

Première partie

Modélisation de la répartition spatio-temporelle des actions culturales

On présente dans cette partie l'analyse des processus de gestion technique pour la modélisation puis le modèle décisionnel DHIVINE développé pour représenter les actions culturelles des viticulteurs (partie bleue sur la figure 1.15 présentant le modèle conceptuel).

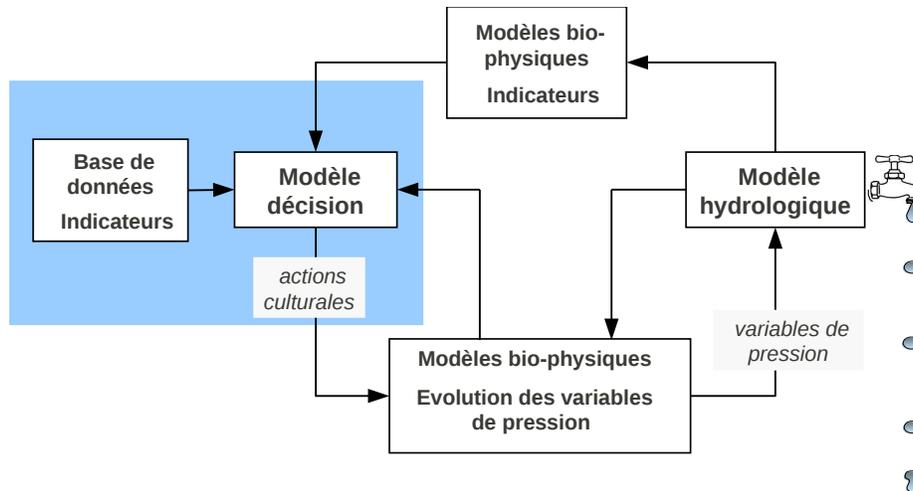


FIGURE 1.15 – La partie du modèle conceptuel traitée dans la partie I

Chapitre 2

Analyse des processus de gestion technique pour la modélisation

Sommaire

2.1	Introduction	65
2.2	Matériel et Méthodes	68
2.2.1	Le plan d'échantillonnage	68
2.2.2	Les données récoltées	68
2.2.3	Le traitement des enquêtes	70
2.3	Résultats et discussion	71
2.3.1	Une grande variabilité de l'objet cultivé	71
2.3.1.1	Le parcellaire	71
2.3.1.2	La distribution des modalités d'entretien du sol sur les parcelles	72
2.3.2	Des niveaux de ressources variables	73
2.3.2.1	La main d'oeuvre	73
2.3.2.2	Le matériel	74
2.3.3	Des modalités de conduites techniques hétérogènes	74
2.3.3.1	Sur les différents travaux du cycle cultural	75
2.3.3.2	Sur l'organisation du travail	80
2.4	Conclusion	81
2.4.1	Un nombre limité d'opérations qui modifie l'infiltrabilité et la concentration en pesticides mais un grand nombre d'actions à modéliser	81
2.4.2	Des conduites techniques variées sur des parcellaires hétérogènes avec de fortes contraintes sur les ressources	81

Chapitre 2

Analyse des processus de gestion technique pour la modélisation

2.1 Introduction

Dans le cadre de notre problématique sur la pollution de l'eau par les pesticides en milieu viticole, on a adopté une démarche de modélisation des agro-écosystèmes dans l'objectif de produire un outil d'évaluation des pratiques culturales à l'échelle de bassin versant. L'infiltrabilité de la surface du sol et la concentration en matières actives au sol ont été identifiés comme deux facteurs déterminants des impacts hydrologiques et fortement dépendants spatio-temporellement des pratiques mises en oeuvre par les agriculteurs, en terme d'entretien du sol et de protection phytosanitaire. En effet, à l'échelle d'un bassin versant cultivé, le motif créé par les parcelles agricoles définit une distribution spatio-temporelle des variables d'état du système que l'on peut assimiler à une mosaïque dynamique animée par les actions culturales¹ réalisées ponctuellement sur chaque pièce de la mosaïque. Il nous faut donc définir pour les opérations qui provoquent une modification de la mosaïque où et quand elles sont réalisées pour chercher à les reproduire dans l'outil d'évaluation des impacts des pratiques.

Le grain spatial de la mosaïque des variables dans l'agro-écosystème est celui de la parcelle agricole. On va donc s'intéresser à représenter l'itinéraire technique, ou tout du moins, une partie des opérations qui constitue l'itinéraire technique de chaque parcelle du bassin versant. On a donc porté l'étude des pratiques au niveau de l'exploitation car c'est bien la conduite technique de l'exploitation qui conditionne in fine les itinéraires techniques réalisés sur les parcelles.

La conduite technique mise en oeuvre dans l'exploitation agricole repose sur des décisions d'ordre stratégique que réalise le chef d'exploitation, qui concernent des temps longs et dépendent principalement de déterminants socio-économiques et de certaines contraintes liées au milieu (Aubry et Michel-Dounias, 2006). On précise que l'on considère ce cadre stratégique fixé et que l'on s'intéresse uniquement aux décisions d'ordre tactique qui conduisent la réalisation des opérations techniques sur les parcelles au cours d'un cycle cultural.

Pour représenter la gestion technique d'une exploitation agricole, il est nécessaire de se situer dans un cadre de formalisation des actes techniques.

1. On notera que le terme action culturale pourra être employé plutôt que le terme d'opération technique pour mettre en valeur ce qui est fait pour réaliser une intention. En effet, l'opération est, elle, caractérisée plutôt par son effet ou son résultat.

Encart 2.1. Un modèle conceptuel de gestion technique d'une sole (Aubry, 2007)

Ce modèle conceptuel comporte trois éléments essentiels : des *variables décisionnelles* (ce sur quoi l'agriculteur doit décider), des *règles de décisions* (comment l'agriculteur aboutit aux valeurs des variables décisionnelles, incluant des indicateurs) et des *unités de gestion* (à quels ensembles temporels et spatiaux l'agriculteur conçoit variables et règles et comment il les applique). Ces éléments du modèle ont été classifiés et une représentation globale proposée.

- les *variables décisionnelles* pour la gestion de la sole de blé culturale comportent des variables portant sur le *positionnement temporel des opérations*, d'autres portant sur les *modalités d'intrants* (choix des variétés, des natures de produits, doses prévues etc.) et enfin sur les *modalités d'organisation de chantiers* (la combinaison de la main d'oeuvre et des équipements nécessaires à la réalisation des opérations).
- Y sont associées des *règles de décision* dont est proposé une classification et une formalisation. Certaines de ces règles sont de type déclaratif, d'autres de type conditionnel [si (indicateur) alors (action)]. Elles portent sur le positionnement temporel à travers les *règles d'enchaînement entre opérations*, de *déclenchement ou de fin* d'une opération ou d'*arbitrage* : ces dernières existent lorsque des intervalles de temps pour des opérations culturales se recoupent (entre parcelles d'une sole ou entre cultures), on a alors concomitance de ces opérations, et que les moyens en main d'oeuvre et en matériel ne permettent pas de les mener toutes simultanément : on a alors une concurrence de travail entre ces opérations. Les règles concernent aussi des modalités d'opérations, à travers leur *constitution* et leur *attribution* aux parcelles de la sole.

