

Chapitre 8

Les indicateurs bio-physiques pour la décision

Sommaire

8.1	Introduction	217
8.2	Définition de seuils de teneur en eau pour la traficabilité et la travailla- bilité des sols	218
8.2.1	Introduction	218
8.2.2	Matériel et méthodes	219
8.2.2.1	Les sols étudiés	219
8.2.2.2	Le réseau de parcelles et les viticulteurs experts	220
8.2.2.3	Les évènements pluvieux	221
8.2.2.4	Les mesures d'humidité et la détermination des seuils de travaillabilité	221
8.2.3	Résultats	222
8.2.3.1	Analyse de l'effet de l'expert	222
8.2.3.2	Effet des types de sol et des évènements pluvieux	222
8.2.4	Discussion	223
8.2.5	Définition d'autres seuils de travaillabilité et de traficabilité	224
8.3	Indicateurs et seuils pour le déclenchement du travail du sol et de la protection phytosanitaire	224
8.4	Conclusion	225

Chapitre 8

Les indicateurs bio-physiques pour la décision

8.1 Introduction

Dans les chapitres précédents, nous avons décrit la représentation que l'on a effectué des processus biophysiques qui font évoluer l'infiltrabilité du sol suite aux opérations de travail du sol ou de désherbage chimique. On aborde maintenant la question des processus biophysiques qui influencent la répartition spatio-temporelle des actions des agriculteurs car ils portent sur des indicateurs pour l'action.

Dans le cadre de la modélisation des conduites techniques d'exploitation, on s'est attaché à représenter les éléments de la conduite qui conditionnaient la répartition spatio-temporelle de certaines actions culturales clefs dans le cadre d'une problématique de pollution de l'eau par les pesticides. On a alors pu lister un certain nombre d'indicateurs utilisés par les viticulteurs dans le cadre de leur gestion technique d'exploitation. Le premier d'entre eux est le climat qui est simulé dans le modèle DHIVINE via des données climatiques mesurées. On a également inclus dans ce qu'on définit comme « l'environnement » des systèmes de production, un bulletin d'information sur le développement des maladies de la vigne qui constitue un indicateur de l'état sanitaire des vignes. Mais il existe d'autres indicateurs dépendant de processus biophysiques qui jouent un rôle majeur dans le cadre des actions culturales que l'on cherche à représenter :

- la couverture herbacée du sol qui déclenche le travail du sol en période printanière ;
- le stade phénologique des cépages qui constitue un repère temporel du développement de la plante et qui est particulièrement utilisé pour la gestion de la protection phytosanitaire ;
- la travaillabilité et la traficabilité du sol qui définissent les jours où le sol est capable de supporter un travail ou le passage d'engins agricoles.

Dans la suite, nous présentons le traitement que nous avons effectué pour construire ces indicateurs. La première section aborde le cas des indicateurs de travaillabilité et traficabilité du sol, qui ont fait l'objet d'un travail approfondi, basé sur des mesures de terrain et des enquêtes auprès des agriculteurs. La deuxième section présente de manière succincte le cas des deux autres indicateurs, qui ont déjà fait l'objet (i) l'un d'une modélisation spécifique dans le cadre de la représentation de l'évolution de l'infiltrabilité du sol après réalisation d'un travail du sol ou d'un désherbage chimique ; (ii) l'autre d'une représentation simplifiée par exploitation d'une base de données d'observations.

8.2 Définition de seuils de teneur en eau pour la traficabilité et la travaillabilité des sols

8.2.1 Introduction

La définition de la traficabilité varie peu entre les auteurs. Elle est définie comme la capacité du sol à supporter et résister au passage d'engins agricoles sans engendrer de dégâts sur la structure du sol (Paul et De Vries, 1979 ; Rounsevell, 1993 ; Droogers et al., 1996 ; Earl, 1996).

