

IRRIGATION DE PRECISION DANS LES VIGNES - LE LOGICIEL D'ANALYSE DU PROFIL D'HUMIDITE (WPA ©) : UN NOUVEL OUTIL POUR VISUALISER EN TEMPS REEL LES PROFILS D'HUMIDITE DU SOL.

Sigfredo Fuentes¹; Carlos Camus¹; Gordon Rogers³ and Jann Conroy¹

¹ Centre d'Horticulture et des Sciences Végétales (Centre of Horticulture and Plant Sciences (CHAPS)), Université de Sydney Ouest, Hawkesbury Campus, Locked Bag 1797 Penrith South DC NSW, Australie.

³ Faculté d'Agriculture, des Ressources Naturelles et Alimentaires, Université Ouest de Sydney NSW 2006, Australie (Faculty of Agriculture, Food and Natural Resources, Western University of Sydney NSW 2006, Australia)

Résumé

Quantifier les variations spatiales et temporelles d'humidité du sol à proximité de la zone d'enracinement est un facteur décisif à prendre en compte lors de la planification de l'irrigation des vignes à l'aide des techniques d'irrigation RDI (Regulated Deficit Irrigation = Irrigation Déficitaire Contrôlée) et PRD (Partial Root-zone Drying = Assèchement Partiel des Racines). Ces deux procédés agissent sur les profils d'humidité du sol appelés « Soil Wetting Patterns » (SWP), dans le but de modifier la physiologie de la vigne, en réduisant par exemple la conductance stomatique, et ainsi d'accroître la qualité des raisins et l'efficacité de l'irrigation. Un nouveau logiciel d'aide, appelé Wetting Pattern Analyser (WPA ©), est en cours de développement. Il peut donner des animations de profils d'humidité du sol (SWP) en trois dimensions et en temps réel, lesquelles peuvent être mises en corrélation avec l'état hydrique de la plante, et permettre de mettre en place une stratégie précise de planification d'irrigation des vignes faisant appel aux techniques RDI et PRD.

Introduction

Dans de nombreux pays, les technologies d'irrigation se trouvent essentiellement confrontées à la rareté de l'eau, à l'inégalité de sa distribution, et à l'insuffisance des moyens utilisés pour la collecter et la distribuer sur le terrain. En raison de ces difficultés, il est impératif d'adopter de nouvelles technologies pour parvenir à une étude et une mise en place optimale de l'irrigation. Ces nouvelles technologies permettent de mécaniser et d'automatiser de façon adaptée des activités agricoles, et d'améliorer l'efficacité de l'irrigation et des ressources en énergie, tout en respectant les objectifs de protection de l'environnement.

La gestion précise de l'irrigation de la vigne est un facteur décisif pour obtenir un produit de qualité. Il est communément admis qu'une irrigation excessive nuit à la qualité du vin. Elle a également des effets directs sur la prolifération végétative. Les techniques d'irrigation RDI (Irrigation Déficitaire Contrôlée) et PRD (Assèchement Partiel des Racines) sont relativement récentes, et leur utilisation soulève deux des problèmes les plus importants que connaisse l'activité viticole : la rareté de l'eau et la qualité du raisin. Ces techniques ont pour principal objectif la gestion de la distribution spatiale et temporelle de l'humidité dans le sol à proximité de la zone d'enracinement. Au niveau des racines, elles créent dans le sol des zones sèches ou humides dont la répartition peut être « contrôlée » ; les racines dans un sol sec produisent alors un signal hormonal (probablement l'acide abscissique ou ABA) transporté jusqu'aux rameaux par le xylème. Il en résulte une fermeture stomatique partielle et donc une efficacité accrue de l'irrigation (Davies *et al.*, 2002).

Dans le domaine de l'irrigation, la difficulté à laquelle nous sommes confrontés réside dans le maintien d'une gestion précise des profils d'humidité non uniformes sur les domaines ayant recours à cette technique. En ce sens, il ne nous est pas possible de compter sur les

modèles numériques pour représenter les profils d'humidité (SWP) de différents types de sol, car ils peuvent donner la forme et les dimensions du profil SWP réel de façon plus ou moins précise (Reid and Huck, 1990). En outre, les modèles numériques s'avèrent moins pratiques en raison de leur complexité, de leur coût et de leur difficulté à reproduire la variabilité spatiale du front d'infiltration sur le terrain (Lafolie *et al.*, 1989).

