
Formalisation de la décision

Contents

3.1	L'analyse des systèmes agraires et de la décision	77
3.1.1	L'analyse des pratiques	77
3.1.2	L'analyse de la décision des agriculteurs	78
3.1.2.1	Principes du modèle d'action	78
3.1.2.2	Usage du modèle d'action	79
3.2	Décision et Simulation en agriculture	80
3.2.1	OTELLO un simulateur de modèle d'action ?	80
3.2.2	Couplage modèle décisionnel et modèle biotechnique	82
3.2.3	Simulation pour la conception de système de conduite	83
3.3	Un autre point de vue : la modélisation d'entreprise	85
3.3.1	La modélisation d'entreprise	85
3.3.2	Modélisation des processus métiers ou « workflow »	86
3.4	Principes du Processus Opérationnel de Décision « Mildium » pour la PIC du vignoble	89
3.4.1	Objectifs de Mildium	89
3.4.2	Un processus temporel	91
3.4.2.1	Analyse des périodes de sensibilité	91
3.4.2.2	Sept étapes de décision	91
3.4.3	Construction de variables décisionnelles	94
3.4.3.1	Variables de décision	94
3.4.3.2	Observations	95
3.4.3.3	Echantillonnage	95
3.4.3.4	Stades phénologiques	95
3.4.4	Conclusion à propos de la conception du POD Mildium	96
3.5	POD, workflow et modèle d'action	96
3.5.1	Le POD et les processus métiers	96
3.5.2	Le POD vis à vis de la simulation	97
3.5.3	Le POD vis à vis du modèle d'action	98
3.6	Conclusion	99

Au cours du chapitre précédent, j'ai présenté les formalismes mathématiques de modélisation utilisés au cours de mon travail. Dans ce chapitre, je positionnerai ce choix formel relevant de l'automatique et de l'informatique industrielle vis à vis de l'analyse de la décision en agronomie et des processus métiers en informatique de gestion (« workflow »). La prise de décision de l'agriculteur est un sujet largement étudié qui a donné naissance, en France, à la théorie du « *modèle d'action* ». La première section de ce chapitre s'attache à présenter cette théorie. La seconde section du chapitre explique comment cette théorie est utilisée dans de nombreux travaux de simulations et ce, sous divers formalismes. La troisième section présente les questions théoriques de l'analyse des processus métiers et de la modélisation d'entreprise (voir [BPM](#) et [BPE](#)^a). En effet ces représentations sont en grande partie similaires à celles traitées en agriculture : on présentera ici quelques formalismes développés pour la modélisation des processus métiers. La quatrième section présente la démarche de conception du [POD](#) Mildium et comment les experts ont mobilisé leurs connaissances et les principes de la [PIC](#) pour produire le Processus Opérationnel de Décision. On conclut ce chapitre par une discussion mettant en évidence le caractère générique de la démarche [POD](#) au regard des bases théoriques vues précédemment.

3.1 L'analyse des systèmes agraires et de la décision

La section qui suit développe un point de vue volontairement restreint de l'analyse de la décision de l'agriculteur. Les concepts du *modèle d'action* (voir section 3.1.2) font consensus dans la communauté agronomique française. Mon travail a donc été, dès le départ, naturellement immergé dans ce cadre conceptuel. Les approches alternatives de la part de la communauté agronomique internationale n'ont pas paru relever d'un apport disciplinaire aussi structuré. C'est donc dans le cadre de l'école française d'agronomie qu'il convient de comprendre les titres des sections ci-dessous.

3.1.1 L'analyse des pratiques

La notion d'itinéraire technique ([ITK](#)) reste centrale aujourd'hui chez les agronomes pour désigner à la fois les enchaînements d'opérations culturales mis en oeuvre sur un champ par l'agriculteur, mais aussi pour désigner les programmes issus de leurs travaux et conçus comme des préconisations.

D'après [Sebillotte \(1974, in Doré et al. 2006\)](#) :

L'itinéraire technique est une combinaison logique et ordonnée des techniques mises en oeuvre sur une parcelle en vue d'en obtenir une production.

in : [Sebillotte \(1974, in Doré et al. 2006\)](#)

Définition 21. Dans cette thèse, l'*ITK* désigne strictement une séquence d'opérations agricoles effectivement réalisées sur une unité de production, pour obtenir une production ou atteindre un objectif

[Papy \(1998\)](#) précise la démarche du département Sciences pour l'Action et le Développement ([SAD](#)) de l'INRA, entreprise à la fin des années 70. Elle est basée sur le constat que les

a. « Business Process Management » et « Business Process Engineering »

conseils indifférenciés à l'agriculteur ne répondaient plus, ou mal, au besoin. Il s'agit de développer une recherche visant à comprendre « les raisons de faire ce que fait l'agriculteur ». La distinction est alors faite entre les *techniques* et les *pratiques*. Les techniques sont définies par leur contenu plutôt théorique, quand les pratiques sont définies de la manière suivante :

Définition 22. *d'après Cristofini et al. (1978); Teissier (1979, in Papy 1998), Les pratiques sont les conditions concrètes de réalisation d'opérations techniques.*

Dans le cadre de l'analyse des pratiques, celles-ci sont postulées être le résultat d'une intention, elle-même fonction d'objectifs de l'agriculteur dans un contexte de contraintes et d'opportunités.

in : Papy (1998)

L'observation de l'ITK de l'agriculteur (une séquence d'opérations techniques) ne suffit pourtant pas pour comprendre son action et ses pratiques. La notion d'ITK ne permet pas de rendre compte des alternatives ni d'expliquer la diversité des pratiques de l'agriculteur. Cette explication requiert la compréhension de son mode de raisonnement.

3.1.2 L'analyse de la décision des agriculteurs

Le cadre d'analyse mis en place pour comprendre le raisonnement de l'agriculteur s'inspire des travaux économiques de Simon (1957, 1978, in Sebillote and Soler 1988). L'intérêt ne porte pas tant sur les processus cognitifs mis en œuvre par l'agriculteur, que sur l'objectivation des *processus de décision* d'un agriculteur réputé rationnel. Afin de réaliser ses objectifs de production, l'agriculteur serait doté d'un *modèle général* guidant ses choix au cours de la saison culturale et lui permettant d'organiser l'ITK qu'il applique à la parcelle (Sebillote and Soler, 1988).

3.1.2.1 Principes du modèle d'action

Ce modèle général est aussi appelé *modèle d'action*. Il permet à l'agriculteur d'organiser par anticipation son action au cours de la saison (ou du cycle de production). L'agriculteur ne réagit pas en permanence au dernier événement survenu. Face aux incertitudes auxquelles il est soumis par l'environnement de l'agro-système, il construit un plan prévisionnel en fonction de scénarios probables de déroulement de la saison. Ainsi pour réaliser ses objectifs de production (objectifs quantitatifs, qualitatifs), il découpe la saison en plusieurs phases au cours desquelles il concentrera son attention sur la réalisation de sous-objectifs.

Le découpage en phases permet à l'agriculteur de mieux maîtriser les incertitudes de l'environnement. Pour cela, il se dote de jeux de règles de décision lui permettant de gérer son activité tant que l'environnement évolue dans ce que l'on pourrait assimiler à une enveloppe de variations normales. En cas de déviation trop grande, il est amené à réviser ses sous-objectifs voire ses objectifs et par conséquent de recourir à un jeu de règles alternatif.

Cerf and Sebillote (1988) précise le mode opératoire de cette révision en montrant l'importance des indicateurs de décision. L'agriculteur prend ses décisions sur la base

d'indicateurs permettant d'estimer l'état du champ. Les états observés sont confrontés à l'état souhaité à cette période, permettant de poursuivre avec le programme prévisionnel courant, ou d'en adopter un autre. Ceci s'effectue dans les limites de l'expérience personnelle de l'agriculteur et non dans l'ensemble des solutions possibles.

L'introduction des observations montre que l'agriculteur révisé ses prévisions au cours de *rendez-vous* (Chatelin et al., 1993, in Ingrand et al. 2003) qu'il fait porter sur les « points chauds » de la saison (Sebillote and Soler, 1988). Les rendez-vous permettent à l'agriculteur d'agir sur ses représentations, c'est à dire sur les modèles prévisionnels d'évolution de l'agro-système issus de son expérience. Ils permettent de mettre à jour ses prévisions et de déterminer les nouveaux états-objectifs atteignables sous condition d'ajuster l'ensemble des règles de décision. La saison se déroule par une restriction de plus en plus étroite des états potentiellement atteignables tant en ce qui concerne les sous-objectifs de la phase suivante qu'en ce qui concerne l'objectif final. La mise à jour du jeu de règles adaptées permet de produire le programme prévisionnel (l'ITK) à mettre en œuvre dans la phase.

Les rendez-vous permettent également d'articuler les phases entre elles. Il existe en outre un ensemble de règles de supervision générale pour gérer les choix des jeux de règles. En effet, il peut être nécessaire de changer de jeux de règles entre les deux phases, mais aussi en cas d'urgence lorsqu'un événement imprévu exige l'abandon du programme d'action normal pour mode de gestion exceptionnelle (Duru et al., 1988). Cette articulation donne lieu à la formalisation de *pilotage opérationnel* et de *pilotage stratégique*^b. Le pilotage opérationnel renvoie aux décisions de gestion courante et au programme d'action. Le pilotage stratégique permet d'orienter les choix de programme d'action dans le but d'achever le projet de production. (Chatelin et al., 1993, in Papy 1998).