La travaillabilité possède des définitions plus variables. Simalenga et Have (1992), Rounsevell (1993) et Earl (1996) la définissent comme la possibilité d'effectuer des opérations de travail du sol en minimisant les dégâts sur le sol. Droogers et al. (1996), la définissent comme la possibilité d'effectuer un travail du sol avec des effets positifs sur la structure du sol. Enfin, Terzaghi et al (1988), en donnent une définition assez large, en considérant uniquement la possibilité de travailler le sol. Pour notre cas d'étude en milieu viticole, la définition retenue est la possibilité du sol à être labouré sur une profondeur maximum de 20 cm, avec un outil de labour viticole à dent (outil le plus fréquemment utilisé sur la zone d'étude), sans engendrer de dégradation permanente de la structure du sol.

La teneur en eau du sol, en définissant la résistance mécanique de celui-ci, est le principal facteur déterminant de la traficabilité et de la travaillabilité (e.g. Paul et De Vries, 1979 ; Dexter et Bird, 2001 ; Hoogmoed et al, 2003 ; Arvidsson et Bölenius, 2006). Concernant la travaillabilité, des facteurs supplémentaires : intensité de précipitations, vitesse de dessèchement du sol, sont à prendre en compte car ils peuvent provoquer une prise en masse du sol (Young, 1992). En effet, ce phénomène, qui se caractérise par l'apparition d'une masse de sol dur et sans structure après dessèchement (en raison de l'effondrement des mottes à l'occasion d'un mouillage rapide, par précipitation ou irrigation) engendre des résistances du sol au travail (Gusli et al., 1994). La teneur en eau d'un sol va majoritairement déterminer sa disponibilité pour les opérations culturales. Pour déterminer la traficabilité d'un sol, on va donc chercher à savoir si le sol n'est pas trop humide. Pour déterminer la travaillabilité d'un sol on va chercher à savoir si sa teneur en eau n'est pas trop élevée ou trop faible pour permettre la réalisation d'un travail du sol sans engendrer de dégâts.

Différents modèles ont été développés pour définir les seuils d'humidité du sol à partir desquels le sol est travaillable et traficable. Deux grandes approches sont mises en oeuvre : (i) une approche de modélisation de la résistance mécanique du sol en fonction de la teneur en du sol et de ses propriétés mécaniques qui a conduit au développement de modèles de types mécanistes et empiriques et (ii) une approche par expertise qui consiste à mettre en relation directe traficabilité ou travaillabilité avec la teneur en eau du sol. Le premier type d'approche (e.g. Bekker, 1961 ; Knight et Rula, 1961) utilise en général un grand nombre de variables caractéristiques des sols qui nécessitent des mesures lourdes avec un outillage spécialisé (pénétromètres,...). Elle est donc plus difficile à mettre en œuvre que le deuxième type d'approche. De surcroît, dans les deux cas, s'il est possible de définir à partir de ces approches des seuils d'état du sol à partir desquels le sol est travaillable et traficable, ils ne sont directement utilisables dans un modèle de décision de conduite de culture qu'après calibration et/ou validation par rapport aux seuils utilisés par les agriculteurs. Par conséquent, l'approche par expertise nous a semblé plus pertinente car plus simple de mise en œuvre et donc plus aisément calibrable vis à vis des critères de décision des agriculteurs.

La variabilité des approches par expertise est essentiellement liée au mode de modélisation de l'évolution de la teneur en eau du sol. On trouve ainsi des modèles de type mécaniste

(SOIL, Jansson, 1991 & 1996), des modèles de réservoir comme celui mis en oeuvre dans le modèle OTELO (Attonaty et al., 1993), des modèles empiriques basés uniquement sur des données météorologiques et des propriétés de sols (Thomasson, 1982). Par ailleurs, pour la détermination des seuils d'intervention, deux méthodes de détermination ont été utilisées par les travaux existants :