En réponse aux problèmes cités ci-dessus, un logiciel d'aide destiné à contrôler le profil d'humidité du sol (SWP) a été développé. Il est le fruit de la thèse présentée au Centre of Horticulture and Plant Sciences (CHAPS) qui dépend de l'Université de Sydney Ouest (University of Western Sydney). Ce logiciel permet de visualiser les profils d'humidité du sol en trois dimensions et en temps réel. Par conséquent, les dimensions du profil et le taux d'humidité du sol au niveau du bulbe humide peuvent être évalués et mis en corrélation avec l'état hydrique de la plante. Ce logiciel peut assister le matériel d'irrigation, vérifier en temps réel les effets des différentes techniques de planification d'irrigation sur le terrain ou encore comparer la performance des systèmes d'irrigation sur un type de sol spécifique.

Planification de l'irrigation à l'aide des techniques RDI ou PRD. La question du positionnement de la sonde.

Le contrôle de l'humidité du sol sert généralement à planifier l'irrigation des vignes faisant appel aux techniques RDI et PRD. Néanmoins, ces techniques ont rendu plus difficile la planification de l'irrigation, en engendrant une humidité restreinte du sol et des seuils de stress hydrique pour les plantes. Modifier la distribution spatiale et temporelle de l'humidité dans le sol au niveau de la zone d'enracinement, à l'aide des techniques RDI ou PRD, agit également sur la physiologie de la vigne, en raison d'un signal chimique (racines vers rameaux) fabriqué par les racines se trouvant dans le sol sec. Le simple contrôle de l'humidité du sol et des variables climatiques (évapotranspiration) ne suffit pas à détecter ces évolutions physiologiques majeures connues par la plante. De ce fait, il est impératif de contrôler l'état hydrique de celle-ci, lors du recours aux techniques RDI et PRD, afin de parvenir à une planification précise de l'irrigation.

Une fois le matériel de contrôle de l'humidité du sol acheté, de nombreux viticulteurs se trouvent confrontés au problème du positionnement des sondes. Pour surmonter cette difficulté, les viticulteurs sont tenus de prêter une attention particulière à la distribution spatiale et temporelle de l'eau, en prenant en considération leurs conditions climatiques spécifiques, leur système d'irrigation et l'état hydrique de la plante. Cela est à présent rendu possible grâce au nouveau logiciel appelé WPA ©, développé par Sigfredo Fuentes (Soil and Plant Science) et Carlos Camus (Code writing).

Le développement du logiciel WPA ©

Le logiciel WPA © fonctionne à l'aide de sondes à capacitance. (Easy Ags, Sentek Pty. Ltd.). Ces types de capteurs ont été retenus pour la précision de leurs mesures, la taille relativement petite de la zone de mesure (10 cm de sol à partir du capteur), et le faible diamètre des tubes (25 mm), ce qui perturbe moins le sol. Pour obtenir les fichiers de données requis par le logiciel, un ensemble de sondes équipées de capteurs doivent être installées sur le terrain à des profondeurs différentes, à proximité de la plante et de la source d'eau (Figure 1). Cette configuration a été testée sur des vignes (cépage Syrah) en irrigation goutte à goutte conventionnelle, et en irrigation goutte à goutte souterraine à l'aide de sondes équipées de quatre capteurs chacune à 10, 20, 30 et 50 cm de profondeur dans un sol de type terreau sablonneux (Richmond NSW). Une distribution radiale des sondes permet de visualiser en trois dimensions les profils d'humidité, d'enregistrer les données en continu toutes les dix minutes et de les traiter en temps réel pour évaluer les profils (SWP).

