

**SYNTHESE EN FRANCAIS DE THESE DE MASTER OF SCIENCE EN
OLIVICULTURE ET OLEOTECHNIE DE CIHEAM-IAMZ A L'UNIVERSITE
DE CORDOBA**

Titre : Détermination de la date optimale de contrôle de la couverture végétale sur la base d'un modèle du bilan hydrique du sol « Olivcrop »

Réalisé par : Abdallah AGHRAB

Dirigé par : Pr. Elías FERERES

Dr. José Alfonso GOMEZ

Lieu de réalisation: Institut de l'Agriculture Durable-Cordoba (IAS-CSIC)

Période de réalisation : 02 octobre 2006 à 25 octobre 2007

Date de présentation : 25 octobre 2007

Mention : « Cum Laude » (8/10)

Les système de gestion du sol dans un verger d'olivier peuvent être divisés en trois grand types : le système de labour, le système de no labour avec sol nu et système avec couverture végétale. A l'intérieure de système avec couverture, on distingue plusieurs types selon l'origine de la couverture (semée ou spontanée), sa nature (inerte ou vive) et la famille de la plante utilisée comme couverture. De point de vue conservation du sol contre l'érosion et l'amélioration de la fertilité des sols, le système avec couverture présente le meilleur système. Mais son effet sur la production dépend de l'entretien reçu par la couverture. La meilleure stratégie de couverture consiste à implanter la couverture dans le centre de la zone comprise entre les lignes des arbres en laissant la zone entre les arbres propre des mauvaises herbes moyennant l'application d'une herbicide, la contrôler lorsqu'elle entre en compétition pour l'eau avec les arbres et laisser les restes végétales surplace pour assurer une protection du sol jusqu'à l'émergence de la couverture de la campagne suivante ainsi que la réduction de taux d'évaporation à partir du sol durant cette période. Rares sont les essais réalisés pour déterminer la date optimale de couverture aussi bien sur la base de la comparaison de la production entre le système avec couverture et le système alternatif que moyennant le suivi de l'humidité du sol et la biomasse de la couverture. D'autre part, les résultats de ces essais ne peuvent pas être généralisés à d'autres conditions différentes desquelles où ils ont été réalisés.

Le modèle « Olivcrop », élaboré dans le cadre d'un projet européen sur l'olivier de montagne (OLIVERO, QLK5 CT-2002-01841) et publié par Castro y Gomez, 2006 et Castro y *al.*, 2006, présente une alternative pour déterminer la date optimale de contrôle de la couverture végétale dans des différentes caractéristiques des vergers, sols, couvertures et climats. Le concept de détermination de la date optimale de contrôle de la couverture est basé sur la différence entre l'humidité du sol de système avec couverture et le système alternatif en réalisant un bilan hydrique du sol à l'échelle journalière pour les deux systèmes et pour deux horizons : un explorer par les racines de l'olivier et de la couverture et le second explorer seulement par les racines des arbres. Le modèle tient en considération trois niveaux de déficit maximal de l'eau autorisé (différence entre l'humidité de sol des deux systèmes) : 10 mm qui correspond à un risque faible de chute de production des arbres de système avec couverture relativement aux arbres de système alternatif, 20 mm qui correspond à un risque moyen de perte de production et 30 mm qui correspond à un risque élevée de perte de production.

Comme premier chapitre de ma thèse, j'ai élaboré une révision bibliographique exhaustive sur les différents systèmes de gestion du sol et leurs effets sur les caractéristiques physiques et chimiques du sol, le bilan hydrique du sol et les composantes de production l'olivier en consultant les travaux réalisés en Espagne ainsi que ceux réalisés dans d'autres pays.