On a déjà évoqué plus haut la notion d'expérience qui permet à l'agriculteur d'envisager les futurs potentiels. Papy (1998) associe au modèle d'action un modèle de connaissances qui est proche de notre notion d'expertise (voir fig. 2.4) et permet à l'agriculteur en fonction de son expérience, de bien anticiper et de bien concevoir ses indicateurs et/ou son modèle d'action.

3.1.2.2 Usage du modèle d'action

Le modèle d'action est principalement un outil de diagnostic. Le modèle d'action de l'agriculteur se construit sur la base d'entretiens semi-dirigés auprès de l'agriculteur que l'on complète éventuellement par l'observation des pratiques. Le concept a été initialement élaboré dans le cadre d'études portant sur les grandes cultures picardes, à l'échelle du champ et de la saison.

Il a été montré que la théorie était également opérante à l'échelle de l'exploitation et dans d'autres domaines agricoles (élevages). Le développement de modèle d'action vise notamment à diagnostiquer la qualité des ITK et l'adéquation des ressources à la charge

b. Stratégique n'a pas ici la même valeur que celle donnée par les pathologistes au chapitre 1. La définition des échelles temporelles absolues des niveaux stratégiques, tactiques, opérationnelles n'a pas vraiment de valeur générale et chaque discipline semble établir un consensus terminologique entre ce qui relève du stratégique, du tactique et de l'opérationnel. Ici, la relation d'ordre suffira, le niveau stratégique désignant un niveau de plus générale que le niveau tactique, lui-même plus général que le niveau opérationnel.

de travail pendant les périodes critiques (Duru et al., 1988; Papy, 1998). L'objectif de ce travail de diagnostic est à terme la production d'Outils d'Aide à la Décision (OAD). On notera à cet égard les approches de Girard et al. (2001) qui, constatant l'impossibilité de réaliser un modèle d'action complet individualisé pour chaque exploitation particulière, réalisent un nombre limité de prototypes sur la base de l'étude approfondie d'un panel d'exploitations et de la littérature. Une exploitation particulière peut ainsi être caractérisée par sa distance à chaque prototype et un conseil individualisé est alors déduit de cette distance (Dounias et al., 2002, dans le même esprit).

Le modèle d'action fournit un cadre d'analyse de la décision en lien avec l'appareil de production dans ses composantes techniques. Ceci explique son adoption par les praticiens du diagnostic comme par les agronomes des systèmes pour l'étude des relations entre le système de culture et les stratégies de l'agriculture. La question du formalisme donné, dans la littérature, au modèle d'action est l'objet de la section suivante.

3.2 Décision et Simulation en agriculture

La théorie du modèle d'action a été énoncée à la fin des années 1980. A la même période, la micro informatique s'est largement diffusée avec l'apparition des micro-ordinateurs compatibles IBM PC (Attonaty et al., 1994). La concomitance de cette nouvelle représentation structurée de la prise de décision avec la mise à disposition d'une puissance de calcul jusque là économiquement inabordable a permis le développement de la simulation informatique pour l'agronome (Attonaty et al., 1988).

Comparés aux problèmes rencontrés dans les ateliers d'entreprises industrielles, les problèmes de décision en agriculture sont difficiles. L'environnement de l'entreprise agricole est, en effet, largement incertain. C'est pour cette raison, que la recherche de stratégies optimales pour la gestion des agro-systèmes s'est tournée massivement vers la simulation pour étudier le comportement de stratégies de décisions opérationnelles et en tester de nouvelles.

3.2.1 OTELO un simulateur de modèle d'action ?

Grand ancien dans le domaine, le système Organisation du Travail Et Langage à Objet (OTELO) (Attonaty et al., 1994) simule l'organisation des travaux dans le temps en fonction des contraintes d'exploitation, et des règles de gestion dont se dote l'exploitant. Elles sont une représentation formalisée du modèle d'action de l'agriculteur. Ces règles de gestion sont structurées de la manière suivante :

- 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.
- Pour conduire à bien ses cultures, il définit les règles d'enchaînements de travaux à effectuer et les modalités adaptées à différentes situations.
- 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 chantiers. Il règle ces conflits en fixant des priorités en accord avec ses objectifs

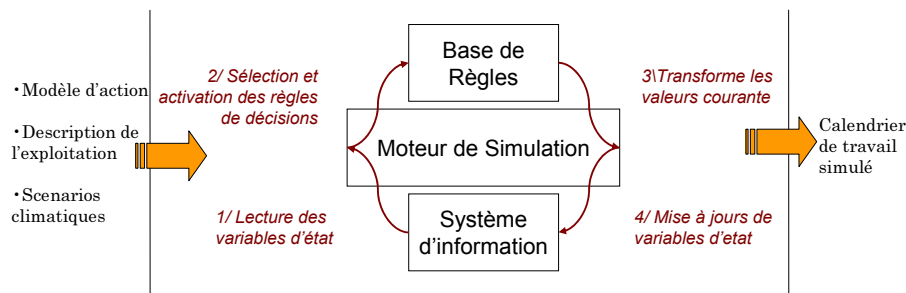


FIGURE 3.1 – Structure et flux du simulateur OTELO

d'avancement global des travaux. Ces objectifs, implicites, évoluant dans le temps, nous avons été amenés à découper la campagne en périodes.

in : Poussin (1992)

Les règles de gestion prennent concrètement la forme d'une base de règles de décision qui s'écrit de la manière suivante :

SI (< conditions >) < décisions >
SINON < décisions alternatives >

Les conditions sont une composition d'*indicateurs* booléens, construites à partir des variables d'état du *système d'information*. Un langage de programmation dédié a été créé pour paramétrer OTELO.

La figure 3.1 résume le fonctionnement d'OTELLO. Les simulations se font sur la base de scénarios climatiques, d'une structure d'exploitation (description du parcellaire, ressources mécaniques/humaines), d'un calendrier (w/e, jours fériés. . .) et de l'état d'avancement des travaux. Ces quatre éléments constituent le *système d'information* d'OTELLO. Ce système d'information est mis à jour à chaque pas de la simulation (représentant une journée) par le moteur de simulation.

Le module décisionnel est la dernière composante du système OTELO. Les règles de décision sont sélectionnées puis activées jour à jour en fonction de l'état du système d'information. Avec le sous-ensemble des règles activées, le *moteur de simulation* reproduit les décisions que prendrait l'agriculteur s'il se trouvait dans la même situation. Cela consiste à sélectionner les chantiers et à éditer leur état : commencer, suspendre ou terminer. Cela consiste enfin à fixer les priorités entre les chantiers et à assigner les ressources. . . Au terme de ces opérations, le moteur met à jour les variables du système d'information.

Bien que l'on sente l'influence des systèmes experts dans la conception d'OTELLO, il n'y a pas de moteur d'inférence logique de connaissance lié au module de décision. En cela, le système OTELO ne rend pas totalement compte des fonctionnalités du modèle d'action dans la mesure où il n'y a pas de possibilité de réviser la base de règles en fonction d'un état non prévu du système (absence de modèle de connaissances). Néanmoins la capacité d'arbitrer parmi les chantiers en fonction de leurs importances, de leurs avancements, de la suite du plan, leur fixant une priorité révisable, rend bien compte de la notion d'arbitrage qu'on retrouve dans la littérature.

3.2.2 Couplage modèle décisionnel et modèle biotechnique

Le système Décibl  (Chatelin et al., 2005) est caractéristique de la génération suivant OTELO. Développé par la même équipe que le système OTELO, le système D cibl  est conçu comme l'interaction d'un modèle de décision avec un modèle de simulation biotechnique. L'objectif de ce second modèle est de prendre en compte l'effet des opérations sur l'environnement de la culture et l'effet de l'environnement sur le développement de la plante et la construction du rendement. Il s'agit ici d'une conception modulaire structurée autour d'un modèle de développement phénologique du blé, connecté aux modules suivants :

- module rendement potentiel atteignable permettant d'évaluer la performance de la conduite.
- module azote, permettant d'estimer les pertes d es aux carences azotées
- module hydrique, calculant la réserve utile qui influence fortement la structure du sol.
- module structure du sol, reliant l'effet des travaux aux autres modules sol et permettant de traduire les sorties de ces modules vers le module développement.

D cibl  produit trois types de sorties : rendements, diagnostics à chaque étape et évaluation de l'impact environnemental de la stratégie de fumure azot e.

L'utilisation de modèle biotechnique se retrouve dans de nombreux outils d'aide à la décision ou visant la mise au point de nouvelles références techniques (Nesme et al., 2006; Debaeke et al., 2006, par exemple). On citera comme exemple en pathologie, le système EPIPRE de Zadoks (1989), qui en matière d'outils d'aide à la décision, fait figure de précurseur. EPIPRE, tout comme D cibl , est conçu sur la base de modèles stochastiques. Ces types de modèles biotechniques ont l'avantage d'être rapides à mettre en place mais n'ont pas la généricité qu'offre une modélisation déterministe. En revanche, les modèles déterministes ont l'inconvénient d'être basés sur des variables d'état difficiles à mesurer et l'interprétation de leurs résultats reste souvent difficile. Cette complexité rend l'usage de tels modèles peu adapté pour le conseil aux exploitants.