- La première est une détermination, basée sur la littérature, des seuils en fonction du niveau de résistance mécanique du sol et donc de la teneur en eau que l'on estime correspondre aux seuils (par exemple Thomasson (1982) a défini ses seuils par rapport à la capacité au champ). Cette méthode nécessite d'avoir des références de travaux réalisés dans des contextes agropédoclimatiques proches de ceux étudiés ou de disposer de calendriers observés de jours travaillés pour calibrer les seuils.
- La seconde est une détermination experte, basée sur la connaissance des agriculteurs ou des acteurs de terrain. En effet, Cerf et al. (1998) ont montré que les agriculteurs possèdent un jugement homogène pour définir le premier jour possible pour une opération culturale particulière, il est donc possible de se baser sur leur expertise pour déterminer un seuil d'intervention. Cette méthode se base sur les dires des agriculteurs afin de définir par exemple un nombre de jours à attendre après un évènement pluvieux pour la réalisation de travaux. Les dires d'expert sont accompagnés de mesures sur le terrain pour permettre de définir les seuils d'intervention. C'est par exemple la démarche qui a été mise en oeuvre par ARVALIS pour mettre en place le logiciel JDispo® (utilisé notamment pour des calculs de rentabilité économique de différents choix de pratiques).

Au final, nous nous sommes appuyés sur la seconde méthode, basée sur les dires des agriculteurs. En effet, les seuils déjà déterminés dans la littérature pour la travaillabilité du sol n'ont pas concerné les systèmes viticoles et plus généralement les cultures pérennes en rangées. Or, le matériel et les interventions réalisées en viticulture diffèrent significativement d'autres situations agricoles : les tracteurs sont adaptés à la culture en rangée, le travail du sol est peu profond,... De surcroît nous ne bénéficions pas de données suffisantes sur la zone d'étude en terme de calendriers de jours travaillés.

Dans la suite, nous présentons l'application de l'approche par expertise sur les dires d'agriculteurs pour estimer le seuil maximal de teneur en eau relatif à la travaillabilité du sol. Pour ce qui concerne les autres seuils, dont nous avons besoin, notamment ceux relatifs à la traficabilité, nous les avons estimé à partir des résultats sur la travaillabilité.

8.2.2 Matériel et méthodes

La démarche suivie a consisté à évaluer des seuils d'intervention, exprimés en humidité volumique du sol, en se basant sur les diagnostics fournis par les viticulteurs associés à des mesures d'humidités pondérales de surface effectuées à plusieurs moments après des évènements pluvieux. Un réseau de 19 parcelles réparties sur 4 types de sol a été constitué pour cette évaluation.

8.2.2.1 Les sols étudiés

La zone d'étude est le bassin versant de la Payne. Les quatre types de sol étudiés sont :

- des sols développés sur alluvions récentes ou actuelles de la Payne ou de petits cours d'eau (*Sol 1*), ce sont donc des sols proches du lit majeur de la Payne, en bordures de

- cours d'eau, en fonds de talwegs ou en bas-fonds ; ils représentent 17,5% des sols cultivés en vigne du bassin versant ; ils ont une texture de type Limon argilo-sableux ;
- des sols développés sur alluvions anciennes de la Peyne (*Sol 2*) qui représentent 14,5% des sols cultivés en vigne du bassin versant ; ils ont une texture de type Sable argilo-limoneux à Argile sableuse ;
 - des sols développés directement sur molasse (*Sol 3*) qui représentent 18,1% des sols cultivés en vigne du bassin versant ; ils ont des textures variées correspondant à différentes associations des trois fractions : sable, limon et argile ;
 - des sols sur dépôts plio-villafranchiens (*Sol 4*) qui représentent 11,8% des sols cultivés en vigne du bassin versant ; ils ont des textures de type Limon argilo-sableux ou Argilo-Limono-Sableuse.

Les sols étudiés sont donc représentatifs de 61,9% des sols du bassin versant de la Peyne.

On présente dans le tableau 8.1 les caractéristiques des sols en terme de masse volumique de la terre fine, de taux d'argile et de taux de cailloux.

TABLE 8.1 – Densité de terre fine, taux d'argile et taux de cailloux des sols étudiés

	Sol 1	Sol 2	Sol 3	Sol 4
Densité de terre fine (g/cm ³)	1.242	1.128	1.189	1.146
Taux d'argile (%)	21	24	17	31
Taux de cailloux (%)	14	19	9	20

8.2.2.2 Le réseau de parcelles et les viticulteurs experts

Les 19 parcelles étudiées ont été sélectionnées parmi les parcelles dont les pratiques d'entretien du sol étaient connues. Les vignes de moins de 3 ans ont systématiquement été écartées de l'échantillon car la plantation étant récente, le sol a subi de lourds travaux (défonçage, sous-solage) qui ont endommagé sa structure et sa texture de surface. De plus, la pratique d'entretien du sol pour les plantiers (jeunes vignes) est souvent spécifique et différente de celle des vignes adultes en production.