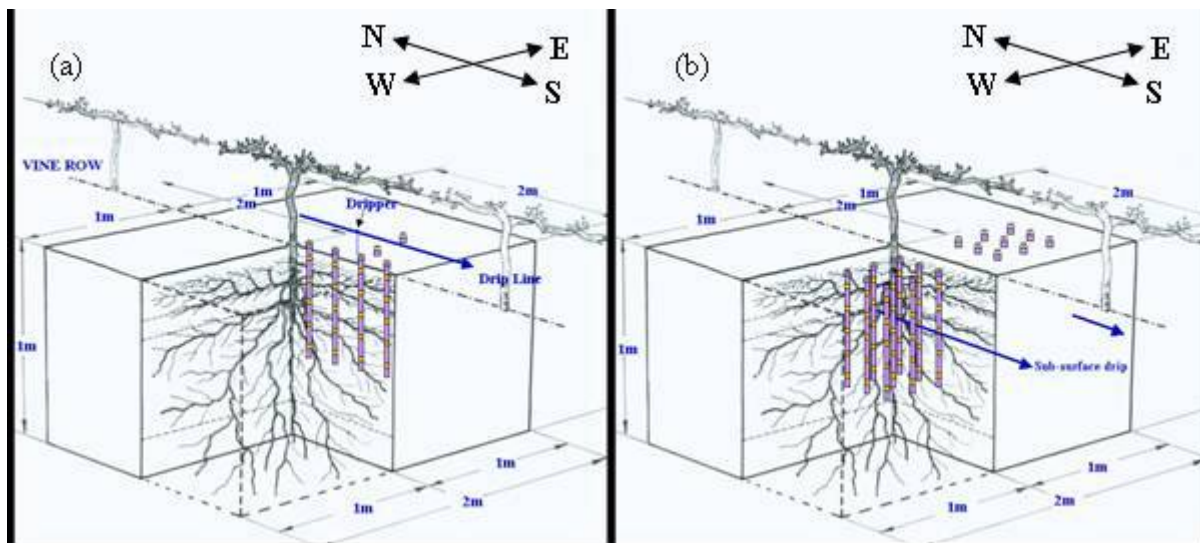


Figure 1. Positionnement des sondes à capacitance dans la partie voulue du sol de la vigne (cépage Syrah) pour une irrigation goutte à goutte conventionnelle (a) et souterraine avec la technique PRD (b), Richmond NSW Australie (Saisons 2002/2003 et 2003/2004).

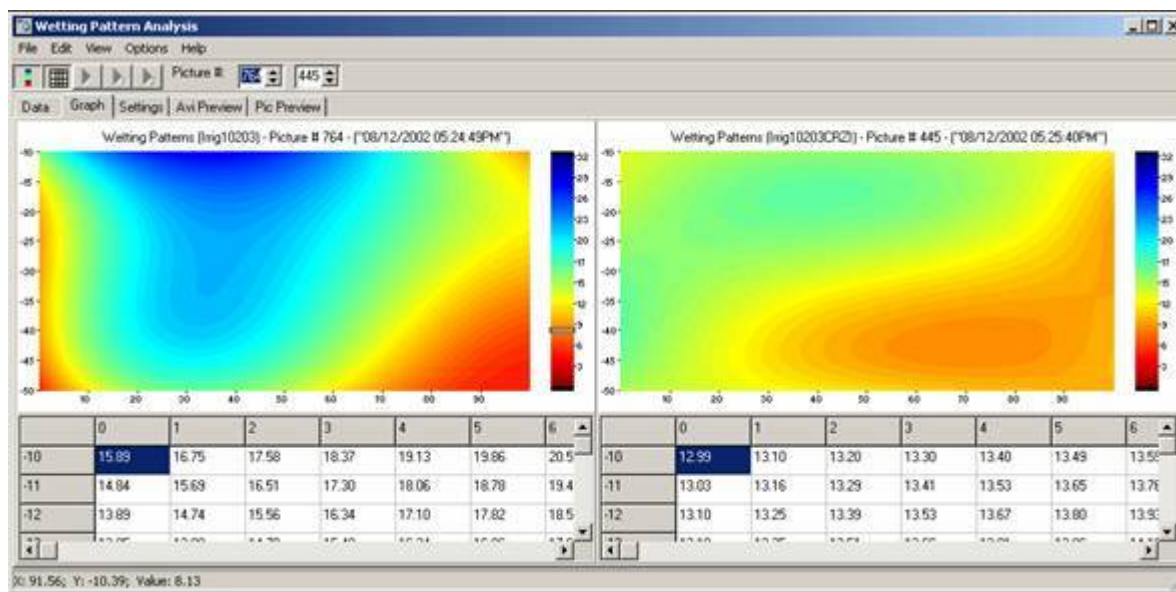


Figure 2. Fenêtre Output du logiciel WPA©. Comparaison entre deux systèmes d'irrigation : goutte à goutte conventionnel (à gauche) et goutte à goutte souterrain (à droite). L'axe Y indique la profondeur (en cm) ; l'axe X indique la distance par rapport à la plante dans le rang. Images obtenues à partir des sondes positionnées sur l'axe nord-sud. (Voir fig. 1).