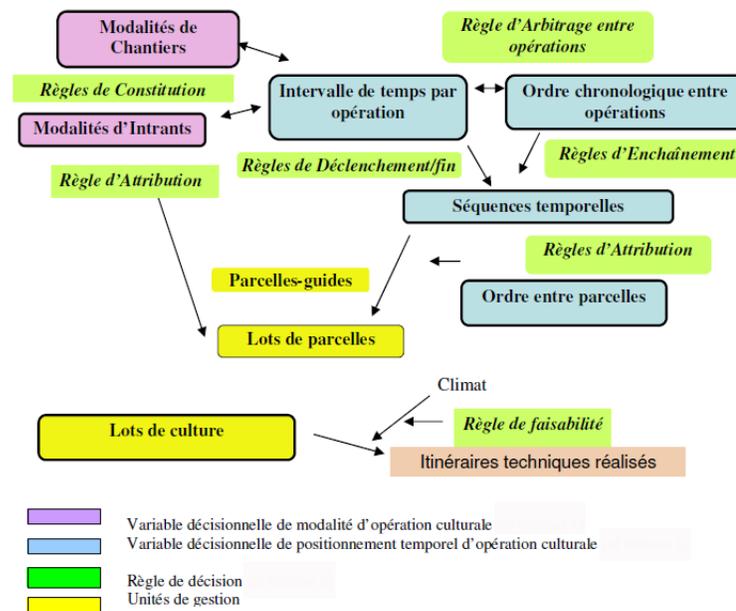


FIGURE 2.1 – Représentation globale de la gestion technique de la sole de blé dans l'exploitation

On constate chez les agriculteurs que les *indicateurs* auxquels ils recourent dans leurs règles de décision sont de nature très variée : dates calendaires-repères, événements liés au peuplement végétal cultivé sur les parcelles (atteinte d'un stade physiologique, observation d'un état d'infestation), avancée du travail sur une autre production, par exemple. Les préoccupations liées à l'organisation globale du travail sur une période (cf ci-dessous) sont des causes très fréquentes de décision sur une culture.

- enfin on identifie des *unités de gestion propres à l'agriculteur* : on constate ainsi que l'agriculteur raisonne rarement parcelle par parcelle, il constitue plutôt des *lots de parcelles* pour attribuer un positionnement temporel et/ou une modalité. D'une opération à l'autre, l'allotement peut varier mais les lots sont toujours constitués sur des critères simples (souvent une proximité géographique, un type de sol, un groupe de variétés etc.) et, sur l'ensemble du cycle cultural on peut identifier des *lots de culture*, rassemblant les parcelles appartenant aux mêmes lots pour les opérations successives.

Le modèle conceptuel de représentation des actions techniques des agriculteurs couramment utilisé par les agronomes est le modèle d'action (Sebillotte et Soler, 1990). Ce modèle intègre les théories de la gestion de l'entreprise ou de l'intelligence artificielle (Papy, 1994 ; Aubry, 2000). Il se base sur la vision de l'agriculteur en tant qu'entrepreneur qui établit des plans prenant en compte les aléas et les moyens d'y répondre. Ainsi, le modèle de comportement de l'agriculteur est caractérisé par des objectifs généraux, un programme prévisionnel avec des états-objectifs intermédiaires et un corps de règles d'organisation et d'ajustement aux éventualités.

A partir de ce concept de modèle d'action, Aubry (1995) a défini dans le cadre d'études d'exploitations en grandes cultures une représentation conceptuelle du raisonnement technique de l'agriculteur qui explicite le plan prévisionnel d'action sous forme de variables décisionnelles et de règles de décision catégorisées (figure 2.1 et encart 2.1). Dans la suite, nous utiliserons le terme de variables et de règles pour l'action plutôt que de variables décisionnelles et de règles de décision, car elles n'ont pas vocation à décrire le raisonnement ou le processus de décision lui même mais bien à prédire le résultat c'est à dire les actions.

Quelques autres approches françaises de la représentation des décisions techniques de l'agriculteur existent, notamment pour le cas de l'élevage (Bellon et al., 1999, Girard et al., 2001) mais peu de modèles ont été identifiés à l'échelle internationale (Aubry et Michel-Dounias, 2006). De plus, la représentation conceptuelle d'Aubry ayant démontré son caractère extrapolable à d'autres cultures et notamment à des cultures pérennes (Bellon et al., 2001, Luneau, 2004), c'est l'approche qui a été utilisée comme grille de lecture des pratiques des viticulteurs.

On considère donc que l'on peut définir, via un ensemble de règles et de variables, un plan d'action du chef d'exploitation à l'échelle du cycle cultural associé à des décisions de mise en oeuvre à un pas de temps très court (la journée). Pour notre cas d'étude qu'est la viticulture languedocienne, on utilise donc cette grille de formalisation des pratiques pour rendre compte de la variabilité des processus de gestion technique du vignoble dans un méso bassin versant (75 km²). Cette analyse se fait nécessairement au regard de la problématique de la pollution de l'eau par les pesticides.

Il ne s'agit pas d'établir une typologie de modèles d'action sous-tendant la gestion technique, mais de caractériser l'organisation anticipée de chacune des opérations culturales impliquée dans la conduite du vignoble et sa variabilité selon les exploitations. Cette caractérisation doit permettre de construire un cadre de modélisation des processus de gestion technique du vignobles, qui permette de rendre compte de différents choix techniques mis en oeuvre sur des vignobles différents, avec de niveaux de ressources en matériels et main d'oeuvre variés. Pour ce faire, la caractérisation de la variabilité de la gestion technique vignoble doit donc s'accompagner d'une caractérisation de la diversité des vignobles, des parcelles de vigne, des ressources en matériel et en main d'oeuvre.

Pour l'étude, on pose l'hypothèse qu'il faut représenter l'ensemble du cycle cultural qui constitue l'unité temporelle significative de l'agriculteur. En viticulture, le cycle dure une année et on considère qu'il s'étend de la fin des vendanges (la récolte se situe généralement à la fin septembre-début octobre) d'une année à la fin des vendanges de l'année suivante. Cette hypothèse est liée à l'étalement des différentes opérations que l'on souhaite représenter sur l'ensemble du cycle cultural (les opérations d'entretiens du sol s'étalent de l'automne au début de l'été).

2.2 Matériel et Méthodes

La démarche adoptée pour l'étude des pratiques est l'enquête en exploitation agricole. Il est nécessaire de signaler que les exploitants rencontrés avaient déjà été soumis à une ou plusieurs enquêtes dans le passé et qu'il existait donc un fond d'informations sur les exploitations et les conduites techniques des exploitations.

2.2.1 Le plan d'échantillonnage

Cinquante-quatre enquêtes ont été réalisées sur le bassin versant de la Peyne. L'échantillonnage a été réalisé spatialement : 5 transects orientés nord-est/sud-ouest et régulièrement espacés ont permis de sélectionner des parcelles puis un tirage au sort de ces parcelles a permis de sélectionner des exploitations à enquêter. Cette sélection par l'espace a été réalisée dans le cadre d'une étude visant à simuler la distribution spatiale des stratégies d'entretien du sol (Biarnès et al., 2009) et pour laquelle un échantillon de 65 exploitations a été constitué. Les 54 exploitations enquêtées au cours de ce travail du thèse sont issues de cet échantillon. Neuf exploitants n'ont pu être rencontrés pour cause de refus ou d'absence de disponibilité.