Les experts, au nombre de 8, étaient tous des viticulteurs exploitant des vignes sur le bassin versant. Ils ont eu à diagnostiquer la travaillabilité de parcelles dont le type de sol leur était familier, c'est à dire qu'ils avaient au moins une parcelle entretenue par travail du sol et avec le même type de sol dans leur exploitation. Ils ont effectué des expertises sur des parcelles de leur exploitation mais également sur d'autres parcelles pour nous permettre d'avoir le maximum d'expertises pour une parcelle donnée. Afin d'évaluer des variations entre experts, on les a classé en deux catégories : exigeants et tolérants par rapport à la qualité de travail du sol qu'ils souhaitent réaliser. Le classement a été réalisé par analyse des dires des viticulteurs.

Le tableau 8.2 présente la répartition du nombre de parcelles et d'experts par type de sol ainsi que les nombres d'observations effectuées classées selon le diagnostic : le sol est travaillable ou le sol n'est pas travaillable.

TABLE 8.2 – Répartition des parcelles, des experts et des observations en fonction des types de sols étudiés

	Nombre de parcelles suivies	Nombre d'experts	Nombre d'observations de sol travaillable	Nombre d'observations de sol non travaillable
Sol 1	5	3	12	9
Sol 2	3	2	5	4
Sol 3	5	2	10	11
Sol 4	4	2	6	6

8.2.2.3 Les événements pluvieux

Les observations ont été réalisées entre le 28 avril 2009 et le 5 juin 2009 et ont porté sur trois événements pluvieux. Après chaque événement pluvieux, les viticulteurs étaient contactés pour effectuer un diagnostic de travaillabilité. Des mesures d'humidité pondérale étaient alors effectuées sur des prélèvements réalisés dans les parcelles. Plusieurs mesures ont ainsi été obtenues au cours du temps afin de disposer pour une parcelle donnée et après chaque événement pluvieux d'au moins une mesure associée au diagnostic : « le sol n'est pas travaillable » et une mesure associée au diagnostic : « le sol est travaillable ». Ainsi les observations réalisées permettent d'encadrer le seuil de teneur en eau pour la travaillabilité.

Le tableau 8.3 indique les dates et la hauteur de pluie pour chacun des événements ainsi que le nombre de parcelles par événement pluvieux pour lesquelles des mesures ont été réalisées avant et après que le seuil de travaillabilité ait été atteint. Ce sont ces mesures qui ont servi à la détermination des seuils.

TABLE 8.3 – Caractéristiques et observations réalisées pour les trois événements pluvieux étudiés

		Evènement pluvieux 1	Evènement pluvieux 2	Evènement pluvieux 3
Date		28 avril 2009	15 mai 2009	3 juin 2009
Cumul de pluie (mm)		25	12	20
Nombre de parcelles avec des mesures encadrant le seuil de travaillabilité	Sol 1	5	3	1
	Sol 2	1	3	0
	Sol 3	6	5	0
	Sol 4	2	1	4

8.2.2.4 Les mesures d'humidité et la détermination des seuils de travaillabilité

Les mesures d'humidités pondérales ont été réalisées sur des prélèvements de sol effectués dans les 10 premiers centimètres du sol. Les prélèvements étaient situés sur l'inter-rang. Pour une parcelle, un prélèvement était constitué d'un mélange de prélèvements sur trois à quatre zones situées à environ 2m d'intervalle. Quand elles étaient connues, les zones de prélèvement dans les parcelles ont été choisies dans les zones utilisées par les viticulteurs pour établir leur diagnostic. Généralement ces zones indicatrices étaient les moins drainantes et donc les plus problématiques pour le travail du sol. L'humidité pondérale des échantillons prélevés a été

déterminée par pesée dans l'état humide, puis par pesée après passage à l'étuve à 105°C durant 24h. L'humidité volumique était calculée en multipliant l'humidité pondérale à la densité apparente du sol (tableau 8.1).