McCown (2002) analyse le problème de la sous utilisation de ce type d'OAD chez les agriculteurs. Il aboutit à deux types de conclusion. D'une part, les OAD trop complexes ne sont pas mis en œuvre par les agriculteurs. Cela est confirmé en d'autres termes par Parker (2001) expliquant que trop souvent les OAD agricoles p chent par manque de souci ergonomique lors de la phase de conception. Le second point évoqué par McCown est relatif à l'étroitesse de l'expertise. Après une phase d'utilisation, nombre d'outils d'aide à la décision sont finalement abandonnés, l'agriculteur ayant appris les connaissances contenues dans le système informatique et pouvant les mobiliser sans avoir recours à la machine.

La conclusion de cette réflexion serait selon McCown, qu'il n'est pas nécessaire de modéliser la complexité du processus de décision des agriculteurs si l'objectif est de faire du diagnostic, particulièrement si le domaine d'expertise est étroit. Selon une opinion répandue dont Parker serait ici la porte parole, mieux vaudrait produire un logiciel permettant un accès adapté aux informations des modèles biotechniques et laisser au chef d'entreprise agricole la responsabilité de sa gestion (« management »).

Pour autant, il se construit toujours des systèmes de simulation décisionnelle. Un exemple récent^c est le modèle *bio-économique* de la vigne réalisé dans le cadre du projet ADD-Vin (Bazoche et al., 2008; Deola et al., 2007). Ce modèle associe un modèle expert de développement des épidémies de mildiou et d'oïdium à un modèle de décision phytosanitaire (qui peut éventuellement être un POD). Ce modèle biotechnique est alimenté par des chroniques climatiques et de croissance de la plante. Le modèle est dit bio-économique car les sorties du modèle biotechnique (rendement et nombre d'opérations phytosanitaires) sont mises en relation avec leurs coûts analytiques, pour *in fine* estimer le profit moyen d'une stratégie phytosanitaire. L'objectif de cette modélisation est ici purement scientifique. Le modèle de développement, de conception strictement experte, n'a pour objectif que de produire des épidémies qui doivent reproduire la réalité en tendance. Les valeurs quantitatives ne sont pas significatives ni en termes de dommages ni de pertes. Par contre l'hypothèse est faite qu'entre deux stratégies phytosanitaires, le modèle permettra de construire un ordre partiel du risque financier impliqué par telle ou telle stratégie.

Il s'agit dans ce cas d'une modélisation portant sur un domaine étroit (la protection phytosanitaire de la vigne) dont l'objectif à terme est l'aide à la décision des décideurs publics, pour déterminer le mode d'intervention publique favorisant le mieux l'évolution des pratiques. En forçant le trait, ce simulateur respecte bien le constat fait plus haut qu'un décideur est capable de concevoir des stratégies de décision qui lui conviennent dans la mesure où lui sont fournis de bons modèles biotechniques. Ici, c'est l'entreprise viticole qui est le système biotechnique et le nombre de traitements phytosanitaires, la variable à piloter. Cela ne correspond pas à un simulateur indiquant quand et comment il faut traiter.

3.2.3 Simulation pour la conception de système de conduite

L'autre argument pour justifier la poursuite de travaux de simulation décisionnelle dans le cadre de l'OAD vient du constat que, dans bien des cas, le recours à la simulation portait sur un problème étroit dont la solution optimale n'est souvent pas décidable (en environnement aléatoire), mais dont les solutions heuristiques sont accessibles à l'agriculteur. Les développements ont donc été axés sur la modélisation de systèmes de production complexes (Martin-Clouaire and Relier, 2003), dans le but d'expérimenter par la simulation de stratégies de gestion innovantes.

L'approche menée par l'Unité de Recherche (UR) Biométrie et Intelligence Artificielle (BIA) de Toulouse s'inspire de la modélisation d'entreprise (voir section 3.3.1). Cela mène à une modélisation structurée en trois sous-systèmes (voir fig. 3.2).

La décision est ici représentée comme le fruit de l'interaction entre des *plans* prévisionnels et des *actions* à réaliser sous condition de *ressources*. L'exploitation est organisée autour d'un système de pilotage : le *pilote* (l'exploitant, le chef de culture) responsable des décisions stratégiques et de l'organisation des activités complexes. Ces activités complexes sont ensuite déléguées pour leur mise en œuvre au *système opérant* responsable de la gestion opérationnelle. Le pilote est responsable de la réalisation des objectifs de production au travers d'une *stratégie*, gérant la cohérence de l'ensemble des plans et qu'il

c. nov. 2008

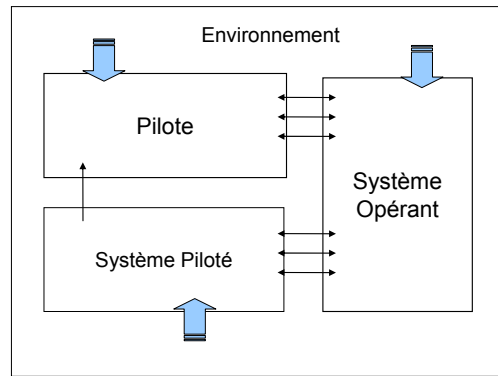


FIGURE 3.2 – Conduite d'un système de production agricole

exécute de manière séquentielle. Le pilote observe l'état du *système piloté* (une serre, une ferme d'élevage) à travers des capteurs. Les informations issues des capteurs peuvent éventuellement être agrégées dans des *indicateurs* (se référant non seulement à l'état courant du système mais aussi éventuellement à des événements, à des états passés ou à des prévisions). Une déviation du système par rapport à l'état attendu peut donner lieu à modification de la stratégie sur une « *trajectoire réactive* »

Les ordres d'exécution des activités à réaliser pendant la période courante, sont transmis au système opérant qui se charge de la gestion des ressources humaines et matérielles, de la liste des opérations à faire pour réaliser une *activité primitive* (l'unité d'action). Ce sous-système est responsable de l'organisation des opérations en fonction de la disponibilité des ressources nécessaires à leur réalisation. Il gère donc l'organisation opérationnelle des activités qui produisent l'*TTK* effectivement appliqué au système piloté. Le système opérant est soumis à des événements concernant les ressources. Ces événements peuvent être soit endogènes, soit exogènes.

Le système contrôlé (la serre, l'élevage) est modélisé à partir d'un modèle biophysique interfacé avec les deux autres sous-systèmes précédents.

Les communications se font par événements et lecture de variables. La programmation est orientée objet et s'il s'agit bien du paradigme *SED* qui est mis en œuvre dans cette dernière approche, il n'est pas question pour autant d'adopter les formalismes de représentation des automates. Il faut noter les travaux de modélisation *SED* assez similaires de : Shaffer and Brodahl (1998); Shaffer et al. (2000); Ingrand et al. (2003), qui représentent ainsi des stratégies de gestion d'élevage bovin.

L'approche de l'unité *BIA* a donné lieu à la réalisation d'une ontologie générique décrivant le fonctionnement des systèmes de production et plus particulièrement les systèmes de production agricole (Martin-Clouaire and Rellier, 2002). Elle a été mise en œuvre dans plusieurs domaines d'application notamment, la production de tomates sous serre (CONCERTO Rellier et al., 1997) ou encore dans le cadre de la mise au point de stratégies innovantes pour la gestion de pâturage (SEPATOU Cros et al., 2001).

La simulation décisionnelle a montré ses limites dans le cadre de l'aide à la décision et du diagnostic, mais elle reste un outil d'aide à la conception rapide de systèmes de conduite innovants pour les agronomes. Cet objectif est somme toute proche du

nôtre. La différence majeure entre les travaux de l'unité BIA et ceux que l'on présente ici réside dans le recours à un modèle biotechnique. L'autre différence tient dans les domaines d'application : la gestion de serre et l'élevage bovin sont des environnements soumis à des comportements moins chaotiques que la protection des vignobles. Cette dernière remarque doit être comprise plus comme une explication de l'absence de modèle biotechnique, qu'une limitation de la démarche de conception par simulation *in silico*.

3.3 Un autre point de vue : la modélisation d'entreprise

On aborde dans cette section quelques approches de modélisation d'entreprise, plus particulièrement les formalismes de représentation des processus métier qui ont motivé notre choix d'une représentation graphique pour le POD.

3.3.1 La modélisation d'entreprise

La modélisation d'entreprise s'est développée sous l'impulsion de l'intégration informatique. Cette intégration de l'informatique au cœur de l'entreprise a commencé par le développement des systèmes d'informations dans les années 1970 jusqu'à prendre en compte l'ensemble des composantes de l'entreprise via les Enterprise Resource Planning (ERP) depuis le tournant du millénaire (Gaaloul, 2007).

L'approche analytique de la modélisation d'entreprise vise à couvrir divers besoins.