Ce choix de sélection par l'espace est lié à la question environnementale et au contexte de la zone d'étude. En effet, en 2000, selon les données du dernier recensement général agricole, les petites exploitations (de moins de 5 ha) représentaient 54% du nombre total d'exploitations mais n'occupaient que 8% du territoire. Une sélection d'un échantillon représentatif, basé sur les caractéristiques structurelles d'exploitation, notamment la surface en vigne de l'exploitation, aurait donc conduit à une sur-représentation de ces petites exploitations qui ont a priori un poids plus faible sur les résultats environnementaux à l'échelle du territoire. De plus, cette sélection spatiale assure une bonne répartition spatiale des exploitations enquêtées sur la zone et permet de couvrir les différentes unités pédologiques ainsi que les différentes communes de la vallée. On fait l'hypothèse qu'elle assure une bonne représentation de la diversité des stratégies techniques présente dans la Peyne.

Les enquêtes ont été réalisées durant le printemps 2008 (20) et le printemps 2009 (34). Les enquêtes, de 2h en moyenne, ont été réalisées au domicile de l'exploitant par entretien semi-directif enregistré avec des questions ouvertes.

2.2.2 Les données récoltées

Une première partie des enquêtes s'est attachée à poser le cadre de l'exploitation. Les informations structurelles récoltées ont porté sur les caractéristiques générales de l'exploitation (surface, date d'installation, type de valorisation de la production, etc.), le parcellaire : distribution spatiale et caractéristiques des parcelles (date de plantation, cépage, etc.), la main d'oeuvre et le matériel : nombre, qualité, compétences. Ces informations déjà récoltées lors de précédentes enquêtes ont seulement été mises à jour.

Pour compléter la définition de ce qu'était l'objet cultivé, les modalités d'entretien des parcelles ont ensuite fait l'objet d'un inventaire. En effet, en viticulture, l'organisation en rangées offre des possibilités de mettre en oeuvre différents entretiens du sol. Les viticulteurs ont à leur disposition divers moyens pour entretenir le sol :

- le travail du sol ;
- le désherbage chimique
- l'enherbement

Ces différents types d'entretien peuvent se combiner à l'échelle de la parcelle

- dans l'espace : au sein d'une même parcelle, on peut retrouver jusqu'à trois types d'entretien : un type pour le rang, deux pour les inter-rangs dont les entretiens peuvent alterner d'un inter-rang à l'autre (figure 2.2) ;
- dans le temps : au cours d'un cycle cultural, les types d'entretien peuvent se combiner sur la même surface (par exemple le viticulteur peut désherber chimiquement puis travailler le sol ; ou l'enherbement peut être temporaire, il peut alors être détruit par désherbage chimique ou travail du sol).



FIGURE 2.2 – Combinaison dans l'espace d'entretiens du sol par enherbement et par travail du sol sur les inter-rangs et par désherbage chimique sur le rang

Dans l'exploitation, un viticulteur peut mettre en oeuvre différentes combinaisons d'entretien du sol pour différents lots de parcelles. Par exemple, des parcelles à écartement étroit entre rangs pour lesquelles il n'aurait pas de matériel adapté peuvent être totalement désherbées chimiquement et les parcelles plus larges avoir des inter-rangs travaillés.

Les modalités d'entretien du sol adoptées par un viticulteur conditionnent ainsi les travaux qu'il aura à réaliser au cours d'un cycle cultural sur ses différentes parcelles. La connaissance des modalités d'entretien du sol des parcelles en fonction de leur caractéristiques peut ainsi s'apparenter, en situation de grandes cultures, à la connaissance de l'attribution des cultures aux parcelles dans le cadre des rotations : on cherche à connaître ce qui va définir le contour biophysique des parcelles exploitées, quel visage auront les parcelles.

Finalement la majorité du temps de l'entretien a été consacré à la conduite de la culture. Les informations sur la mise en oeuvre des actions ont été prises pour l'ensemble du cycle cultural. Le cycle peut être découpé en différentes périodes pour le recueil des données. La découpe est réalisée par rapport aux différents travaux qui composent le cycle et au développement végétal des vignes qui détermine des butées temporelles plus ou moins rigides aux travaux à réaliser (Jourdan, 1994). La figure 2.3 présente le calendrier des travaux viticoles.

Dans le cadre des enquêtes trois périodes ont été définies :

- une période automnale qui commence avec le début du cycle (fin des vendanges) jusqu'au début de la taille ;
- une période hivernale qui commence avec la taille et qui se termine au début des premiers traitements phytosanitaires (environ fin avril) ;
- une période printanière et estivale qui s'étend du débournement à la fin du cycle : les vendanges.

Pour chaque période, on a cherché à appréhender comment le viticulteur planifiait ses actions. On a donc utilisé la grille de représentation de la gestion technique d'une sole proposée par Aubry pour obtenir des données sur :

- la caractérisation des opérations à réaliser (intrants, matériel et main d'oeuvre), les parcelles concernées (et si nécessaire leur localisation dans la parcelle), leur positionnement temporel, les indicateurs de déclenchement, et les conditions de faisabilité ;
- la gestion des concurrences éventuelles entre opérations et parcelles (règles de priorité).

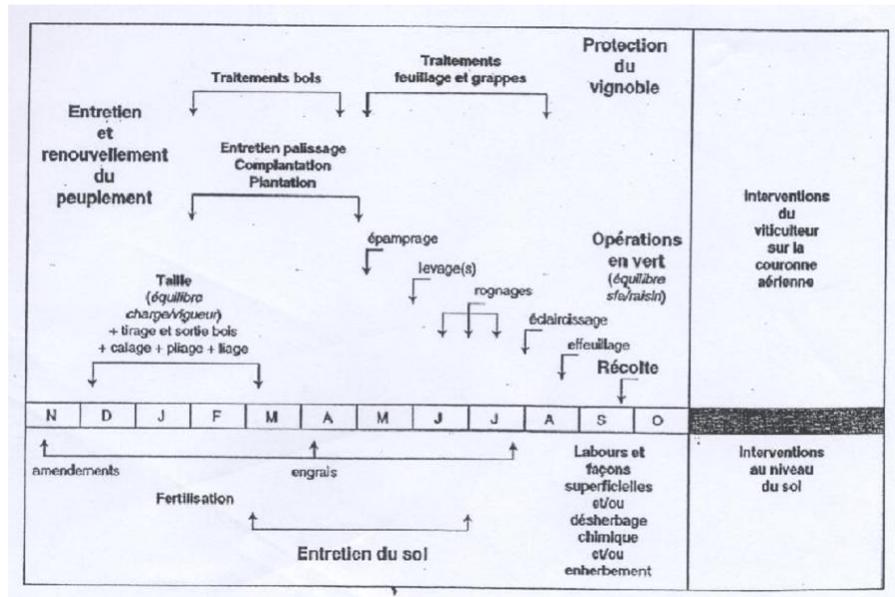


FIGURE 2.3 – Calendrier des travaux viticoles

On a plus insisté sur la caractérisation des opérations d'entretien du sol et de protection phytosanitaire qui influent directement sur la pollution de l'eau par les pesticides. Les autres opérations ont été étudiées parce qu'elles sont susceptibles d'être en concurrence avec les opérations d'intérêt.