Pour une parcelle donnée et pour un évènement pluvieux donné, la détermination du seuil de travaillabilité a été réalisée en prenant la valeur médiane entre la valeur minimale d'humidité correspondant au diagnostic : « le sol n'est pas travaillable » et la valeur maximale d'humidité correspondant au diagnostic : « le sol est travaillable ».

8.2.3 Résultats

8.2.3.1 Analyse de l'effet de l'expert

TABLE 8.4 – Seuils de travaillabilité en fonction des classes d'expert

Classe d'expert	Seuil moyen (%)	Nombre de seuils
Tolérants	19.3	12
Exigeants	17.1	19

secs que les viticulteurs classés comme tolérants. Cependant une analyse de variance indique que cette différence n'est pas significative.

8.2.3.2 Effet des types de sol et des évènements pluvieux

Le tableau 8.5 présente les seuils moyens de travaillabilité en humidité volumique calculés en fonction des types de sol et pour les trois évènements pluvieux étudiés.

TABLE 8.5 – Seuils moyens de travaillabilité en humidité volumique (%) pour les différents types de sols et les trois évènements pluvieux suivis

	Evènement pluvieux 1	Evènement pluvieux 2	Evènement pluvieux 3
Sol 1	18.0	18.4	<i>13.3</i>
Sol 2	<i>20.5</i>	16.6	-
Sol 3	18.5	20.6	-
Sol 4	20.0	<i>17.8</i>	13.6

Les valeurs en italique indiquent qu'il n'y a eu qu'un seul seuil calculé pour ce groupe.

Le tableau 8.4 présente les résultats des seuils d'intervention obtenus, tous types de sol et tous évènements pluvieux confondus en fonction des deux classes d'experts. On constate effectivement que le seuil de travaillabilité des viticulteurs exigeants est plus bas : ils mettent en oeuvre leurs travaux du sol sur des sols apparemment plus

On peut voir que pour les deux premiers évènements pluvieux suivis, les seuils calculés diffèrent peu d'un type de sol à l'autre. Seul le seuil calculé pour le deuxième évènement dans le cas du sol 2 est plus faible du fait d'une parcelle pour laquelle le seuil de travaillabilité a été défini pour une valeur d'humidité volumique de 12.7%.

On constate par ailleurs que les mesures effectuées suite au troisième évènement pluvieux de début juin, conduisent à évaluer des

seuils de travaillabilité pour des humidités plus faibles. Les viticulteurs ont attendu que le sol soit plus sec pour le déclarer travaillable.

8.2.4 Discussion

Les résultats obtenus indiquent que les seuils calculés en humidité volumique varient peu d'un type de sol à l'autre. Par conséquent, les sols étudiés représentant plus de 60% des sols cultivés de la zone étudiée, on considère que les seuils sont valables quelque soit le type de sol. Ceci n'est pas forcément un résultat généralisable à la détermination de seuils d'intervention du fait que les types de sol de la zone présentent une gamme texturale modérée.

Une certaine variabilité entre experts a été observée puisque pour les viticulteurs ayant exprimé une certaine tolérance pour la mise en œuvre du travail du sol, le seuil d'humidité tolérée observé était plus élevé que pour les viticulteurs moins tolérants. Mais la faible différence conjuguée à un échantillon réduit font que la différence observée n'est pas statistiquement significative.

A côté de cette variabilité de seuils entre experts, les observations suggèrent aussi la possibilité d'une variabilité d'appréciation d'un expert suivant l'historique pluvieux. En effet, on a pu constater que le seuil d'intervention pour le troisième événement était plus bas, comme si les viticulteurs étaient plus exigeants sur le niveau d'humidité du sol à cette période. Or, il s'avère, comme on peut le voir sur la figure 8.1, que le printemps 2009 et particulièrement le mois d'avril a été très pluvieux. En conséquence, comme ces pluies les ont empêchés de travailler le sol, les viticulteurs étaient en retard sur le travail du sol au moment des expertises réalisées suite aux deux premiers événements pluvieux. En connaissance de cette situation, il nous a semblé que les seuils définis à ces moments là pouvaient illustrer une plus grande tolérance des viticulteurs dans une situation d'urgence. Le dernier événement pluvieux est survenu à un moment où le travail du sol n'était plus aussi urgent à faire car il avait été fait récemment et donc il paraît logique que le seuil de travaillabilité ait été estimé plus durement.