La fenêtre Output (Fig. 2) montre les images du profil d'humidité du sol obtenues par des méthodes d'interpolation, et pouvant être explorées à l'aide du pointeur de la souris à une échelle minimum de 1 cm². Deux fichiers de données voire plus peuvent également être comparés, ce qui permet d'évaluer différentes durées d'irrigation ou encore les effets d'une irrigation pulsée sur le déplacement latéral de l'eau dans le sol. Pour une analyse plus poussée, une image seule, un groupe d'images, une matrice de données ou des fichiers vidéo au format AVI peuvent être exportés vers les logiciels Excel et Media Player.

L'étalonnage du capteur d'humidité du sol est-il réellement nécessaire ?

L'étalonnage des capteurs d'humidité du sol est considéré comme fastidieux, onéreux et long. La plupart des viticulteurs ne souhaitent pas réaliser cette tâche, et l'étalonnage est habituellement pratiqué lors de recherches scientifiques. Cependant, l'évaluation de la distribution spatiale et temporelle de l'eau dans le profil du sol joue un rôle essentiel pour l'état hydrique de la plante, et s'avère plus important que l'étalonnage des capteurs d'humidité du sol. Pour évaluer précisément l'état hydrique de la plante, il est primordial de connaître le potentiel hydrique des tiges (Ψ_x) à différents moments de la séquence d'irrigation ; il peut être obtenu à l'aide de la chambre à pression de Scholander (Scholander *et al.*, 1964) et du protocole de mesure Ψ_x (disponible auprès des auteurs). La figure 3 montre l'une de ces évaluations, en affichant la forme et les dimensions des profils d'humidité, ce qui permet de calculer le volume total d'eau disponible (Total Available Water) en litres. La valeur obtenue peut être mise en corrélation avec l'état hydrique de la plante (Ψ_x) mesuré à différents moments de la séquence d'irrigation (Fuentes *et al.*, 2003).

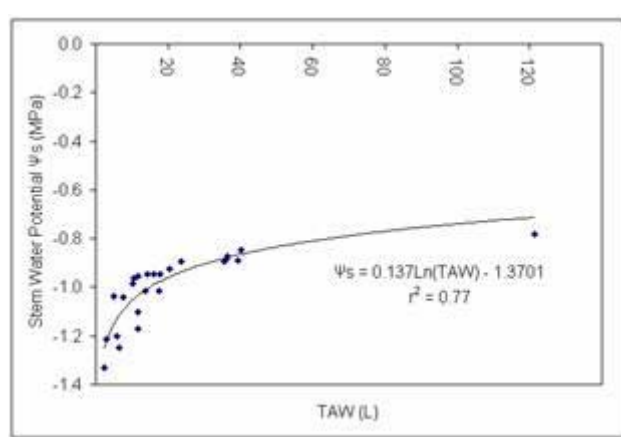


Fig. 3. Relation entre le potentiel hydrique des tiges (Ψ_x) et le volume total d'eau disponible (Total Available Water) au cours d'une seule séquence d'irrigation. Talca – Chili. Saison 2002/2003. Vigne cépage Cabernet Sauvignon.

Grâce à cette évaluation, la durée d'irrigation adéquate peut être obtenue pour éviter une irrigation excessive. La durée d'irrigation optimale est connue lorsque la courbe a atteint son plateau qui, dans ce cas précis, approchait -0,75 MPa. Par cette méthode, les durées d'irrigation peuvent être adaptées à l'évolution de la plante ; pour les viticulteurs, cette technique est plus pratique que l'étalonnage fastidieux destiné à améliorer la précision de l'évaluation.

Ainsi, en effectuant des mesures périodiques du potentiel hydrique des tiges à la mi-journée, et en utilisant le logiciel WPA © pour l'analyse des profils d'humidité du sol (SWP), une réponse peut être apportée aux deux principales questions qui se posent en matière d'irrigation, à savoir : quand ? Et quelle quantité ? Les seuils de potentiel hydrique des tiges à la mi-journée (Ψ_x) seront déterminés par les objectifs de production, ainsi que par la technique d'irrigation à adopter à des étapes précises du cycle phénologique de la vigne.