2.2.3 Le traitement des enquêtes

Le traitement d'enquêtes visait à :

- catégoriser les parcelles de vigne (en fonction notamment des modes d'entretien du sol qui permet de distinguer des types de rangs et d'inter-rangs), les ressources en matériel et en main d'oeuvre disponibles (types de matériel, types de main d'oeuvre, types de combinaison de matériel et de combinaison de main d'oeuvre) ;
- distinguer parmi les variables et règles d'action représentant la conduite du vignoble, celles que l'on peut considérer invariantes entre exploitations (soit parce qu'elles le sont vraiment, soit parce que leur variabilité affecte peu in fine les variables d'états du milieu à impact hydrologique), de celles dont la variabilité a été jugée importante à prendre en compte (parce qu'elle influe sur l'évolution des variables d'états du milieu) ;
- catégoriser (réduire à quelques modalités) ces dernières.

Le traitement a été réalisé de manière experte en analysant chaque élément de la structure d'exploitation (parcellaire, main d'oeuvre, matériel) puis chaque type de travaux composant la conduite du vignoble (travail du sol automnal, fertilisation, protection phytosanitaire, etc.). A chaque fois, une description a été effectuée en présentant la variabilité observée, ce qui nous a permis de distinguer les variables et règles d'action invariantes des autres. Ensuite, une catégorisation a été proposée. Elle s'est basée sur l'influence des modalités sur l'évolution des variables d'états du milieu (par exemple, on a distingué des règles de déclenchement de travaux qui pouvaient amener à réaliser les opérations à deux moments bien distincts).

2.3 Résultats et discussion

2.3.1 Une grande variabilité de l'objet cultivé

La caractérisation des parcellaires des exploitations et des modalités d'entretien du sol a montré que l'ensemble des parcelles qui constitue l'objet cultivé d'une exploitation agricole était très hétérogène pour une exploitation donnée et entre les exploitations.

2.3.1.1 Le parcellaire

Les parcellaires des exploitations enquêtées sont variables en taille. Les surfaces des exploitations étaient inférieures à 10ha dans 30% des cas ; comprises entre 10 et 20ha dans 24% des cas ; comprises entre 20 et 40ha dans 28% des cas et supérieures à 40ha dans 18% des cas.

Ils sont également hétérogènes en terme de répartition spatiale avec une parcellisation généralement importante comme le montre la figure 2.4. Sur les graphiques, l'origine représente le centre d'exploitation qui dans notre zone d'étude est très majoritairement situé dans une commune. Les parcelles sont représentées par des ronds dont la surface est proportionnelle à la surface de la parcelle. Les axes sont gradués selon les coordonnées géographiques.

Suite aux campagnes de réenclavement pour améliorer la qualité des vins produits dans la région, la gamme des cépages des exploitations s'est développée et on trouve généralement un grand nombre de cépages différents dans une même exploitation. Mais pour autant la gamme n'est pas homogène entre les exploitations, par exemple près de 28% des exploitations ne cultivent que des cépages rouges, 17% ne cultivent pas de cépages dits « traditionnels » de la région, etc.

Les parcellaires des exploitations sont donc majoritairement dispersés et ils sont variables entre exploitation. Pour une exploitation donnée, le parcellaire est souvent très hétérogène en terme de cépages mais également sur d'autres caractéristiques comme l'écartement entre rangs ou le système de taille. L'homogénéisation de la conduite est donc rendue difficile.

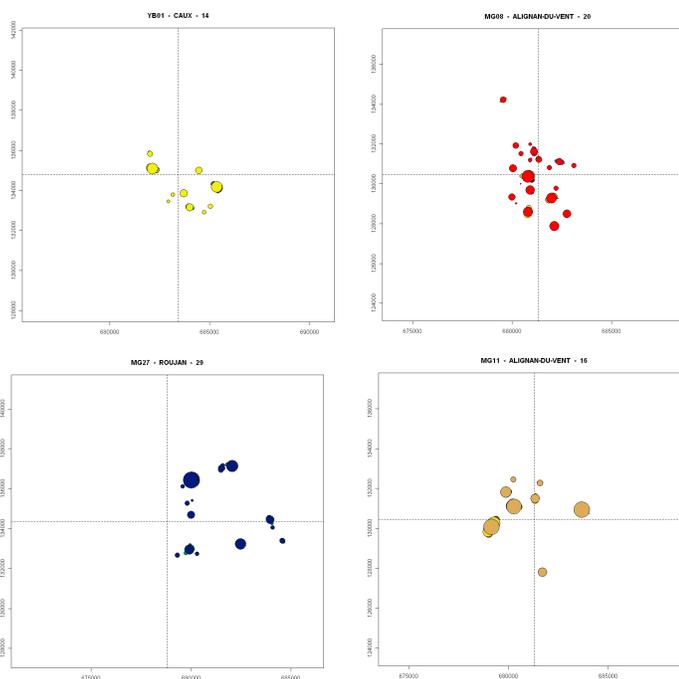


FIGURE 2.4 – Représentation de la répartition spatiale de parcellaires d'exploitations enquêtées

L'origine du graphe représente le centre d'exploitation et les ronds les parcelles de l'exploitation. Leur surface est proportionnelle à celle de la parcelle représentée..

On illustre avec la figure 2.5 les distributions intra-exploitation observées pour quatre des cinq stratégies présentées (numérotées de 1 à 4) pour les 20 viticulteurs enquêtés lors de la première phase. Les cercles rouges indiquent les parcelles aux caractéristiques les plus répandues dans l'exploitation et qui sont donc entretenues de la façon indiquée par l'intitulé de la stratégie. On voit que pour la stratégie basée sur le travail du sol des inter-rangs (1) une partie des exploitations entretient toutes les parcelles de manière identique alors que d'autres exploitations mettent en oeuvre du désherbage chimique pour les parcelles caillouteuses ou étroites. Une autre variabilité de mise en oeuvre de la stratégie est illustrée par les exploitations dont la stratégie est basée sur une combinaison dans l'espace de l'enherbement et du travail du sol (5). Elles peuvent mettre en oeuvre des variantes en fonction des largeurs des inter-rangs (par exemple, l'enherbement est temporaire dans les parcelles étroites).

On analyse les variations introduites dans les modalités d'entretien du sol plutôt en terme de contraintes physiques que d'objectifs de production. En effet, les productions au sein des exploitations enquêtées sont plutôt homogènes et les viticulteurs mettent rarement en avant cette explication pour justifier les différentes modalités attribuées aux parcelles.

En conclusion, l'organisation en rangées des parcelles concourt à une hétérogénéité intraparcellaire forte des modalités d'entretien du sol et donc des travaux à réaliser. De plus, la diversité des parcelles d'une exploitation augmente l'hétérogénéité du fait de la définition de lots de parcelles redevables de modalités différentes d'entretien du sol.

2.3.2 Des niveaux de ressources variables

2.3.2.1 La main d'oeuvre

Les exploitants peuvent avoir différents statuts : agriculteur à temps plein, pluriactif ou retraité.

Chaque type de main d'oeuvre peut être ensuite à temps plein ou à temps partiel. Le travail en temps partiel peut correspondre à un travail partiel à l'échelle de la semaine ou à un temps partiel à l'échelle annuel, c'est à dire que la personne ne travaille qu'une partie de l'année.

Pour les exploitants, un travail à temps partiel correspond soit à une situation de pluri-activité de l'exploitant soit à la réalisation d'autres activités que la viticulture au sein de l'exploitation sur des temps consécutifs : vinification, gestion, autres cultures, etc. Pour la main d'oeuvre employée (issue de groupement d'employeurs) cela correspond à un travail de type temps plein mais sur une partie seulement de l'année. Pour les autres types de main d'oeuvre employée et la main d'oeuvre familiale cela correspond à un soutien pour une ou plusieurs activités bien définies et le plus souvent manuelles (ex : taille, relevage). Il est à noter que les exploitants peuvent ne pas être comptés dans la main d'oeuvre effective de l'exploitation si leurs autres activités ne leur permettent que très rarement de participer aux travaux viticoles.

