir d'attirer l'attention" (Shackle 1967), rechercher des stratégies de rattrapage si ses objectifs et ses règles de décision sont mises en défaut. Dans un contexte où les techniques changent vite, où il devient de plus en plus difficile de se fonder sur l'expérience pour juger l'efficacité ou la fragilité d'un mode d'organisation, de telles simulations permettent à l'agriculteur d'élargir, dans le cadre de sa stratégie et de ses propres représentations, la gamme de ses références. Cherchant à se construire une connaissance nouvelle, il peut définir ses choix de mécanisation en tenant compte des risques liés au climat.

## CONCLUSION

Basée sur la notion d'apprentissage cette nouvelle approche de SIAD replace l'acteur au centre de la démarche en lui donnant les moyens de créer son propre modèle et de le faire fonctionner. Elle constitue une réponse originale à l'impossibilité de planifier dans un monde aléatoire. Toutefois, nous n'avons pu mener à bien cette approche qu'en conjuguant les principes et les techniques issus de l'intelligence artificielle et les techniques de base de l'informatique.

Ce simulateur est actuellement expérimenté par un jeune ingénieur qui se déplace dans les exploitations avec un micro-ordinateur. Dans un premier temps, il formalise avec l'agriculteur son mode de gestion. Dans un deuxième temps, un dialogue se construit interactivement autour du simulateur et de ses sorties graphiques.

Cette expérimentation est menée dans une vingtaine d'exploitations choisies sur les bases d'une typologie fondée sur les problèmes de travail. Il est trop tôt pour en tirer les conclusions, mais l'approche semble déjà bien perçue par les agriculteurs et les conseillers qui apprécient la prise en compte conjointe du risque et des aspects techniques.

L'apprentissage à l'origine de notre démarche se révèle finalement plus riche que prévu. A côté de l'apprentissage d'un décideur, on entrevoit un apprentissage collectif à deux niveaux : pour un groupe d'agriculteurs proches par leur mode de gestion, par une réflexion en commun sur un cas et, pour les techniciens qui, valorisant leur travail avec plusieurs groupes, élaborent des stratégies de conseil.

Cette première expérience devrait se poursuivre et s'élargir : se poursuivre en donnant naissance à des modèles comparables appliqués à d'autres domaines techniques et économiques (irrigation, conduite des fourrages), s'élargir en envisageant la gestion stratégique globale de l'exploitation.

## REFEERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AHO (A.V.) et al. COMPILERS principles, techniques, and tools, ADDISON-WESLEY, 1986.

COURBON (J.C.). Processus de décision et aide à la décision, ECONOMIE et SOCIETE, série Sciences de Gestion no 3, tome XVI, no 12, Déc 1982.

SHACKLE (G.L.S.). Décision, déterminisme et temps, DUNOD, PARIS, 1967.

SIMON (H.). The New Sciences of Management Decision, HARPER and ROW, 1960.

Attonaty J.M., Chatelin M.H., Poussin Jean-Christophe, Soler L.G. (1990)

Simulation à base de connaissance pour l'aide à la décision en agriculture : application aux choix des équipements et à l'organisation du travail

In : Lemoigne J.L. (ed.), Bourguine P. (ed.)

L'économique et l'intelligence artificielle. Paris : AFCET, 291-296. CECOIA : Conference

L'Economique et l'Intelligence Artificielle = CECOIA : Conference Economics and Artificial Intelligence, 2., Paris (FRA), 1990/07.