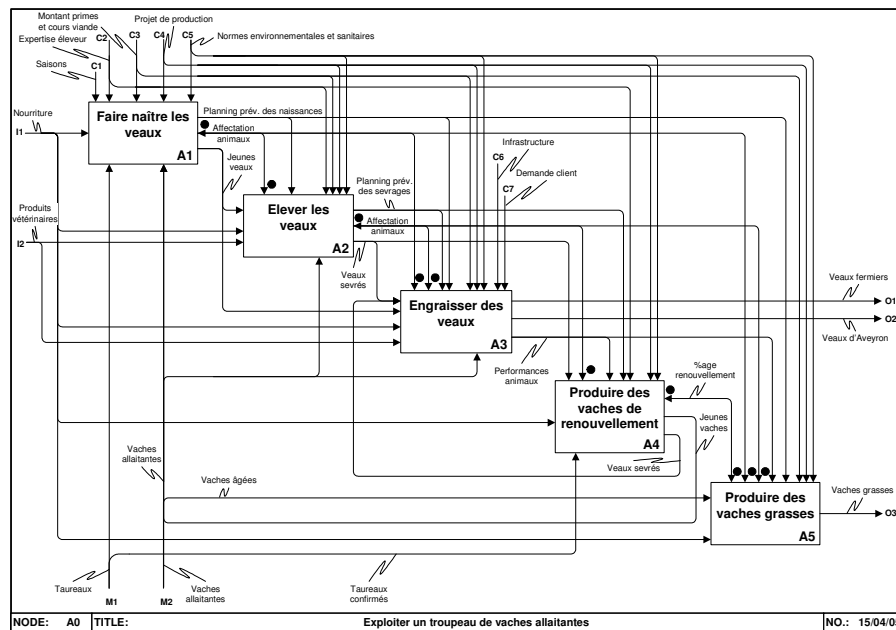
- comprendre et expliquer une situation existante
- réaliser et valider un projet
- communiquer entre les acteurs de l'entreprise
- argumenter une décision
- piloter le système entreprise.

d'après : Chapurlat (2007)

Pour répondre à ces besoins, des méthodologies complètes telles que CIMOSA (Vernadat, 1999, in Abt et al. 2005) ou encore GRAI-GIM (Doumeingts et al., 1998; Zanettin and Doumeingts, 1992, in Chapurlat 2007) ont été mises au point. Ces méthodologies sont souvent associées à des outils de modélisation ad-hoc (CIMOSA-RG par exemple). Ces méthodologies mettent en œuvre divers outils pour représenter les facettes de l'entreprise.

On prendra les travaux de Abt et al. (2005) comme exemple. L'auteur cherche à évaluer la pertinence de ce type d'outil de modélisation d'entreprise dans le cadre de l'entreprise agricole. Il utilise la méthodologie CIMOSA pour modéliser un élevage bovin. La structure de l'entreprise est décrite à l'aide de la méthode AMS qui lui a permis de mettre en lumière les « ateliers » de la ferme et d'identifier les flux physiques et les indicateurs de pilotage.

A l'aide de la grille GRAI, il a pu identifier les activités de l'exploitation et dissocier les activités de décision des activités d'opération. Pour chaque activité, la grille GRAI permet de définir les horizons de validité des décisions (c'est à dire la période pendant laquelle les effets de la décision portent) et la période de l'activité (c'est à dire le rythme auquel l'activité ou la décision doivent être renouvelées).



source : Abt et al. (2005)

FIGURE 3.3 – Modèle IDEF0/SADT Diagramme A0 d'une exploitation d'élevage bovin

A l'aide de la méthode *IDEF0/SADT* (IDEF, 1993, in Lavazza and del Bianco 2001), il a précisé à un niveau stratégique les flux physiques ou d'information entrant dans la réalisation d'une activité, ainsi que les flux échangés entre activités. La figure 3.3 illustre le graphe informel réalisé dans l'exploitation étudiée avec cette méthode.

Ces modèles donnent plusieurs vues de la même entité. Abt (2007) montre comment ces méthodes de modélisation partagent un certain nombre de concepts relatifs à la prise de décision en agriculture. Les méthodes de modélisation présentées ci-dessus sont à positionner à un niveau stratégique. Les modèles qui en sont issus constituent le plus souvent des outils d'aide à la décision pour les gestionnaires et administrateurs, mais ils n'offrent pas une représentation opérationnelle de l'entreprise. L'initiative « Unified Enterprise Modelling Language » (Unified Enterprise Modelling Language (UEML)) (Berio et al., 2005) vise à offrir une ontologie unifiant ces concepts et permettant d'établir les bases d'une utilisation opérationnelle de ceux-ci. Pour autant les descriptions en termes de structure et de flux ne sont en tout état de cause pas exécutables en l'absence de description des processus métiers qui constituent le « comportement » de l'entreprise (BEH_{Ets} , selon la terminologie définie en section 2.2.3).

3.3.2 Modélisation des processus métiers ou « workflow »

L'étude et la modélisation des processus métiers se sont développées comme une discipline de l'informatique de gestion depuis la fin des années 1980. On ne tentera pas ici de faire une revue de la littérature sur ce sujet mais seulement de donner quelques éléments généraux, principalement issus des travaux menés à l'Université de Eindhoven par van der Aalst. Ses travaux sur l'inférence de processus métiers à partir des traces

d'exécution, ont été notre porte d'entrée dans ce domaine (van der Aalst and Weijters, 2004; van der Aalst et al., 1994).

On reprend la définition donnée par Davenport and James (1990, in Gaaloul 2007)

Définition 23. un « processus métiers » (*workflow*) est un ensemble d'activités logiquement liées pour réaliser un produit particulier destiné à un client ou à un marché.

Van der Aalst and van Hee (2002) indiquent que l'activité productive, qu'elle soit effectuée par un acteur mécanique ou humain, peut être dissociée en deux parties. D'un côté le *processus métier*, dont on peut décrire la succession d'activités et de l'autre, le cas particulier (la production du millésime 2008, la rédaction de ma thèse). La gestion d'un cas est discrète par nature, indiquent les auteurs. C'est à dire qu'il y a un début et une fin pour chaque cas. Quand la production d'un bien ou un service a un caractère répétitif et/ou générique, on peut par abstraction la décrire par des *processus métiers* (l'agronome parlera de modèle d'action ou de plan).

Chaque cas peut donc être *identifié* individuellement et la *route* prise par un cas particulier dans le processus sera la séquence particulière d'activités qui dépendent des *attributs* caractéristiques du cas. Cette notion de route est à rapprocher de l'itinéraire technique (l'ITK d'une parcelle sera différent d'une parcelle à l'autre). Un cas a une durée de vie limitée, si on rapproche le concept de la production agricole, le traitement d'un cas ne serait donc pas l'ITK de la parcelle, mais plutôt l'ITK du raisin issu de cette parcelle et par composition, l'ensemble des ITK des différentes parcelles formerait par composition l'ITK de la bouteille.

Remarque : Des systèmes de traçabilité de la parcelle à la bouteille sont déjà installés dans certaines coopératives françaises, ce qui place l'industrie viticole face aux mêmes enjeux organisationnels que les clusters les plus hi-tech de la Silicon Valley. Pour autant, faute de traçabilité des ITK, il est encore aujourd'hui impossible d'identifier le workflow d'une bouteille. L'agrégation de ces données permettrait, par exemple, de proposer des formations spécifiques aux producteurs lorsque la mise en œuvre de certaines opérations aura pu être identifiée comme dégradant la qualité de leur production. Les systèmes de traçabilité mis en place aujourd'hui ne permettent que d'identifier l'origine parcellaire des défauts dans les vins, sans permettre de diagnostiquer l'origine du problème.

Un cas en cours de traitement, en plus de son *identifiant*, est caractérisé par son *état*. Celui-ci est composé des valeurs de ses *attributs* descriptifs, de *conditions* qui ont été réalisées et du *contenu* du cas. Les attributs correspondent aux variables d'états qui nous permettent de décrire la phénologie, le niveau d'attaque... Les conditions sont, selon le mot même de van der Aalst and van Hee, « des sortes de phases dans lesquelles se trouve le cas », c'est à dire, que les conditions décrivent les différentes activités qui ont déjà été effectuées au cours de son traitement dans le processus. Le *contenu* est l'aspect le plus spécifiquement disciplinaire de la description, puisque cela fait référence à des documents, des archives qui ne sont pas spécifiquement liées au procédé lui-même, mais peuvent être utilisées par un opérateur humain pour fonder une décision^d

d. La notion de contenu du cas est celle qui paraît la plus éloignée du contexte agricole. En agriculture, ce type d'information pourrait-il être rapproché des notions de traits de vies ? Il est certain que le contenu des « cas agricoles » réside dans l'expérience de l'agriculteur pour une part importante.

Le processus est décrit par l'agencement de *tâches* (l'élément atomique de l'organisation du travail) qui sont combinées selon quatre mécanismes de construction :

- la séquence
- la sélection (il s'agit là d'une alternative (OR-split) suivie d'un jonction (OR-join))
- le traitement en parallèle (impliquant au moins une disjonction (AND-split) et une synchronisation (AND-split) puisque le processus possède exactement un début et une fin)
- l'itération

L'exécution du processus pour un cas particulier, donne lieu à la création à partir des tâches abstraites du processus, à la création d'un « *work item* » pour chaque tâche devant être exécutée pour traiter le cas. Ces « *work items* » sont finalement transformés en *activité* lorsqu'une *ressource compétente* est associée au cas pour effectuer le « *work item* ». L'état du cas en est modifié.

Pour représenter les processus métiers, des formalismes nombreux existent (voir la présentation donnée dans Lavazza and del Bianco, 2001). La figure 3.4 reprend l'exemple du chapitre 2 avec deux formalismes utilisés pour représenter les processus métiers : les réseaux de Petri (RdP) et les diagrammes d'activité d'UML 2.0 « Unified Modelling Language ».