Compte tenu des difficultés économiques auxquelles font face les viticulteurs de la zone, la plupart cherchent à réduire les coûts de main d'oeuvre très importants. Par conséquent, on trouve beaucoup de main d'oeuvre à temps partiel qu'elle soit familiale ou employée et elle peut réaliser des travaux très différents d'une exploitation à l'autre en fonction de ses compétences. Par exemple l'épouse ou la mère d'un viticulteur aide plutôt aux travaux manuels alors que le père d'un viticulteur peut aussi aider à la réalisation des travaux du sol, de la même façon un employé à temps partiel peut réaliser tous les travaux ou être limité aux travaux manuels. Cette situation crée un grand nombre de combinaisons possibles de main d'oeuvre dans les exploitations.

2.3.2.2 Le matériel

Le matériel d'une exploitation viticole peut être divisé en plusieurs catégories :

- le matériel de traction,
- le matériel de pulvérisation,
- le matériel de travail du sol,
- le matériel de broyage (sarments, herbe),
- le matériel tracté autre (épandeur d'engrais, écimeuse,...).

On a cherché à caractériser les différentes compositions en matériel qui existaient pour ces catégories. Il s'avère que les compositions possibles sont très nombreuses et que la quantité d'un matériel donné dépasse souvent la quantité de main d'oeuvre qui peut l'employer. Pour le matériel de traction par exemple, bien que 37% des exploitations n'ait qu'un tractoriste (conducteur), on trouve 81% des exploitations qui ont 2 tracteurs ou plus avec des caractéristiques de puissance, de largeurs et donc de fonctions variées. Il en est de même pour les outils de travail du sol : 91% des viticulteurs ont au moins deux outils.

On a pu constater que les matériels les moins présents en propre dans les exploitations sont les matériels de broyage et les matériels tractés utilisés soit pour des opérations ponctuelles dans le temps (épandeur d'engrais), soit pour permettre la mécanisation d'opérations pouvant être réalisées manuellement (andaineur de sarments, tailleuse, épampreuse,...). Pour autant, les CUMA sont peu développées dans la zone.

En conséquence, les matériels de traction, de pulvérisation et de travail du sol ne sont généralement pas limitants dans les exploitations. Leur diversité est liée aux diversités de fonctions pour lesquelles ils sont employés mais répond également à la variabilité intra-exploitation importante des caractéristiques des parcelles. Les contraintes imposées par le matériel se situent donc sur la nécessaire multiplication de leur nombre pour répondre à différentes contraintes parcellaires et donc sur l'organisation du travail qui doit en découler pour éviter les aller-retour entre les parcelles et le centre d'exploitation.

De plus, malgré la multiplication du matériel, toutes les parcelles ne sont pas mécanisables. D'ailleurs, les parcellaires morcelés et présentant des parcelles de surface moyenne faible, n'ont pas poussé les viticulteurs à investir dans du matériel dans le but de mécaniser les opérations manuelles. On observe donc encore dans la zone d'étude une grande part de travaux réalisés manuellement.

2.3.3 Des modalités de conduites techniques hétérogènes

Pour présenter les résultats obtenus sur l'analyse des conduites techniques, on présente deux cas illustratifs de la formalisation réalisée :

- un exemple de l'analyse réalisée pour chacun des travaux du cycle cultural;
- un exemple de l'analyse de l'organisation du travail.

On indique ainsi comment la connaissance sur les plans d'action a été constituée et catégorisée pour la modélisation.

2.3.3.1 Sur les différents travaux du cycle cultural

Exemple d'une analyse de conduite technique d'une opération : le travail du sol d'automne (extrait de l'annexe A)

Quarante viticulteurs sur cinquante-quatre effectuent ou peuvent effectuer un travail du sol à l'automne. Parmi eux, 34 le réalisent systématiquement et 6 de manière facultative pour des cas particuliers (herbe, ornières,...).

Parmi ceux qui travaillent le sol à l'automne :

- 4 réalisent *2 à 3 passages* : un premier pour décompacter à la sous-soleuse puis un second (voire un troisième) pour aplanir et/ou enfouir l'engrais, parmi eux, 3 fertilisent à l'automne ;
- 18 réalisent *un seul travail du sol au cadre avec un déclenchement immédiatement après vendanges* ou quelques jours après la fin des vendanges, parmi eux 6 peuvent fertiliser à l'automne ;
- 2 réalisent *un seul travail du sol avec un outil à dent après application de cuivre* (ils ne fertilisent pas à l'automne) ;
- 4 réalisent *un seul travail du sol au cadre après fertilisation* ;
- 6 réalisent *un seul travail du sol au cadre en période automnale mais pas directement après vendanges* (cas de travail de cave par exemple,...), parmi eux, 1 seul fertilise
- 6 réalisent *de manière facultative un travail du sol au cadre* sur des parcelles en cas de présence d'herbe, d'ornières. Les parcelles concernées peuvent être uniquement les plantiers ou les parcelles AOC ou toutes les parcelles de l'exploitation mais il ne travailleront jamais l'ensemble de l'exploitation à cette période. Parmi eux, 3 réalisent la fertilisation à l'automne.

La *règle de fin de la période de travail du sol varie* et ne semble dépendre ni de la règle de déclenchement, ni de la réalisation de la fertilisation. Les différentes règles de fin sont : arrêt dès que la taille commence sur l'exploitation, arrêt pour une parcelle quand la taille ou la prétaillage débute sur la parcelle, arrêt fin novembre, arrêt fin décembre, pas de règle de fin (le travail du sol se poursuit tant qu'il n'est pas terminé).

De manière générale, *les travaux du sol concernent tous les inter-rangs entretenus par travail du sol ou combinaison dans le temps de travail du sol et de désherbage chimique*. 5 viticulteurs travaillent 1 inter-rang sur 2 pour garder un inter-rang portant pour la taille (et notamment le prétaillage). Quand ils fertilisent (2) le travail du sol concerne alors les inter-rangs fertilisés. 1 viticulteur ne travaille qu'1 inter-rang sur 2 pour laisser un enherbement hivernal se développer sur les autres inter-rangs.

Seuls 2 viticulteurs *n'effectuent pas ce travail du sol sur l'ensemble de l'exploitation* : 1 ne l'effectue que dans les parcelles vendangées à la machine et 1 uniquement dans les plantiers (jeunes vignes) et les terres rouges.