Avant d'améliorer et de valider le modèle « Olivcrop », j'ai révisé les différentes équations de simulation dans le modèle et j'ai effectué une Analyse de sensibilité des différents outputs de modèle aux caractéristiques du verger, sol, couverture et climat moyennant la méthode des scénarios et la méthode basée sur l'emploi des indices de sensibilité. La méthode de scénarios consiste à varier la valeur de paramètre pour lequel on veut analyser la sensibilité des outputs de modèle, en laissant les autres paramètres constants. En suite j'analyse la variation des différents variables de sortie de modèle (date de contrôle de la couverture, humidité du sol, ruissellement, drainage, transpiration des arbres, évaporation du sol et évapotranspiration de la couverture) et je la présente sous forme des graphes et courbe de régression. Le premier indice de sensibilité que j'ai employé est l'indice « ISd », utilisé seulement dans le cas des variables quantitatives, qui présente le rapport entre de la différence entre une valeur de la variable de sortie et une valeur de base et la même différence entre les valeurs des

variables d'entré correspondant. Une valeur nulle indique que le modèle n'est pas sensible à cet variable, des valeurs positifs indiquent que la variable de sortie augmente avec l'augmentation de la variable d'entrée et des valeurs négatifs indiquent que la variable d'entré et de sortie évoluent dans des sens opposés. J'ai élaboré plusieurs graphes présentant plusieurs niveaux de variation des inputs pour les différents outputs de modèle. Le deuxième indice « IS10 », que j'ai calculé aussi seulement dans le cas des variables quantitatives, présente la variation en valeur absolue de la variable de sortie suite à une variation de 10% de la variable d'entrée. Le modèle est considéré comme sensible lorsque cet indice est égal à 1 et sa sensibilité augmente avec l'augmentation de la valeur de cet indice. Le troisième indice que j'ai employé pour l'analyse de sensibilité de modèle est basé sur l'élaboration des modèles de régression multiple entre les variables de sorties et d'entrée du modèle en utilisant la méthode « pas à pas descendantes ». Cette méthode peut être employée aussi bien pour les variables quantitatives que pour les variables qualitatives en faisant recours à la transformation de ces derniers. Pour évaluer ces modèles de régression, j'ai été basé sur le coefficient de détermination, le test de F-Fisher et le test de T-Student et pour les valider j'ai tenu en considération l'accomplissement des conditions d'autocorrélation et de normalité des variables explicatives. J'ai réalisé cette analyse moyennant le programme « STATISTIX ». Les différents méthodes d'analyse de sensibilité ont montré que n'existe pas une date unique de contrôle de la couverture en dépendant des caractéristiques des oliviers, sols, couvertures et climats, étant le degré de sensibilité de modèle différent d'un paramètre à l'autre. La sensibilité de la date de contrôle de la couverture végétale à un paramètre donné est le résultat de la sensibilité des différentes composantes de bilan hydrique du sol à ce paramètre.

Avant d'analyser la sensibilité de modèle, j'ai effectué une classification climatique sur la base des indices de la sécheresse à différentes échelles de temps (annuelle, saisonnière selon le cycle de l'olivier, mensuelle et décadaire), en employant la méthodologie que j'ai développé et appliqué dans la région de Saiss au Maroc, dans le but de faciliter l'interprétation des résultats de l'analyse de sensibilité de modèle à la variation de climat et de choisir un échantillon représentatif pour analyser la sensibilité de modèle à d'autres paramètres. Ainsi, j'ai employé la méthode de nombre d'écart type pour élaborer la classification annuelle vue que cette distribution suit une loi normale alors que dans le cas de la classification saisonnière, mensuelle et décadaire, j'ai utilisé

la méthode des déciles car la majorité de ces distributions ne suivent pas une loi normale.

Avant d'évaluer la capacité prédictive de modèle « Olivcrop », j'ai inclus quelques améliorations à quelques équations de simulation de modèle. Ainsi, la version antérieure de modèle détermine seulement l'évapotranspiration (ET_{cc}) de la couverture de l'orge sur la base de coefficient de culture de FAO alors qu'il considère que la ET_{cc} de la couverture spontanée se réduit de 20% relativement à celle de l'orge. La version actuelle de modèle tient en compte les principales couvertures employées actuellement à savoir : l'orge, la couverture spontanée, les légumineuses et la couverture spontanée associée aux restes de la taille. Pour les premiers types de couvertures le modèle amélioré se base sur les coefficients de culture de FAO en tenant en considération 4 phases : phase initiale, phase de développement, phase mi-saison et phase finale pour déterminer la ET_{cc} de ces couvertures alors que dans le cas de la couverture spontanée plus restes de la taille, le modèle considère que l'ET_{cc} de cette couverture se réduit de 10% à cause de la présence de restes de taille. J'ai aussi amélioré l'équation de l'évaporation du sol en considérant que cette composante de bilan hydrique du sol varie selon la capacité de rétention du sol en modifiant les valeurs de deux constantes utilisées pour calculer l'évaporation du sol durant les deux phases d'évaporation, d'après le modèle de Ritchie (1972), en fonction de la classe hydrologique du sol. La troisième équation que j'ai améliorée est l'équation de transpiration des arbres en modifiant les formules de calcul de volume de la frondaison et de l'indice foliaire. Après l'introduction de ces améliorations, j'ai traduit le modèle en Espagnol.