En conclusion, les seuils de travaillabilité semblent dépendre principalement du niveau de tolérance des viticulteurs, tolérance dépendant soit de leur conception personnelle du travail du sol, soit de l'urgence ou non à réaliser un travail du sol. On peut donc définir deux valeurs de seuils :

- une valeur d'humidité volumique pour les situations d'urgence qui correspond à la moyenne des seuils calculés pour les deux premiers événements de pluie et qui vaut 18,7% (on n'a pas intégré les valeurs en italique) ;
- une valeur pour les situations « de routine » et qui correspond au seuil calculé sur le type de sol 4 suite au troisième événement pluvieux : 13,6%.

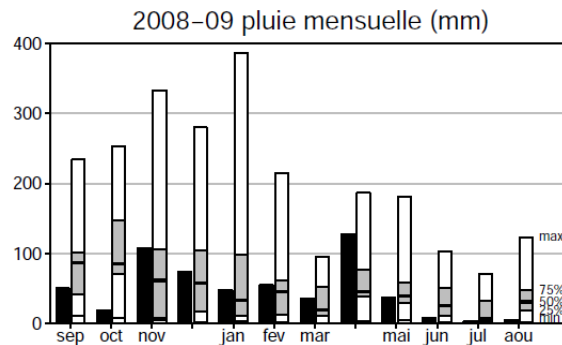


FIGURE 8.1 – Pluie mensuelle à Roujan entre le 1er septembre 2008 et le 1er septembre 2009

Les pluies de l'année sont en noires. Les bâtons blancs donnent les valeurs de référence calculées sur la chronique 1992-2010.

8.2.5 Définition d'autres seuils de travaillabilité et de traficabilité

On a évoqué dans l'introduction qu'il existait d'autres seuils d'intervention à déterminer :

- un seuil d'humidité minimal pour la travaillabilité pour éviter le travail sur sol trop sec ;
- un seuil d'humidité maximal pour la traficabilité.

Ces seuils n'ont pu être étudiés durant la thèse car la période de mesure de fin de printemps pour la travaillabilité ne correspondait pas aux périodes auxquelles les problèmes de prise en masse des sols et de portance surviennent (automne et début de printemps). On a par conséquent défini par jugement expert des valeurs à partir des seuils de travaillabilité estimés. Pour le seuil maximal d'humidité relatif à la traficabilité il a été fixé supérieur à celui de la travaillabilité, puisque les contraintes exercées sur le poids des engins sont inférieures à celles exercées par l'opération de travail du sol.

Le tableau 8.6 indique les valeurs retenues pour l'ensemble des seuils. Ceux-ci sont utilisés dans la modélisation de la manière suivante : sur la base de la teneur en eau du sol de surface calculée par le modèle hydrologique MHYDAS, le modèle DHIVINE s'appuie sur ces seuils pour définir si l'opération est réalisable ou non.

TABLE 8.6 – Seuils de travaillabilité et de traficabilité définis dans DHIVINE

	Seuil en humidité volumique (m^3/m^3)
Seuil de travaillabilité en situation d'urgence	0.19
Seuil de travaillabilité en situation « de routine »	0.14
Seuil de travaillabilité minimal (en sec)	0.05
Seuil de traficabilité en situation d'urgence	0.22
Seuil de traficabilité en situation « de routine »	0.20

8.3 Indicateurs et seuils pour le déclenchement du travail du sol et de la protection phytosanitaire

Le déclenchement du travail du sol et de la protection phytosanitaire dépendent respectivement de l'évolution de la couverture herbacée et des stades phénologiques. La question de la définition de seuils de déclenchement se pose pour ces variables de manière similaire à celle posée pour la variable teneur en eau du sol dans le cas traité ci-dessus. Pour y répondre, il est nécessaire soit d'avoir suffisamment d'observations des occurrences de déclenchement afin de pouvoir calibrer ces seuils soit de se fonder sur les dires des viticulteurs. Pour les deux variables « couverts herbacés » et « stades phénologiques », nous ne disposons pas de jeux d'observations suffisants pour permettre une calibration des seuils de déclenchement, nous avons donc envisagé également une détermination sur les dires de viticulteurs avec les résultats suivants.