Les *parcelles prioritaires pour le travail du sol varient en fonction des viticulteurs* mais ne semblent dépendre ni des travaux réalisés, ni des règles de décisions. Parmi les 34 qui réalisent systématiquement un travail du sol, 29 ont fourni une règle de priorités : pas de priorité (11), priorité aux terres séchantes (10), priorité aux

TABLE 2.1 – Règles et variables pour l'action avec des modalités hétérogènes en fonction des conduites techniques (1)

Travaux	Type de règles / variables pour l'action	Description	Nombre de modalités	Effet sur les caractéristiques des actions	Effet sur la répartition spatio-temporelle des actions	Variabilité paramétrable dans le modèle pour l'action
Travail du sol automnal	déclenchement	Détermine quand le travail du sol commence sur l'exploitation	3	-	+	oui
	fin	Détermine quand le travail du sol se termine sur l'exploitation	3	-	+	oui
Fertilisation	nombre d'itération	Détermine le nombre de travaux du sol réalisés à cette saison	2	-	+	non
	fréquence	Détermine la fréquence de la fertilisation sur l'exploitation (e.g. 1 an sur 2, moitié de l'exploitation chaque année, etc)	4	-	+	non
	déclenchement	Détermine quand la fertilisation est réalisée : (i) automne, printemps ou les deux ; (ii) quelles sont les règles de déclenchement	(i)3 +(ii)6	-	+	oui
	déclenchement	Détermine quand la taille commence sur l'exploitation	4	-	+	oui
Taille	lots de parcelles	Détermine les lots de parcelles qui sont pré-taillés et donc la vitesse de la taille	7	-	+	oui
	déclenchement	Détermine quand le broyage des sarments est déclenché (e.g. quand 2ha sont taillés)	5	-	+	oui
Travail du sol de reprise (fin d'hiver)	déclenchement	Détermine quand le travail du sol commence sur l'exploitation	6	-	+	oui
	modalité	Détermine l'outil avec lequel est réalisé le travail du sol	2	+	-	non
Désherbage chimique (fin d'hiver)	déclenchement	Détermine quand le désherbage chimique commence sur l'exploitation	5	-	+	oui
	modalité	Détermine les types d'herbicides utilisés pour le désherbage chimique (pré-levée, post-levée)	3	+	-	non
Plantation	déclenchement	Détermine quand la plantation débute sur l'exploitation	4	-	+	oui
	fin	Détermine la butée temporelle pour la réalisation de la plantation	3	-	+	non
Travail du sol printanier	déclenchement	Détermine quand un travail du sol de printemps est lancé sur l'exploitation	3	-	+	oui
	lots de parcelles	Détermine la surface sur laquelle porte la condition de déclenchement du travail du sol (e.g. 50% des parcelles présentent un couvert herbacé important)	3	-	+	oui
Désherbage chimique (printemps)	déclenchement + lots de parcelles	Détermine quand le désherbage chimique commence sur l'exploitation et quelles parcelles et surfaces dans les parcelles (e.g. Rang) sont désherbées	2	-	+	oui
	modalités + lots de parcelles	Détermine la méthode d'épamprage (mécanique, chimique) et les parcelles épamprées (selon les cépages)	6	-	+	oui

+ : effet existant ; - : effet absent

parcelles compactées (3), priorité aux terres séchantes et aux parcelles compactées (2), priorité aux parcelles peu portantes (2), priorité aux parcelles avec le plus d'herbe (1). Il est à noter que parmi les 11 qui n'ont pas de règle de priorité, 7 ont moins de 12ha en vignes, 2 peuvent travailler à 2 tracteurs en parallèle et 1 a une grande majorité de parcelles en terres séchantes. Pour ce dernier, une règle de priorité sur les parcelles séchantes (règle la plus courante) n'est donc pas très pertinente et pour les autres, on peut éventuellement supposer qu'ils ont le temps ou les moyens de faire ce travail du sol tous les ans.

Discussion du cas illustratif Cette description de la conduite technique du travail du sol de l'automne, qui utilise comme grille de lecture des pratiques le modèle d'action (Aubry, 1995), nous permet de comprendre comment est gérée cette opération de travail du sol en fonction des exploitations.

On constate tout d'abord, qu'elle n'a pas lieu dans toutes les exploitations. Parmi les viticulteurs qui la réalisent le nombre d'interventions peut varier de 1 à 3 : il peut y avoir répétition de l'opération. Ensuite, certains viticulteurs la réalisent sur l'ensemble des parcelles alors que d'autres sélectionnent les parcelles qui en seront redevables. Il peut même y avoir un niveau de détermination spatiale intra-parcellaire du lieu de réalisation de l'opération.

On observe que l'opération n'est pas commencée au même moment à l'échelle de l'exploitation : il peut y avoir une liaison avec la fin de réalisation de l'opération de fertilisation ou celles de vendanges. Et on observe également qu'elle peut se terminer à des moments différents. D'ailleurs, on comprend que l'opération peut se terminer à l'échelle de l'exploitation alors qu'elle n'a pas été réalisée sur toutes les parcelles.

Finalement, les viticulteurs peuvent exprimer des règles de priorités entre les parcelles. On constate que ces règles ne sont pas exprimées dans certains cas et notamment des cas de faibles contraintes sur les ressources. La butée temporelle pour le travail du sol a dans ce cas moins de probabilité d'être atteinte avant que toutes les parcelles n'aient été travaillées.

Dans le cas du travail du sol d'automne, la formalisation du discours des viticulteurs nous a permis de faire l'inventaire de l'ensemble des éléments qui concourraient à l'action : les règles de déclenchement et de fin des travaux, des règles d'arbitrage entre parcelles, etc. On a également pu constater la variabilité des choix de conduite entre exploitations. Ils nous a donc fallu définir, dans le cadre d'une modélisation de cette opération, quelle variabilité il nous semblait importante que l'on puisse exprimer et donc identifier quelle variabilité pouvait influencer sur les impacts hydrologiques soit en modifiant les modalités des opérations, soit en modifiant leur répartition spatio-temporelle. Pour ce cas du travail du sol, deux variabilités ont été retenues : la règle de déclenchement de l'opération à l'échelle de l'exploitation ; la règle de fin de l'opération à l'échelle de l'exploitation. Ces choix ont ainsi été effectués selon le degré d'impact a priori de cette variabilité sur le résultat d'une modélisation et sur la possibilité de prendre en compte la variabilité dans le modèle (par exemple, il nous a semblé très compliqué de définir quelles pouvaient être les parcelles compactées pour faire jouer différentes règles de priorités).

La variabilité retenue pour la modélisation L'ensemble de la formalisation des connaissances est regroupé dans l'annexe A. On présente ici (tableaux 2.1 et 2.2) uniquement les 36 variables et règles pour l'action qui ont été identifiées comme hétérogènes d'une exploitation à l'autre et dont la variabilité nous a semblé importante à prendre en compte pour la modélisation soit parce qu'elles modifiaient la répartition spatio-temporelle des actions d'entretien

TABLE 2.2 – Règles et variables pour l'action avec des modalités hétérogènes en fonction des conduites techniques (2)