Dans le cadre de cette thèse, j'ai aussi suivi l'humidité de sol et la biomasse de la couverture végétale entre le mois de novembre et le mois de mai dans deux essais de comparaison de système de gestion du sol de « Pedrera » localisé à Séville et de « Casillas » située à Cordoba. Les systèmes de gestion du sol étudiés sont un système de couverture végétale de *Lolium* implantée dans le centre des arbres et traitée par un herbicide anti-dicotylédones à la fin de décembre et un système de semi-labour dans le cas de la parcelle de « Pedrera » alors que dans la parcelle « Casillas » les systèmes étudiés étaient un système de couverture spontanée développée dans toute la superficie et un système de labour conventionnel. Pour l'essai de « Pedrera », j'ai utilisé la méthode gravimétrique qui consiste à prélever des échantillons de sol moyennant une

tarière et les introduire dans une étuve à 105 C pour déterminer l'humidité du sol sur la base de la différence entre le poids sec et le poids humide. Dans cette parcelle J'ai prélevé 48 échantillons du sol par date avec une fréquence de mesure d'environ un mois au niveau de deux points des deux parcelles analysés selon la pente, 4 profondeurs et trois zones selon la distance de la ligne des arbres. Pour analyser les résultats de cette essai, j'ai employé une analyse de la variance avec trois facteurs étudiés (système de gestion du sol, profondeur et zone de prélèvement) et un facteur contrôlé qu'est la pente moyennant le programme « STATISTIX ». Dans le cas de la parcelle « Casillas », j'ai utilisé la sonde de neutrons pour mesurer l'humidité du sol en mesurant la quantité des neutrons qui entrent en choqe avec les molécules d'eau. La sonde de neutrons est calibrée sur la base de méthode gravimétrique en tenant en compte deux horizons, une inférieure à 15 cm et l'autre supérieure à cette profondeur. A chaque mesure, j'ai mesuré l'humidité du sol généralement en 9 profondeurs au niveau de trois tubes de sondes implantés préalablement au niveau de la zone sous la frondaison, 4 au niveau de la zone entre les arbres et 4 au niveau de la zone entre les lignes des arbres. Pour analyser les résultats de cette parcelle, j'ai employé une analyse de variance déséquilibrée avec trois facteurs étudiés : le système de gestion du sol, la profondeur et la zone de prélèvement moyennant le programme « SYSTAT ». L'analyse des résultats des deux essais a montré que la mise en place d'une couverture de lolium au centre des arbres est une bonne pratique de conservation d'eau dans le sol dans le cas d'une croissance modérée de couverture relativement au système de labour alors qu'une couverture implantée dans toute la superficie est une mauvaise pratique de point de vue conservation de l'eau dans le sol. Ces essais ont montré également que le contrôle chimique d'une couverture de lolium est plus efficace par rapport à la couverture spontanée. D'autre part, le suivi de la biomasse aérienne de la couverture a indiqué que la couverture passe par trois phases : une phase de croissance lente au début de cycle due aux faibles pluie et aux basses températures suivie par une phase de croissance rapide due à l'augmentation de la pluviométrie et de la température et une phase de réduction de croissance due à son contrôle chimique. Alors que la relation racines/partie aérienne est corrélée négativement avec la biomasse aérienne de la couverture en diminuant le long de cycle de la couverture.