Pour le déclenchement du travail du sol les échanges avec les viticulteurs n'ont pas permis de formaliser des seuils de déclenchement sur la seule base de l'étendue du couvert herbacé malgré une tentative d'échange sur la base de photos de parcelles présentant des développements herbacés variés. On a donc, à dires d'expert et sur les observations de terrain dont nous disposons, fixé un seuil de déclenchement quand la couverture atteint les 20%. Il est toutefois

clair que pour les viticulteurs d'autres paramètres du couvert influent sur la prise de décision de déclencher un travail du sol : quelles espèces sont présentes ? quelle hauteur présente le couvert ?...

Pour le déclenchement de la protection phytosanitaire, nous avons basé les seuils sur les stades phénologiques indiqués par les viticulteurs. Cependant, un questionnement similaire se pose. Bien que les stades phénologiques soient manipulés couramment par les viticulteurs, il leur est difficile d'exprimer clairement un stade déclencheur d'une action. En effet, le viticulteur ne caractérise pas le stade phénologique d'un échantillon de pieds de vigne pour établir le stade phénologique en cours sur la parcelle, il en fait une évaluation globale par expertise. Dans ce cadre, il peut lui sembler incongru de différencier un stade 3 feuilles étalées d'un stade 5 feuilles étalées pour identifier ce qui déclenche une action. Le stade indicateur donné par le viticulteur est donc considéré comme approximatif. Toutefois, pour cet indicateur, l'approximation sur les seuils porte moins à conséquence. En effet, en déclenchant les actions à des stades phénologiques approximatifs mais variés en fonction des viticulteurs, on suppose que l'on représente une variabilité réaliste : tous les viticulteurs qui ont le même seuil pour un indicateur, ne déclenche pas pour autant les traitements le même jour.

8.4 Conclusion

La représentation des processus biophysiques influençant la répartition spatio-temporelle des actions des agriculteurs pose deux types de questions : Dispose-t-on de modèles pour représenter les processus biophysiques ? Comment interprète-t-on les résultats de ces modèles pour représenter ce que prend en compte l'agriculteur dans ses décisions d'actions ?

Les deux questions posées sont en interaction puisque les modélisations des processus doivent simuler les indicateurs réellement utilisés par l'agriculteur. On a ainsi pu noter pour les processus traités dans ce chapitre, que les modélisations des processus que nous avons développées pouvaient être trop limitées à ce égard et devraient sans doute être réexaminées dans le futur. Par exemple, la simulation du strict taux de couverture du sol n'est pas un indicateur suffisant pour reproduire le critère de déclenchement du travail du sol par l'agriculteur ; d'autres caractéristiques du couvert herbacé sont également à prendre en compte.

Pour la détermination des seuils de déclenchement des actions, le cas étudié de manière approfondie relatif à la travaillabilité du sol montre que la méthode mise en oeuvre qui s'appuie sur l'expertise des viticulteurs fournit des résultats intéressants. Il s'agit toutefois, d'une méthode contraignante pour les viticulteurs qui sont fortement sollicités pour aller faire un diagnostic sur des parcelles à des périodes chargées en travail et pour l'opérateur qui doit procéder aux prélèvements de sol et ceci régulièrement après une pluie. La méthode est d'autant plus contraignante que ses résultats dépendent totalement des événements climatiques qui conditionnent les mesures. Il n'a donc pas été possible vu les délais impartis et les moyens disponibles d'appliquer cette méthode pour l'ensemble des indicateurs et seuils à déterminer.

Finalement, les questions sur la modélisation des processus biophysiques, quand l'objectif est de fournir des indicateurs pour l'action, se posent différemment comparés aux situations où les processus biophysiques sont modélisés pour eux-mêmes. Y répondre exige des travaux spécifiques qui seront à envisager au-delà du cadre strict de cette thèse. Les résultats acquis ont néanmoins permis d'évaluer sur un processus biophysique important, celui concernant la travaillabilité du sol, une approche potentielle et d'arriver à une première estimation d'indicateurs et seuils de déclenchement utilisables pour la modélisation de la conduite technique du vignoble.