Travaux	Type de règles / variables pour l'action	Description	Nombre de modalités	Effet sur les caractéristiques des actions	Effet sur la répartition spatio-temporelle des actions	Variabilité paramétrable dans le modèle pour l'action
Traitements anti-oidium	déclenchement (premier traitement)	Détermine quand le premier traitement anti-oidium est lancé sur l'exploitation (selon dates ou stades phénologiques)	6	-	+	oui
	déclenchement traitements suivants	Détermine la cadence entre les traitements préventifs	5	-	+	oui
		Détermine comment sont déclenchés les traitements curatifs	2	-	+	non
	lots de parcelles modalités fin (dernier traitement)	Détermine si en cas de prévision de pluie les traitements sont avancés	2	-	+	oui
		Détermine les lots de parcelles recevables des traitements préventifs (selon les cépages)	5	-	+	oui
		Détermine les traitements préventifs reçus par les plantiers	3	-	+	non
Détermine les modalités d'utilisation du soufre poudre		4	+	+	non	
Traitements anti-mildiou	Détermine quand le dernier traitement anti-oidium est réalisé au niveau de l'exploitation	4	-	+	oui	
	déclenchement	Détermine comment sont déclenchés les traitements anti-mildiou	6	-	+	oui
	modalités	Détermine les modalités d'utilisation du cuivre	2	+	-	non
	lots de parcelles	Détermine les traitements reçus par les plantiers	3	-	+	non
		Détermine quand le dernier traitement anti-mildiou est réalisé au niveau de l'exploitation en cas d'année à faible pression de la maladie	8	-	+	oui
	fin (dernier traitement)	Détermine quand le dernier traitement anti-mildiou est réalisé au niveau de l'exploitation en cas d'année à pression de la maladie	5	-	+	oui
Traitements contre les vers de grappe	déclenchement + lots de parcelles	Détermine comment sont déclenchés les traitements contre les vers de grappe et sur quelles parcelles	10	-	+	non
Traitements contre la cicadelle	déclenchement + lots de parcelles	Détermine comment sont déclenchés les traitements contre la cicadelle de la flavescence dorée et sur quelles parcelles	7	-	+	non
Ensemble des traitements	modalités	Détermine les modalités de couplages entre les traitements	6	-	+	oui
		Détermine le type de pulvérisateur utilisé (pneumatique, à dos, etc.)	4	+	+	oui
	Détermine les modalités de pulvérisation (e.g. Passage 1 inter-rangs sur 2 ou sur 3, etc.)	4	+	+	oui	

+ : effet existant ; - : effet absent

du sol et d'application de pesticides, soit parce qu'elles en modifiaient les caractéristiques. En conséquence, ce sont ces variables et règles qui ont été en partie paramétrées dans le modèle décisionnel développé pour représenter diverses conduites techniques d'exploitation (certaines ne le sont pas encore pour des questions de manque de temps).

Les règles et variables identifiées concernent très majoritairement les actions d'entretien du sol ou d'application de pesticides (27) mais une partie concerne d'autres travaux. En effet, parmi les règles et variables pour l'action concernant les actions d'entretien du sol ou d'application de pesticides, près de la moitié porte sur des règles de déclenchement (12), or ces règles de déclenchement peuvent prendre la forme de règles d'enchaînement entre deux travaux et par conséquent, nécessiter la représentation d'autres travaux, comme on a pu le voir pour le travail du sol automnal et la fertilisation.

On peut remarquer que la moitié des règles et variables identifiées permettent de définir la conduite technique de la protection phytosanitaire (tableau 2.2). Ceci est lié :

- aux répétitions des traitements au cours de la phase végétative de la vigne : les règles et variables pour l'action doivent définir comment est géré chacun des traitements réalisés ;
- aux possibilités nombreuses de modalités de réalisation (pulvérisateur, fréquence de passage dans les inter-rangs) qui influent sur la concentration en matières actives au sol et qui doivent donc être prises en compte ;
- à la variabilité de constitution des lots de parcelles pour la protection phytosanitaire entre les exploitations (dans le cas de l'entretien du sol, ces lots de parcelles sont fortement dépendants des modalités d'entretien du sol mises en oeuvre dans l'exploitation, voir 2.3.1.2).

Parmi les règles et variables identifiées comme hétérogènes, on constate qu'il n'y a pas de règles de faisabilité. De manière générale, lors des enquêtes, les viticulteurs ont peu abordé les règles de faisabilité des travaux et les questions posées nous ont amené des réponses homogènes avec une variabilité difficile à identifier. Par exemple, pour le travail du sol automnal, tous les viticulteurs ont une règle unique qui est : « le sol doit être travaillable ». On verra au chapitre 8 que si la règle est commune, son interprétation par les viticulteurs peut différer. Concernant les règles de faisabilité, ce sont donc généralement des règles communes qui ont été adoptées selon nos connaissances et nos interprétations.

La validation de l'hypothèse sur la représentation du cycle cultural La formalisation des conduites techniques des différents travaux réalisés au cours du cycle a montré qu'il existait beaucoup de liaisons entre les travaux qui s'exprimaient sous la forme de règles de déclenchement du type « finir de broyer les sarments avant de travailler le sol » ou comme pour le cas illustratif « finir de fertiliser avant de travailler le sol ». Ces liaisons définissent alors des séquences de travaux qu'il nous faut représenter si une opération d'entretien du sol ou de protection phytosanitaire s'en trouve dépendante. Comme les opérations d'entretien du sol sont fortement impliquées dans de telles séquences, cela valide la nécessité de travailler sur l'ensemble du cycle cultural.

2.3.3.2 Sur l'organisation du travail

Comme Jourdan (1994) l'a indiqué, le vigneron mobilise des savoirs acquis, expérimentés, pour synchroniser ses actions. Il planifie ses travaux les uns par rapport aux autres, afin de stabiliser une organisation d'un ensemble de travaux lui permettant d'atteindre les objectifs cultureux qu'il se fixe. Le vigneron hiérarchise différents travaux pour un intervalle de temps donné. Il établit des priorités pour le choix de ceux à réaliser. Les travaux dépendent ainsi les uns des autres. Les priorités sont fonction des butées temporelles qu'attribue le vigneron à chacun de ses travaux. Par exemple, pour la période « hiver - début de printemps », la réalisation des travaux de printemps est dépendante de la fin de la taille qui doit être terminée avant le débourrement.

Ainsi chaque viticulteur applique une organisation du travail en fonction des périodes du cycle cultural. On illustre ci-dessous un exemple d'analyse de l'organisation du travail pour la période automnale.

Exemple de l'organisation du travail à la période d'automne (extrait de l'annexe A)

Concernant les priorités entre travaux, elles semblent identiques chez tous les viticulteurs : la fertilisation est prioritaire sur l'installation des piquets et des fils (pour le palissage, dans les parcelles récemment plantées) qui est prioritaire sur le travail du sol. Cela semble logique compte-tenu du fait que la fertilisation et l'installation des piquets sont des chantiers qui requièrent souvent soit du matériel en prêt ou en copropriété, soit de la main d'œuvre extérieure, les viticulteurs peuvent donc difficilement reporter ces travaux quand les intrants, le matériel et la main d'œuvre sont disponibles. Concernant la répartition de la main d'œuvre et du matériel, 2 viticulteurs font le travail du sol et la fertilisation en parallèle (à la parcelle, la fertilisation est réalisée d'abord dans la mesure du possible), tous les autres viticulteurs, même s'ils ont le matériel et la main d'œuvre pour réaliser des travaux en parallèle ne font qu'une opération à la fois en y attribuant toute la main d'œuvre disponible.

Discussion du cas illustratif On peut voir que les viticulteurs mettent en oeuvre des règles d'arbitrage entre les différents travaux à réaliser et que ces règles s'appuient sur les contraintes de ressources. Par ailleurs, on constate que l'allocation des ressources peut varier d'une exploitation à l'autre en regard des priorités, des objectifs de travail et des ressources. Par exemple, les viticulteurs qui choisissent de positionner leurs ressources sur l'opération la plus prioritaire et de faire les opérations les une après les autres s'assurent la réalisation de l'opération la plus importante. Ceux qui mettent en oeuvre plusieurs opérations simultanément identifient les mêmes priorités mais adoptent une organisation différente qui semble tout autant répondre à leur règle d'arbitrage en terme de résultats car leurs contraintes sur les ressources et le parcellaire sont différentes.