Après avoir améliorer le modèle j'ai évaluer sa capacité prédictive sur la base des données expérimentales de l'humidité du sol en employant les données de Pastor

(1988) et les données de Pedrera de cette année. Les méthodes que j'ai utilisées pour valider le modèle « Olivcrop » sont la méthode de régression simple qui consiste à élaborer des modèles de régression simple entre les mesures et les simulations de modèles. Ces modèles ont été évalués sur la base de coefficient de détermination, le test de F-Fisher et le test de T-Student. Cette analyse a été réalisée moyennant le programme « STATISTIX ». La deuxième méthode que j'ai appliquée pour valider le modèle est la comparaison de deux moyens, cas d'un échantillon par paire, moyennant le programme « STATISTIX ». Les résultats de la validation ont montré que dans la majorité des parcelles employées, les mesures sont très corrélées avec les estimations. Cependant, dans la plus grande partie des parcelles les mesures de l'humidité du sol sont différentes significativement des simulations en observant que le modèle sous-estime l'humidité du sol dans des essais et la surestime dans d'autres, en gardant la même tendance dans les différents systèmes qui forment un essai donné. À lumière de ces résultats, on peut dire que « Olivcrop » présente un bon outil de détermination de la date de contrôle de couverture vu que le concept de détermination de cette date est basé sur la différence entre l'humidité de sol de système avec couverture et le système alternatif.

Une fois validé le modèle « Olivcrop », j'ai recommandé des dates orientatives de contrôle de la couverture végétale pour les différentes plantations (arbres adultes et nouvelles plantations), systèmes de culture (traditionnelle, intensif et superintensif), types de couverture (orge, légumineuse, couverture spontanée et couverture spontanée associée avec les restes de taille) et sols des zones suivantes : « Campiña alta », « Campiña baja », « Sierra de Córdoba », « Sierra del sur de Sevilla », « Sierra de Segura de Jaén » et « Saiss » au Maroc. Pour recommander ces dates pour chaque zone, j'ai employé des données de longue durée de la pluviométrie et de l'évapotranspiration de référence. Pour estimer l'ET₀ à partir de la température, j'ai employé la méthode de Hargreaves ajustée à la méthode de Penman-Monteith. La méthode que j'ai appliquée pour recommander des dates de contrôle de la couverture végétale est la méthode des déciles, étant la date médiane la date optimale de contrôle.

À lumière des résultats obtenus dans les essais que j'ai réalisés cette année, je recommande la mise en place d'une couverture de graminée naturelle comme celle de loliun qui assure en plus de la protection du sol contre l'érosion et l'amélioration de la fertilité du sol, l'augmentation de l'infiltration de l'eau dans le sol surtout durant la

phase de croissance lente de la couverture. Cependant, il est nécessaire de suivre son développement durant la phase de croissance rapide en printemps et de la contrôler dans le moment idéal pour éviter la concurrence pour l'eau qu'il peut présenter aux arbres et par conséquent la chute de production qu'il peut occasionner. Cette couverture présente aussi l'avantage d'être facile à contrôler chimiquement en observant comment le profil du sol se recharge immédiatement après le contrôle chimique de la couverture. Cette couverture peut être convertie en un système de couverture sélectionnées jusqu'aux graminées en laissant chaque année une bande de couverture sans contrôle et en éliminant les mauvaises herbes des dicotylédones moyennant une herbicide anti-dicotylédones comme le fluroxipir à un stade précoce.

Concernant le modèle « Olivcrop », la version actuelle présente un bon outil qui peut aider dans la détermination de la date optimale de contrôle de la couverture végétale pour différents vergers, sols et climats. Cependant, elle présente quelques limitations qu'il faut palier en introduisant des améliorations pertinentes comme la recherche d'une solution à la sous-estimation de la transpiration des arbres par la modèle, une meilleure simulation de la croissance et développement de la couverture végétale et la recherche des humidités initiales plus réalistes pour chaque horizon. Pour améliorer l'évaluation et la validation de modèle, j'ai recommandé aussi d'avoir des données expérimentales de l'humidité du sol depuis le début de la campagne avec plus de fréquence et pour la totalité de profil explorer par les racines des arbres. Egalement, il s'avère nécessaire d'obtenir des mesures expérimentales des autres composantes de bilan hydrique du sol dans le but de tester la capacité de simulation de chaque composante par le modèle.