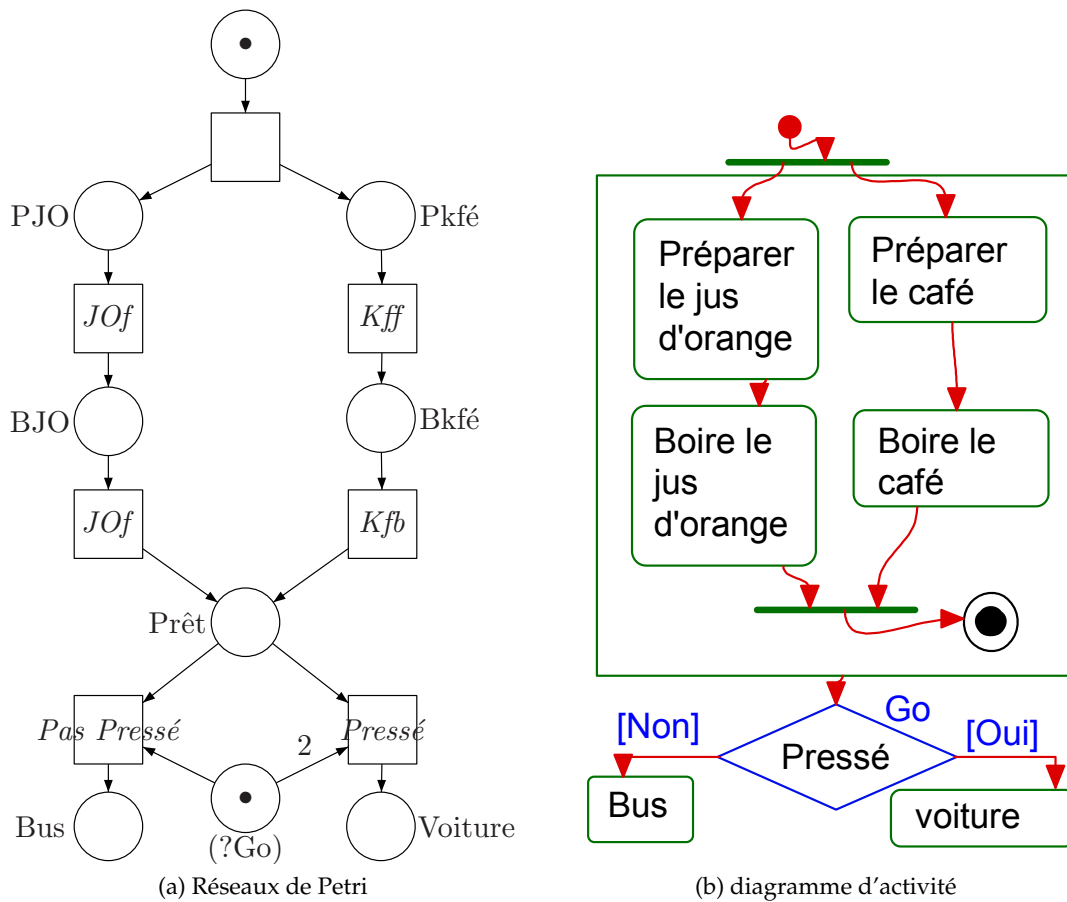


FIGURE 3.4 – Deux exemples de formalismes utilisés pour modéliser les processus métiers (La nomenclature des places et des événements, correspond à celle de la figure 2.14b)

Les représentations basées sur les RdP sont à préférer dans le cadre d'un travail formel dans la mesure où leur sémantique est bien connue et que de nombreux outils sont disponibles. Les diagrammes d'activité sont par contre moins bien formalisés, même si Eshuis and Wieringa (2002) proposent une sémantique formelle pour ce langage et que leur appartenance au cadre UML 2.0 attire une attention considérable sur ce langage. Ils sont cependant relativement intuitifs et leur usage informel est très aisé particulièrement pour les utilisateurs familiers des diagrammes de flux dont ils s'inspirent. Les diagrammes d'activité sont principalement dérivés des Statechart. Aussi ai-je préféré travailler avec le plus formel des deux langages. On discute les RdP vis à vis de la modélisation POD dans la dernière section de ce chapitre après avoir illustré et précisé cette notion de POD avec les bases originales de Mildium.

Pour conclure cette section, retenons de la modélisation des processus métiers et la modélisation d'entreprise, l'approche de l'entreprise industrielle ou de service vue comme un système qu'il est possible de modéliser et que les outils analytiques de l'informatique sont susceptibles d'améliorer.

3.4 Principes du Processus Opérationnel de Décision « Mildium » pour la PIC du vignoble

Comme introduit au chapitre 1, le POD Mildium a été construit sur la base de quatre années d'expérimentations (2001-2004) et des règles de décision oïdium et mildiou. Dans la section qui suit, on illustre la démarche des experts pathologistes dans la conception du POD Mildium.

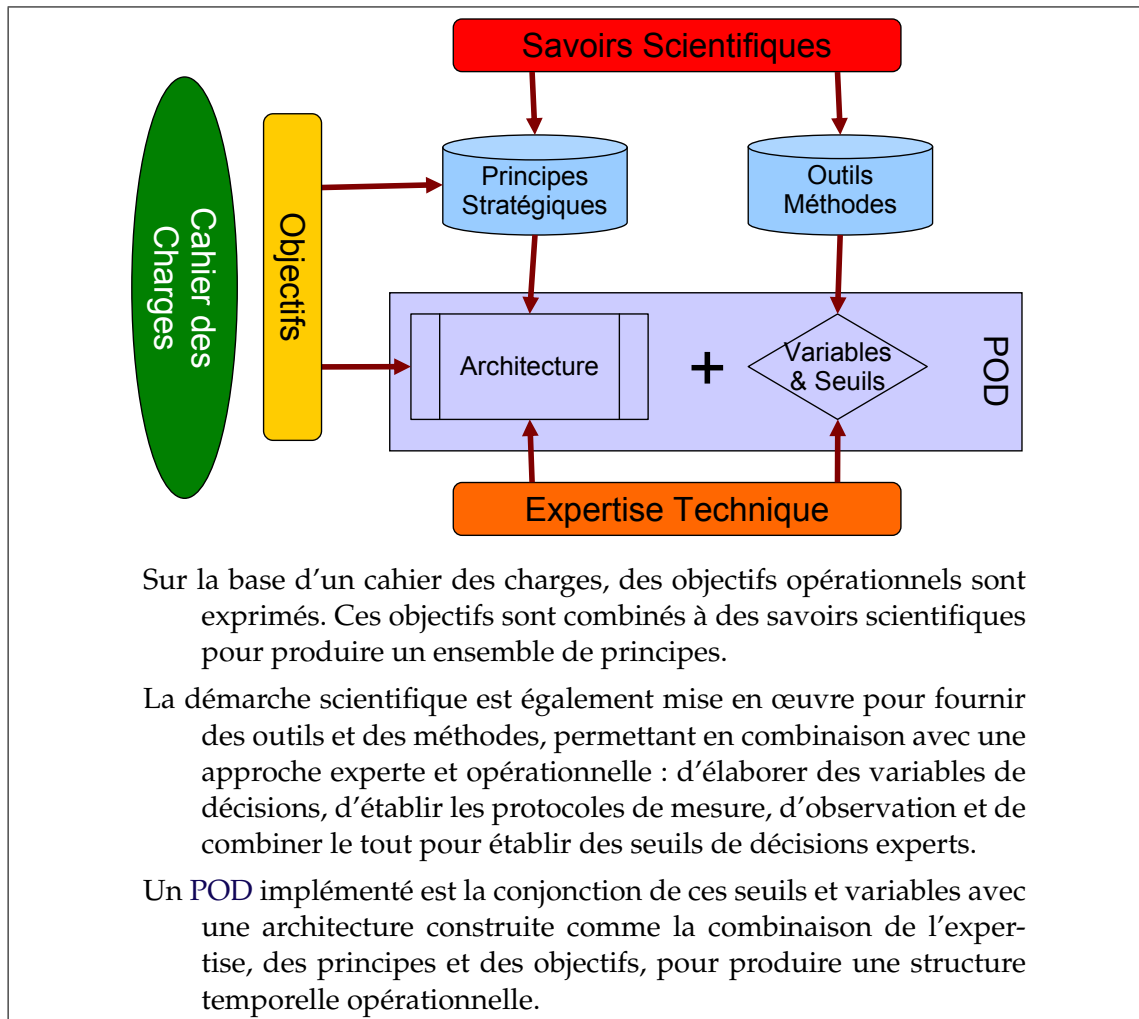
L'oïdium et le mildiou sont traditionnellement traités de manière combinée par la plupart des viticulteurs (cf. fig. A.2 en annexe p.234). Il est donc apparu intéressant d'un point de vue opérationnel de fusionner la gestion de ces deux maladies dans un procédé innovant. Le POD Mildium (ou « Mildium » tout simplement), est une proposition visant à gérer simultanément deux maladies.

La démarche de conception peut se découper en trois parties : tout d'abord, choisir des objectifs de protection, puis élaborer des indicateurs de décision et finalement organiser le processus de décision. L'encadré 4 synthétise la démarche.

3.4.1 Objectifs de Mildium

La conception est structurée pour répondre à quatre objectifs principaux :

1. Associer les traitements Mildiou et Oïdium autant que possible
2. Limiter le nombre d'applications fongicides (et de passages) annuel total de l'exploitation.
3. Garantir une qualité de protection compatible avec la production de vin (AOC, cahier des charges)
4. Remplacer une stratégie de traitements systématiques, par une stratégie basant les décisions de traitement sur plus d'intelligence et un meilleur usage de l'information, pour un coût minimum.