Etude comparative entre les systèmes d'irrigation goutte à goutte conventionnels et les systèmes d'irrigation goutte à goutte souterrains utilisant le logiciel WPA ©, sur les vignes cépage Syrah.

Une étude comparative entre les systèmes d'irrigation goutte à goutte conventionnels et les systèmes d'irrigation goutte à goutte souterrains, équipés d'un nouveau goutteur

appelé Safe-T-Flo[®], a été menée à partir du positionnement des sondes captant l'humidité du sol (Figure 1) et du logiciel WPA[®]. D'après les résultats, l'utilisation de ce nouveau goutteur créé un début de déplacement capillaire d'eau vers le haut, comme l'indique le fabricant (Irrigation and Water Technologies). Cet effet est dû aux caractéristiques de fabrication du goutteur, dont le film en poly-texture améliore les déplacements capillaires et latéraux, et dont le film plastique situé au-dessus et au-dessous du goutteur évite à la fois l'effet tunnel et la percolation (Fig. 4).

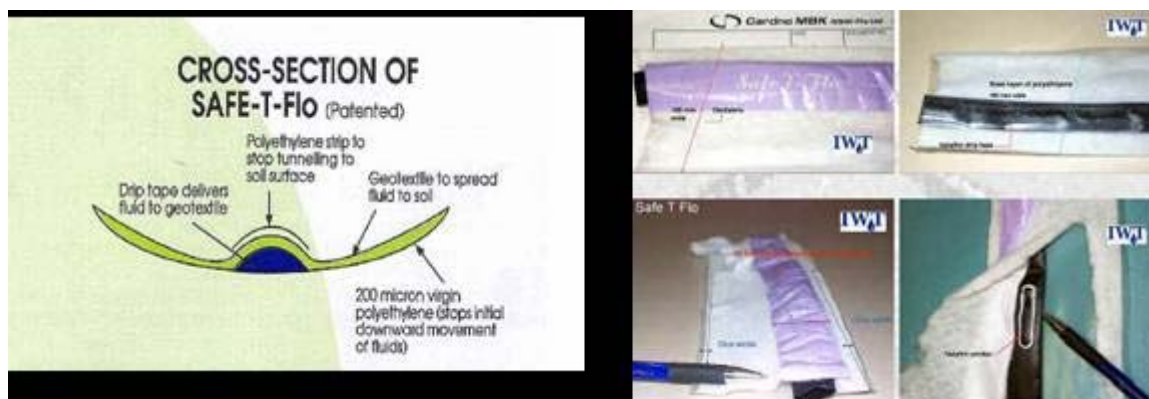


Fig. 4. Goutteur Safe-T-Flo[®]. Schéma et images des matériaux de fabrication.

Ci-dessous, les résultats-clés provenant des animations des profils d'humidité avec le logiciel WPA[®], comparant un goutteur conventionnel avec un goutteur souterrain :

Goutteur conventionnel :

- L'eau peut être absorbée rapidement par le sol (texture du sol : terreau sablonneux).
- L'état hydrique de la plante s'améliore rapidement. Les résultats apparaissent après la première heure d'irrigation avec un maximum de -0,6 MPa à la quatrième heure (Figure 5a).
- Une colonne continuum d'eau de forme parabolique (Figure 6a, en fin de document), se crée à partir de la surface, ce qui permet une évaporation rapide de l'eau au niveau du bulbe humide après la fin de l'irrigation.
- Six jours se sont écoulés en moyenne entre la fin de l'irrigation et le point de flétrissement (obtenu à partir des valeurs Ψ_x à la mi-journée) à la période la plus intense de la saison d'irrigation.

Goutteur souterrain Safe-T-Flow :

- Laisse le sol absorber lentement l'eau (type terreau sablonneux).
- Un déplacement capillaire de l'eau vers la surface se crée. Le déplacement latéral de l'eau depuis l'émetteur est également amélioré. Les profils d'humidité sont en forme de « saucisse » (Figure 6b en fin de document), avec une distribution de l'eau plus homogène au niveau de la zone d'enracinement.
- L'amélioration de l'état hydrique de la plante apparaît après la troisième heure d'irrigation. Ensuite, l'état hydrique atteint la même valeur maximale qu'avec un goutteur conventionnel à la quatrième heure (-0,57 MPa) (Figure 5b). Après cette quatrième heure, l'écoulement de l'eau vers des couches plus profondes peut être observé (pas d'Figure des données).