2.4 Conclusion

2.4.1 Un nombre limité d'opérations qui modifie l'infiltrabilité et la concentration en pesticides mais un grand nombre d'actions à modéliser

Les opérations qui ont un effet sur les variables de pression sont peu nombreuses et sont majoritairement des actions d'entretien du sol ou de protection phytosanitaire². On a pu constater que les actions liées à l'application de pesticides, globalement, étaient réalisées de manière assez indépendante : elles dépendent peu de règles d'enchaînement et sont fortement prioritaires en ce qui concerne l'allocation des ressources. Leurs caractéristiques et leur répartition spatio-temporelle pourraient être décrites avec un nombre limité de processus agro-techniques comme dans le cas du modèle SACADEAU (Salmon-Monvolia et al., 2011). A l'opposé, les actions de travail du sol sont soumises à des règles d'enchaînement car devant être réalisées après d'autres opérations (e.g. pour enfouir l'engrais ou les sarments) et elles ont des priorités faibles de réalisation qui les font passer dans les dernières opérations pour l'allocation des ressources. En effet, elles sont toujours considérées comme reportables. De plus, les actions de travail du sol, en fonction des stratégies, sont répétées plusieurs fois au cours d'un cycle cultural. Cette situation conduit à devoir prendre en compte la représentation d'un grand nombre d'opérations du cycle cultural.

La nécessité de représenter la variabilité spatio-temporelle de l'infiltrabilité de la surface du sol pour évaluer les impacts hydrologiques des pratiques dans l'agro-écosystème étudié accroît ainsi la nécessité d'intégration des processus agro-techniques. Par conséquent l'organisation spatiale intra-parcellaire des cultures en rangées qui laisse au sol un rôle à jouer significatif dans les processus hydrologiques impose donc une représentation élargie de ces processus.

2.4.2 Des conduites techniques variées sur des parcelles hétérogènes avec de fortes contraintes sur les ressources

Le second point mis en avant par l'étude des processus techniques est la grande variabilité de mise en oeuvre des processus de gestion technique. La conceptualisation de l'action proposée par Aubry (1995) s'adapte bien au système de culture étudié et permet de définir un cadre commun pour les processus sous dépendance d'un ensemble de variables et de règles pour l'action. Cependant, on a pu observer que les modalités des variables et règles nécessaires à prendre en compte dans le cadre de notre problématique variaient fortement d'une exploitation à l'autre et particulièrement en ce qui concerne les règles de déclenchement des opérations. En cherchant à mettre en cohérence leurs pratiques avec leurs contraintes et leurs objectifs, les viticulteurs ne définissent pas tous les mêmes butées temporelles pour les différents travaux. En effet, ils n'ont pas tous les mêmes contraintes sur les ressources, leurs parcelles sont souvent hétérogènes sur leur caractéristiques et leurs modalités d'entretien du sol. Par conséquent, ils doivent adapter leur organisation des travaux et donc leurs pratiques pour parvenir à leurs objectifs.

De plus, les systèmes de culture étudiés, bien qu'en monoculture, offrent une flexibilité importante pour les choix tactiques. En effet, du fait de la partition spatiale des vignes, il existe une certaine déconnection entre les opérations à mettre en oeuvre sur les différents « composantes-lieux » de la parcelle : la plante, le rang, l'inter-rang. La multiplicité des lieux des actions dans une parcelle offre une plus grande possibilité d'enchaînement des actions, ce

2. Une opération d'application d'herbicide pour détruire des bourgeons surnuméraires des vignes (l'épamprage) fait partie des opérations qui modifie la concentration en matières actives au sol.

qui peut expliquer la variabilité particulière des règles de déclenchement des opérations.

En conclusion, la représentation des caractéristiques des actions à portée hydrologique et leur répartition spatio-temporelle nécessite la prise en compte de la majorité des opérations du cycle cultural dans un modèle qui offre une structure explicite pour tester les variabilités des processus de gestion technique en fonction de différentes contraintes sur les ressources et le parcellaire.

Remerciements

Je tiens à remercier les 54 viticulteurs qui ont accepté de répondre aux enquêtes. Merci beaucoup à Isabelle Caujolle qui a réalisé avec grand soin une partie des enquêtes. Merci à Anne Biarnès et Jean-Marc Barbier pour la transmission de leur expérience et de leurs connaissances, leur appui et leur participation active. Merci à Isabelle Michel pour son enseignement du modèle d'action. Merci à Michael Rabotin et Jean-Stéphane Bailly pour leur aide conséquente à la réalisation des graphiques constitutifs de la figure 2.4.

Bibliographie

- Aubry, C. (1995). *Gestion de la sole d'une culture dans l'exploitation agricole. Cas du blé d'hiver en grande culture dans la région picarde*. PhD thesis, INA P-G, Paris.
- Aubry, C. (2000). Une modélisation de la gestion de production dans l'exploitation agricole. *Revue française de gestion*, 129 :32–46.
- Aubry, C. (2007). La gestion technique des exploitations agricoles. composante de la théorie agronomique. mémoire HDR.
- Aubry, C. and Michel-Dounias, I. (2006). L'agriculteur acteur et décideur. systèmes de culture et décisions techniques dans l'exploitation agricole. In *L'agronomie aujourd'hui*, collection Synthèses, pages 57–73. T. Doré, M. le Bail, P. Martin, B. Ney, J. Roger- Estrade (Coord.), quae edition.
- Bellon, S., Girard, N., and Guérin, G. (1999). Caractériser les saisons-pratiques pour comprendre l'organisation d'une campagne de pâturages. *Fourrages*, 158 :115–132.
- Bellon, S., Lescourret, F., and Calmet, J. (2001). Characterisation of apple orchard management systems in a french mediterranean vulnerable zone. *Agronomie*, 21(3) :203–213.
- Biarnès, A., Bailly, J., and Boissieux, Y. (2009). Identifying indicators of the spatial variation of agricultural practices by a tree partitioning method : The case of weed control practices in a vine growing catchment. *Agricultural Systems*, 99(2-3) :105–116.
- Girard, N., Bellon, S., Hubert, B., Lardon, S., Moulin, C., and Osty, P. (2001). Categorising combinations of farmers' land use practices : an approach based on examples of sheep farms in the south of france. *Agronomie*, 21(5) :435–459.
- Jourdan, B. (1994). Activité du vigneron et conception d'un système d'aide à la décision en agriculture. In *Ergonomie des situations informatisées*. J. Theureau et F. Jeffroy, octares edition.
- Luneau, C. (2004). Analyse des stratégies de lutte contre le mildiou pour l'optimisation de l'utilisation du cuivre en viticulture biologique en réponse à la nouvelle réglementation européenne.
- Papy, F. (1994). Working knowledge concerning technical systems and decision support. In *Rural and farming systems Analysis. European perspectives*, pages 222–235. Dent, J.B., Mc Gregor, M.J.(eds), CAB international edition.
- Salmon-Monviola, J., Gascuel-Odoux, C., Garcia, F., Tortrat, F., Cordier, M., Masson, V., and Trépos, R. (2011). Simulating the effect of technical and environmental constraints on

the spatio-temporal distribution of herbicide applications and stream losses. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(3-4) :382–394.

Sebillotte, M. and Soler, L. (1990). Les processus de décision des agriculteurs. acquis et questions vives. In *Modélisation systémique et systèmes agraires*, pages 103– 117. Brossier J., Vissac B. et Lemoigne J.L. (Eds), Paris, INRA edition.