Encadré 4 – Démarche de conception d'un **POD.**

Ces quatre objectifs ne sont pas orthogonaux et le rôle des concepteurs consiste à les rendre compatibles. Par exemple, concilier l'exigence de réalisation des quotas de production avec l'objectif de réduire le nombre de traitements phytosanitaires ou encore, rendre compatible l'association mildiou-oïdium tout en évitant les traitements systématiques à cadence régulière.

Les objectifs sont pour cela adossés à des principes de conception qui aident à faire les compromis nécessaires :

1. Le raisonnement doit être adapté au développement parasitaire observé *dans la parcelle* (cela permet au niveau de l'exploitation de n'appliquer que les traitements réellement utiles).
2. Il n'est pas question de minimiser à tout prix les nombres de traitements mais de s'organiser de manière à *n'appliquer que les traitements nécessaires*, en découplant éventuellement les traitements mildiou et oïdium.
3. Les traitements nécessaires sont ceux qui permettent d'éviter les dommages aux cultures, *les symptômes doivent être tolérés*.
4. La viticulture a pour objectif de produire du raisin. Aussi l'objectif de la protection est-il de *limiter le taux d'attaque sur grappe à la vendange*. Le feuillage n'est à protéger

que dans la mesure où l'épidémie sur feuille conditionne l'épidémie sur grappes et dans la mesure où le feuillage assure la croissance des baies et l'accumulation des sucres.

3.4.2 Un processus temporel

L'élaboration de Mildium a commencé en 2005, sur la base de deux règles de décision expérimentées de 2001 à 2004 : une « RDD mildiou » et une « RDD oïdium ». L'exposé qu'on en donne ici est donc une reconstruction *a posteriori*. La figure 3.5 résume l'analyse des pathologistes.

3.4.2.1 Analyse des périodes de sensibilité

La figure 3.5(a) permet d'identifier les périodes de sensibilité des différents organes. Mildium visant à protéger les grappes, la période de sensibilité de celles-ci est critique puisque les risques de dommage vis à vis de la production sont maximaux. Cette période est encadrée par deux périodes de nuisibilité moins virulentes, où le feuillage est sensible, mais où la production court moins de risques.

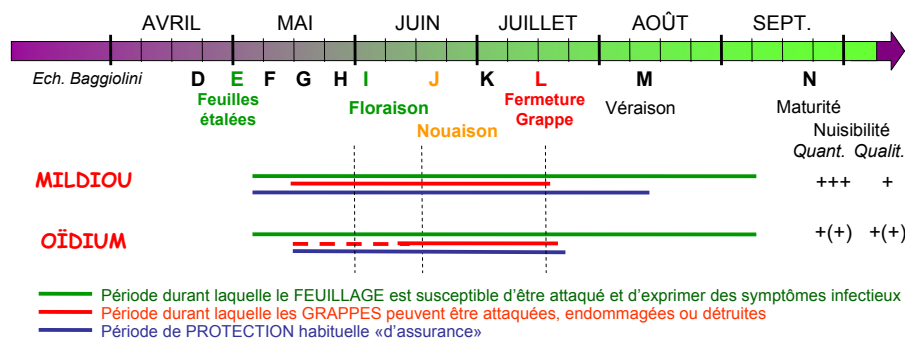
En *début de saison*, la stratégie mise en œuvre dans Mildium consiste à contrôler le plus efficacement possible le début des épidémies de manière à réduire le niveau d'infestation pendant la période critique de l'élaboration du rendement (c'est à dire des stades phénologiques boutons floraux séparés à mi-fermeture de la grappe ($\approx$ BBCH 57 à 75)). La figure 3.5(b) en illustre la raison : une épidémie précoce touchera quasiment l'ensemble des ceps à la floraison avec une forte probabilité de détruire l'ensemble de la production alors qu'une épidémie tardive entrera dans sa phase explosive après la nouaison, c'est à dire à un moment où les baies amorcent déjà une perte de sensibilité à la maladie. C'est pourquoi, Mildium vise à piloter la protection de telle façon que les épidémies se développent le plus tard possible dans la parcelle.

Pendant *la floraison*, le besoin de protection est maximal. Aussi, dans un souci de simplicité opérationnelle et de réduction de coûts, il est apparu raisonnable de prévoir un traitement obligatoire à la floraison contre chaque maladie. Le coût potentiel d'une économie de traitement à ce stade, a été jugé inacceptable (coûts d'information pour sécuriser la décision ou coût des pertes potentielles en cas d'erreur)

Durant la période de *fermeture de la grappe*, il faut pouvoir moduler la protection des fruits et du feuillage dans des contextes épidémiques où les risques de dommages peuvent être encore importants, ceci pour le mildiou comme pour l'oïdium. Au-delà de cette période, nous savons que la sensibilité des grappes diminue rapidement (cf. section 1.3.1), la protection peut être quasi suspendue.

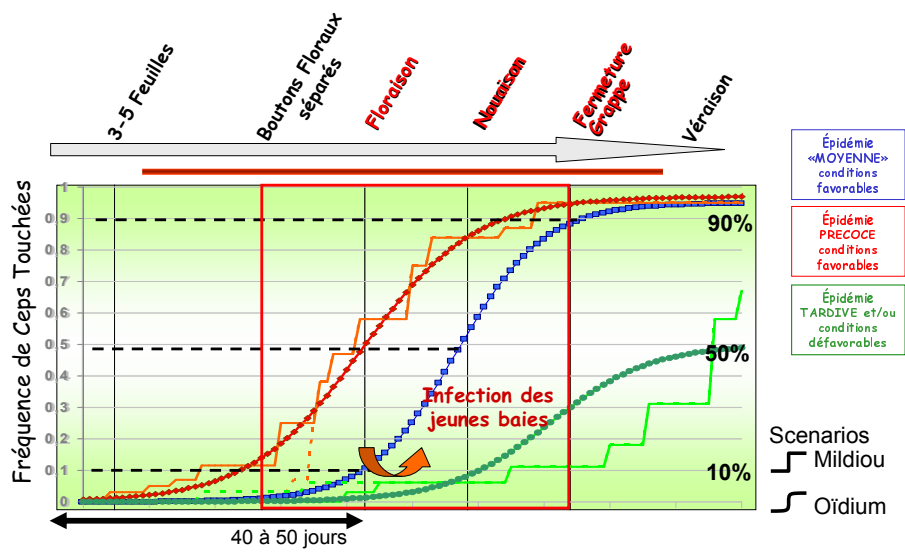
3.4.2.2 Sept étapes de décision

Partant de ces trois périodes, les concepteurs ont imaginé de découper encore plus finement la saison en sept étapes de décision et d'action, centrées sur l'intervention obligatoire à la floraison (voir fig. 3.5(c) et tab. 3.1). En cela, l'historique de « l'action PIC » joue, puisque c'est la structure de la « RDD oïdium », qui découle de l'expertise épidémiologique sur cette maladie, qui a piloté cette organisation temporelle en étapes. L'oïdium est une maladie dont les conditions de développement sont aisément réunies



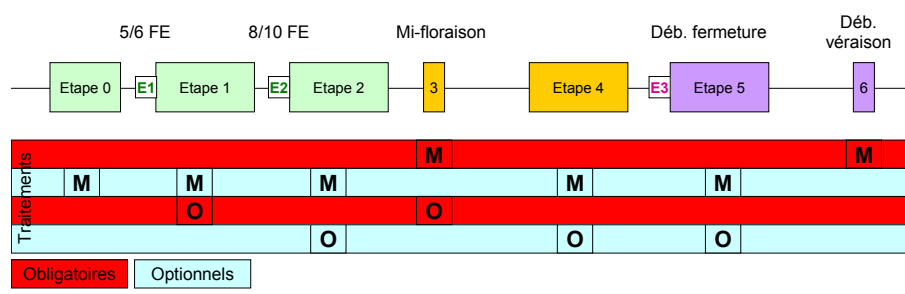
source : d'après L. Delière, Santé végétale, INRA, Bordeaux

(a) Périodes de sensibilité de la vigne au mildiou et à l'oïdium



source : d'après P. Cartolaro, Santé végétale, INRA, Bordeaux

(b) Intensité des attaques en fonction de scénarios épidémiques (idéalisés) à trois périodes : Une période d'initialisations des épidémies, suivie de la période critique de la floraison-nouaison, et finalement les périodes moins sensibles de la fermeture de la grappe et de la véraison



source : d'après L.Delière & P. Cartolaro, Santé végétale, INRA, Bordeaux

(c) Mildium découpe la saison culturale en 7 étapes pouvant donner lieu chacune à des traitements (anti-mildiou M, anti-oïdium O) obligatoires ou optionnels, E correspond à évaluation au champ

FIGURE 3.5 – De l'analyse des période risques épidémiques à l'élaboration d'un Processus Opérationnel de Décision (POD) pour protéger la vigne contre le mildiou et l'oïdium.