Remerciements

Je remercie vivement Séverine Cauhapé pour le travail de terrain, de laboratoire et d'analyse qui a conduit aux résultats présentés dans ce chapitre sur la travaillabilité. Merci aux viticulteurs experts. Merci à Guillaume Coulouma, Olivier Huttel et Anne Biarnès pour leur appui à l'encadrement du stage de Séverine. Merci à Eric Von Bonn pour son travail bibliographique sur la modélisation de la travaillabilité et de la traficabilité. Merci à Gilles Eschenbrenner d'Arvalis pour ses conseils et la présentation de l'outil JDispo®. Merci à Cécile Gomez, Yves Blanca et Jean-Luc Belotti pour leur travail de terrain. Merci à Laurent Prévot pour la figure 8.1.

Bibliographie

- Arvidsson, J. and Bölenius, E. (2006). Effects of soil water content during primary tillage - laser measurements of soil surface changes. *Soil & Tillage Research*, 90(1-2) :222–229.
- Attonaty, J., Chatelin, M., Poussin, J., and Soler, L. (1993). Advice and decision support systems in agriculture : new issues. In *Farm level information systems*, pages 89–101, Woudschoten, Zeist, The Netherlands.
- Bekker, M. (1961). Evaluation and selection of optimum vehicle types under random terrain conditions. In *Proceedings of the 1st ISTVS International Conference*, pages 772– 785, Torino-Saint Vincent, Italy.
- Cerf, M., Papy, F., and Angevin, F. (1998). Are farmers expert at identifying workable days for tillage ? *Agronomie*, 18(1) :45–59.
- Dexter, A. and Bird, N. (2001). Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil & Tillage Research*, 57(4) :203–212.
- Droogers, P., Fermont, A., and Bouma, J. (1996). Effects of ecological soil management on workability and trafficability of a loamy soil in the netherlands. *Geoderma*, 73(3-4) :131–145.
- Earl, R. (1996). Prediction of trafficability and workability using tensiometers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(1) :27–33.
- Gusli, S., Cass, A., Macleod, D., and Blackwell, P. (1994). Structural collapse and strength of some australian soils in relation to hardsetting .1. structural collapse on wetting and draining. *European Journal of Soil Science*, 45(1) :15–21.
- Hoogmoed, W., Cadena-Zapata, M., and Perdok, U. (2003). Laboratory assessment of the workable range of soils in the tropical zone of veracruz, mexico. *Soil & Tillage Research*, 74(2) :169–178.
- Jansson, P. (1991). SOIL model, user’s manual. communications 91 :7. Technical report, Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Jansson, P. (1996). Simulation model for soil water and heat conditions. report 165 (revised edn). Technical report, Department of Soil Sciences, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.
- Knight, S. and Rula, A. (1961). Measurement and estimation of the trafficability of fine-grained soils. In *Proceedings of the 1st International ISTVS Conference*, pages 371–384, Torino-Saint Vincent, Italy.

- Paul, C. and Vries, J. D. (1979). Effect of soil-water status and strength on trafficability. *Canadian Journal of Soil Science*, 59(3) :313–324.
- Rounsevell, M. (1993). A review of soil workability models and their limitations in temperate regions. *Soil Use and Management*, 9(1) :15–21.
- Simalenga, T. and Have, H. (1992). Estimation of soil tillage workdays in a semiarid area. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 51(2) :81–89.
- Terzaghi, A., Hoogmoed, W., and Miedema, R. (1988). The use of the wet workability limit to predict the land quality workability for some uruguayan soils. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 36(1) :91–103.
- Thomasson, A. (1982). Soil and climatic aspects of workability and trafficability. In *9th Conference of the International Soil Tillage Research Organisation (ISTRO)*, pages 551–557, Osijek, Yugoslavia.
- Young, I. (1992). Hardsetting soils in the UK. *Soil & Tillage Research*, 25(2-3) :187–193.