Période	Étapes	Objectif	Moyens
Initiale	0 à 2	Maîtrise des épidémies précoces	Évaluation de l'initiation des épidémies et de leur développement avant la floraison
Critique	3	Sécurisation de l'efficacité sur grappes	Traitement mildiou & oïdium au stade mi-floraison
	4	Protection du feuillage et des grappes (fin de période de réceptivité des baies)	Traitement mildiou & oïdium optionnel en fonction de l'initiation épidémique
Tardive	5	État des lieux de l'état sanitaire - opportunité de la poursuite de la protection	Traitement mildiou & oïdium optionnel en fonction d'une observation à la parcelle
	6	Protection du feuillage d'arrière saison (environ 45-60 jours avant récolte)	Traitement obligatoire du feuillage avec un fongicide à base de cuivre

TABLE 3.1 – Articulation entre les périodes de risques, les étapes, les objectifs de protection à chaque étape et les moyens mis en œuvre

mais difficiles à mesurer. Une fois la dynamique épidémique enclenchée, il faut la contrôler de manière continue tant que la vigne est sensible, c'est à dire que la protection contre l'oïdium doit permettre une couverture complète de la période. A l'inverse, le mildiou est une maladie « évènementielle », ses conditions favorables (les pluies) sont aisément observables et partiellement prévisibles. En outre, un premier modèle : Epi89 est utilisé pour estimer le risque d'infection primaire en début de saison, puis le modèle Milvit calcule le développement de *p. viticola* au cours de la saison (Rouzet and Jacquin, 2003).

La rémanence des produits^e utilisés dans Mildium est la plus longue possible de manière à minimiser le nombre de traitements même dans les années où la forte pression épidémique implique une couverture complète. Cette durée est de quatorze jours pour les produits systémiques employés contre l'oïdium. Comme l'indique schématiquement la figure 3.5(b), les contaminations primaires en bordelais ont lieu entre trente et quarante jours avant la floraison. Deux étapes de décision sont donc positionnées environ quinze jours avant la floraison et un mois avant la floraison. Le premier traitement contre l'oïdium est capital puisque comme le montrent les recherches de Santé Végétale (fig. 1.6), les dommages les plus graves sur grappes se retrouvent sur les ceps où les attaques étaient les plus précoces. Un traitement obligatoire est donc à faire contre l'oïdium durant « l'étape 1 ».

Le raisonnement des traitements mildiou pris individuellement se fait selon deux types d'informations : l'estimation des risques de contamination et l'anticipation des

e. La période de rémanence est la durée technique pendant laquelle le produit phytosanitaire va continuer à être actif sans qu'il ne soit nécessaire de renouveler le traitement. Cette durée est établie par le dossier d'homologation du produit. C'est une durée qui intègre la perte d'efficacité du produit et la croissance de la plante.

On a rencontré deux interprétations de cet indicateur : à savoir (i) la durée de rémanence est interprétée comme la période pendant laquelle le produit est toujours actif même partiellement ce qui, compte tenu de la croissance de la plante, implique de possibles contaminations (hors produit systémique), ou bien (ii) la durée de rémanence est la période pendant laquelle les risques de contamination sont garantis nuls ou faibles, l'efficacité ne diminuant qu'à l'expiration de la durée de rémanence. Les Experts Bordelais travaillent selon la seconde interprétation.

pluies^f. En période sèche le mildiou ne peut pas se développer (sauf en cas de forte rosée matinale, par hypothèse et faute de pouvoir la prédire, la rosée n'est pas prise en compte dans la conception de Mildium). Il suffirait donc de répéter pendant toute la période de sensibilité la règle de décision suivante :

$$\text{Epidémie déclarée} \wedge (\text{Risques} \neq \text{nul}) \wedge \text{Pluie prévue} \Rightarrow \text{Traiter mildiou}$$

Cette formule résume bien la stratégie mildiou qui consiste à attendre que l'épidémie soit présente dans la parcelle avant de commencer les traitements puis à renouveler l'application sous condition. Dans Mildium cette « Règle Mildiou » est fusionnée au découpage en étapes nécessaire à l'oïdium.

Combiner « mildiou oïdium » rend la mise en œuvre plus aisée, mais rend le travail du concepteur plus difficile puisque cela l'oblige à organiser le raisonnement de deux luttes qui ne répondent pas aux mêmes logiques. Il y a donc à chaque étape, des choix de priorité qui conduisent à une organisation spécifique du raisonnement. Avec l'ajout du mildiou dans la gestion des étapes, on introduit les notions d'attente et de durée, or la représentation de la décision sous forme de tableau croisé tel qu'initialement utilisé pour formaliser Mildium, ne permet ni de raisonner, ni de rendre compte fidèlement de l'ensemble du processus décisionnel (voir en annexe la version originale de Mildium : tab. B.1).

Chaque étape décisionnelle se caractérise : par (i) un ensemble de conditions d'entrée et un ensemble de conditions de sortie et par (ii) zéro ou une décision de traitement contre l'oïdium et une décision contre le mildiou. Ces traitements sont obligatoires ou décidés en fonction du contexte épidémique (voir figure 3.5(c)). La prise de décision de traitement ou de passage d'une étape à l'autre, nécessite de l'information.

3.4.3 Construction de variables décisionnelles

Pour répondre aux questions « quand » (passer à l'étape suivante) et « quoi faire », les experts pathologistes se sont dotés de trois variables décisionnelles (voir la présentation détaillée de Mildium chap. 5) et ont fait le choix d'effectuer des observations directes au champ.

Au court de « l'action PIC » il a donc fallu :

- déterminer les indicateurs parcellaires pertinents ;
- définir le protocole d'observation ;
- établir le moment opportun pour faire la mesure ;
- et donner à chaque étape des seuils de décision.

3.4.3.1 Variables de décision

Les experts concepteurs ont fait le choix, original, de déconnecter : le raisonnement des traitements, la prise de mesure et la détermination des seuils de décision. Pour cela ils ont considéré trois variables de décision qualitative (M pour le mildiou, O pour l'oïdium et ILM pour l'information locale mildiou, voir chap. 5 et chap. 6), leur affectant

f. Idéalement, seule la combinaison des deux devrait donner lieu à l'application d'un traitement anti-mildiou. Pour autant, compte tenu des risques de contamination, il est parfois dangereux d'attendre qu'une pluie soit prévue pour protéger la vigne : en effet un « faux positif » de la part des prévisions météorologiques peut avoir des conséquences désastreuses.

une valeur symbolique prise dans {‘0’, ‘+’, ‘++’}. Ces valeurs s’interprètent de la manière suivante :

‘0’	niveau nul à modéré
‘+’	niveau préoccupant
‘++’	niveau très préoccupant, urgence

Remarque : dans certains cas il n’y a pas de distinction entre le niveau préoccupant et le niveau très préoccupant, la variable varie alors entre ‘0’ et ‘+’.

Cette approche permet de varier en fonction des contextes particuliers, la définition des seuils ou la méthode de recueil de l’information, de chacune de ces variables. Ainsi, dans les expérimentations menées à Bordeaux, les seuils sont adaptés à chaque période d’observation (voir tab. 6.1 p.165).

3.4.3.2 Observations

La première observation est positionnée avant l’étape 1, la seconde avant l’étape 2 et la troisième avant l’étape 5. Une observation supplémentaire est possible en étape 0 sous conditions. Les objectifs de chaque observation sont présentés au chapitre 5. Les observations s’intercalent dans le temps avec les étapes de décisions. Leurs conditions d’exécution sont du même type que les conditions d’entrée ou de sortie des étapes. Elles dépendent notamment de l’évaluation des stades phénologiques.

3.4.3.3 Echantillonnage

La qualité de l’échantillonnage est un point important pour toute stratégie IPM (Hughes, 1999). Cependant de nombreuses stratégies d’échantillonnage mises au point par les universitaires ne sont pas transférables telles quelles aux professionnels (Cullen et al., 2000). La méthodologie d’échantillonnage aux champs de Mildium (voir section 6.4.2.1) a été construite avec le souci d’être opérationnel^g.

3.4.3.4 Stades phénologiques

Le stade phénologique est un indicateur pertinent pour la gestion de l’épidémie car la sensibilité de l’hôte varie au cours de son développement mais construire un indicateur opérationnel fiable est difficile. La question de la fiabilité de l’estimation du stade phénologique conditionne la répétabilité des expériences (voir chap. 6). Cette question se pose au niveau parcellaire, avec la difficulté à établir un indicateur représentatif et à l’interpréter (stade moyen, stade précoce). . . La question reste ouverte. Les expérimentations ont été menées en estimant le stade phénologique « au jugé » lors des « tours de plaine » comme cela se fait dans la pratique. Au cours de la thèse, j’ai cherché à modéliser cet estimateur expert à partir des données expérimentales du processus Mildium et de suivis précis de la phénologie des parcelles. A l’issue de cette recherche, aucun modèle satisfaisant n’a été trouvé pour simuler les estimations de phénologie des experts. On a cependant mis en lumière le fait que les difficultés ne sont pas seulement liées à l’agrégation de l’information parcellaire : l’échelle multi-parcellaire joue aussi dans l’estimation des experts.

g. la détection précoce de l’oïdium est une tâche nécessitant une formation car les symptômes sont discrets, mais les opérateurs formés peuvent échantillonner une parcelle d’un hectare en 1h30

3.4.4 Conclusion à propos de la conception du POD Mildium

Ces premiers travaux ont produit les concepts de gestion combinée de l'oïdium et du mildiou du POD Mildium. En revanche, la formalisation de ces processus n'était que peu avancée et les modes de représentation choisis ne permettaient pas de répondre aux trois besoins identifiés pour la modélisation (communication, opérationnalité, fiabilité). Mon travail a eu comme objectif de répondre à ce besoin en identifiant et en mettant en œuvre le formalisme des Statecharts.

3.5 POD, workflow et modèle d'action

Au cours de cette section, on positionne le concept de POD tel qu'il peut être illustré par Mildium et vis à vis des concepts vus précédemment.

3.5.1 Le POD et les processus métiers

L'intérêt qui est porté ici à la modélisation des processus métier tient à l'identité des objectifs (c'est à dire de représenter un processus métier), mais il tient surtout à sa sémantique formelle. La modélisation de processus métier telle qu'elle est présentée ci-dessus est transposable à une activité décisionnelle, c'est-à-dire à une activité de production de décision. C'est cette similarité de vue qui m'a incité à choisir le terme de DeWS qui est la traduction de la notion de POD.

Pour autant, Mildium ne retient pas tous les aspects d'un processus métier. En effet, dans la phase de développement du POD Mildium, il s'agit d'abord d'objectiver le processus et de mettre l'accent sur les aspect décisionnels, à savoir le « flux de commande »^h pour reprendre le vocabulaire de van der Aalst and van Hee. Le questionnement sur le suivi des ressources matérielles devra venir plus tard. Cette distinction explique mon choix des Statecharts plutôt que des Rdp. Comme l'indique van der Aalst and van Hee (2002) :

Bien que les Statecharts et les Réseaux de Petri soient fondamentalement différents, ils partagent les mêmes caractéristiques. Ce sont toutes deux des techniques à la fois graphiques, dotés de sémantiques formelles et capables de représenter des processus concurrents. Le point de vue des Statecharts est focalisé sur les états et les transitions. Le point de vue des Rdp se concentre sur le flux de ressources (les jetons) et les activités.

in : van der Aalst and van Hee (2002)

Le second caractère commun aux processus métier et au POD Mildium est le caractère opérationnel du processus modélisé. Là où le système de gestion de travail transmet les cas ou dossiers d'un opérateur à l'autre, Mildium produit des ordres de traitements.

Au cours de ma thèse, j'ai fait l'hypothèse que le système de décision tactique était asynchrone de la mise en œuvre. On découvrira au chapitre 6 que les contraintes de ressources et de délais ne peuvent pourtant pas être découplées du raisonnement de la décision. Il y a un caractère critique des décisions prises par Mildium, qui impose des délais de réponses. Ce caractère critique est lié à l'activité de protection des cultures et

h. control flow

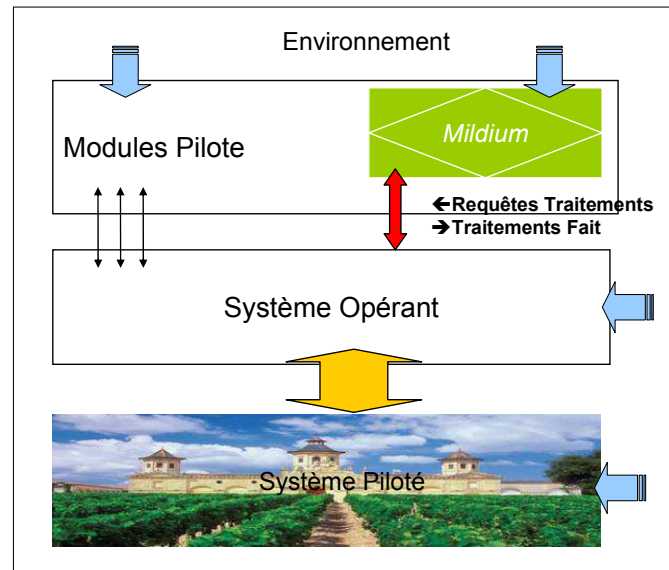


FIGURE 3.6 – L'intégration de Mildium dans le modèle de l'entreprise agricole

aux objectifs de Mildium qui doit à la fois garantir la production et réduire le nombre de traitements, ce qui peut amener à prendre les décisions au plus tard. On évoque en conclusion (chap. 7) quelques pistes qui devraient permettre de conserver l'aspect générique du **POD** tout en vérifiant les propriétés critiques.

3.5.2 Le POD vis à vis de la simulation

Le modèle de Mildium et l'architecture du simulateur qui sont présentés aux chapitres 5 & 6 sont conçus sur la base de l'ontologie développée par [Martin-Clouaire and Rellier \(2002\)](#) comme le montre la figure 3.6. La divergence principale en terme d'architecture concerne la possibilité pour le pilote d'observer le système piloté de manière directe (voir fig. 3.2). Le sous-entendu qui est fait dans [Martin-Clouaire and Rellier \(2003\)](#) est qu'un capteur permet d'observer le système piloté sans coût significatif. A l'heure actuelle, il n'existe pas de tels capteurs en viticulture qui pourraient fournir les informations pertinentes à un système de contrôle des épidémies tel que Mildium. A ce jour, la mobilisation de ressources humaines est requise pour effectuer l'observation au champ.

Ajoutons qu'il y a une différence d'objectif de recherche. Les travaux du BIA fournissent une architecture technique, mais ne posent pas la question de la conception et du recueil des plans stratégiques que la plate-forme de simulation permet de tester.

Remarque : [Garcia et al. \(2001\)](#); [Attonaty et al. \(1999\)](#); [Chatelin et al. \(2007\)](#) ont cherché à combiner simulation biotechnique et découverte de stratégies innovantes. Ils utilisent des méthodes issues de l'apprentissage automatique pour générer des plans et évaluer leur qualité par simulation.

Mon travail se positionne en amont de l'évaluation de performances, que ce soit l'évaluation de stratégies par la simulation *in silico* ou par l'expérimentation *in campo*. Répétons-le : on cherche à élaborer des outils d'aide à la conception de stratégies de

décision, par l'utilisation des outils de la modélisation informatique, de la modélisation d'entreprise et de l'automatique.

3.5.3 Le POD vis à vis du modèle d'action

Si le vocabulaire formel du POD Mildium est à rechercher dans les outils de la modélisation d'entreprise, le vocabulaire conceptuel utilisé par les experts relève profondément de celui du modèle d'action. Il est assez étonnant de constater à quel point ceci est vrai pour le POD Mildium, alors que cela se vérifie moins pour les designs précédemment mis au point. Ainsi les RDD qui avaient été élaborées entre 2001 et 2004 et qui ne concernaient qu'une seule maladie se présentaient moins comme des processus de décisions que comme de simples règles de décision, sans cesse répétées. Il est intéressant de constater le recours de la part d'experts pathologistes n'ayant pas, a priori, la maîtrise du modèle d'action, aux concepts fondamentaux de cette théorie tels que :

Pilotage Stratégique/Opérationnel qui correspond à la notion d'organisation globale de Mildium. Le pilotage correspond également à l'usage coordonné de différentes bases de règles de décision selon la saison de façon à rendre compte : (i) de l'aspect prioritaire d'une maladie sur l'autre à diverse périodes ; mais aussi (ii) de l'alternance entre phases où les traitements sont optionnels, et durant lesquels des réductions sont possibles, et phases où les traitements sont obligatoires, ce qui permet de sécuriser la protection et de resynchroniser les applications.

Phase Le pilotage de Mildium est assuré par l'équivalent de phases de décision qui ont été appelées *étapes de décision*. On peut noter une petite différence entre la notion de phase telle qu'exprimée par Sebillote and Soler (1988) et les *étapes*, en ceci que les étapes ne visent pas à réaliser des sous-objectifs spécifiques. En revanche, à chaque étape correspond une rationalité explicite.

Indicateur Le POD utilise des variables de décision qualitatives qui correspondent bien aux indicateurs tels qu'ils sont exprimés dans le modèle d'action. Elles permettent d'encapsuler la prise de mesure et les seuils de décision, rendant possible l'adaptation de ces seuils, sans remettre en cause fondamentalement le raisonnement. Au cours de mon travail, je ne me suis que modérément attaché à la modélisation de tels indicateurs et notamment à la modélisation de la manière dont les informations sont mobilisées et organisées. Pour cela, on pourra s'inspirer des travaux de (Fountas et al., 2006) qui proposent un formalisme pour mettre en évidence l'usage de l'information dans la prise de décision de l'agriculteur.

Rendez-vous La notion de rendez vous est assez directement retranscrite dans le POD avec l'utilisation d'observations au champ qui permet de mettre à jour les variables décisionnelles et les resynchronisations qui s'opèrent à certaines étapes clefs.

Ces similarités laissent à penser que les outils mis au point pour expliciter *ex ante* les stratégies des agriculteurs à des fins de diagnostic, sont également des outils pertinents pour les chercheurs concevant des stratégies innovantes.

Quand viendra le moment de la conception d'un outil d'aide à la décision, plus intégratif qu'un POD (qui ne vise qu'un objectif), on aura recours plus directement aux analyses issues du modèle d'action pour permettre une intégration harmonieuse du POD dans l'ensemble des stratégies de l'agriculteur.

3.6 Conclusion

Ce chapitre clôt notre analyse critique de l'état de l'art. La modélisation de la décision en agriculture se situe à différents niveaux : gestion stratégique, gestion opérationnelle. A ce niveau, l'aide à la décision proposée dans la littérature fait souvent appel à des modèles biotechniques, mais pour nombre de cultures pérennes, dont la vigne, ces modèles sont insatisfaisants, voire inexistants. C'est pourquoi il est intéressant de mobiliser la notion de processus, comme cela a été fait dans le cadre de la modélisation d'entreprise, avec les processus métiers. Une prise de décision en **PIC** peut être assimilée à un processus métier de décision, un **POD** dans notre terminologie.

Les bases du **POD** Mildium, ébauchées antérieurement à mon travail de thèse ont également été présentées dans ce chapitre. C'est à partir de cette base que j'ai apporté ma contribution en formalisation des processus. Une première étape a été d'objectiver et d'enrichir ce **POD** par un recueil d'expertise, présenté dans le chapitre suivant.