- Le maintien d'une couche sèche à la surface (5 cm) augmente la résistance du sol à l'évaporation de l'eau.
- Quinze jours se sont écoulés en moyenne entre la fin de l'irrigation et le point de flétrissement (obtenu à partir des valeurs Ψ_x à la mi-journée) à la période la plus intense de la saison d'irrigation.

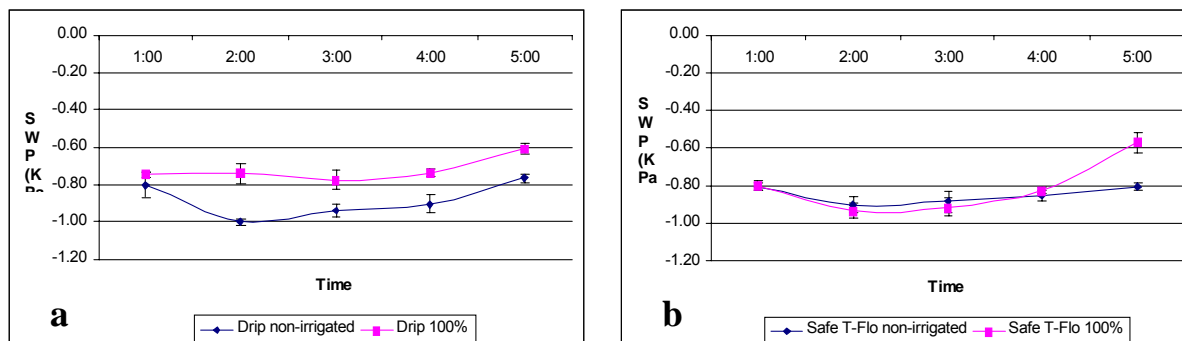


Figure 5. Evolution de l'état hydrique du plant de vigne (cépage Syrah) en utilisant un goutteur conventionnel (a) et un goutteur souterrain (b) lors d'une seule séquence d'irrigation.

Autres développements du logiciel WPA ©

Grâce au projet Linkage de l'ARC (Australian Research Council) récemment remporté par les auteurs, d'autres recherches seront menées avec de nouvelles sondes mesurant la salinité et l'humidité du sol, qui viennent d'être développées par Sentek Pty. Ltd. (TriScan®). Ces sondes ont une double capacité de mesure : à la fois l'humidité volumétrique du sol et sa conductivité électrique. Le projet Linkage de l'ARC intitulé « Etablir les liens entre la transpiration des plantes, l'eau présente dans le sol et le déplacement du nitrate : effets d'un taux élevé de CO₂ atmosphérique et de la stratégie d'irrigation » a pour objet les liens existant entre les taux de transpiration des plantes (à l'aide de sondes mesurant le flux de la sève) et le déplacement de l'eau et du nitrate (NO₃⁻) en temps réel et en trois dimensions dans les sols de vignes irrigués par un goutteur conventionnel et avec la technique PRD. Le logiciel WPA © sera amélioré afin de donner les profils d'humidité et les déplacements de nitrate dans le sol, lesquels peuvent être mis en corrélation avec les taux de transpiration pour évaluer le flux de masse sol-plante-atmosphère. La recherche permettra de mieux comprendre ce processus et d'améliorer les techniques d'irrigation et de fertigation.

Conclusion

Une combinaison de techniques (évaluation de l'état hydrique de la vigne et des profils d'humidité du sol) peut apporter une réponse aux deux principales questions que pose la planification de l'irrigation des vignes faisant appel aux techniques RDI et PRD. Le contrôle de l'état hydrique de la plante (Ψ_x) peut répondre à la question « Quand faut-il irriguer ? », et le recours à la technique d'analyse du profil d'humidité décrite dans cet article, à la question « Quelle quantité d'eau ? ». La mesure des profils d'humidité du sol et de la volumétrie de la teneur en eau sont des indices précis pour déterminer la disponibilité d'eau dans le sol. Ces mesures peuvent être mises en corrélation avec l'état hydrique de la plante pour parvenir à une planification précise de l'irrigation. Le positionnement des sondes mesurant l'humidité du sol et le logiciel WPA © peuvent être des outils pratiques et efficaces pour visualiser les formes complexes de profils d'humidité du sol (SWP) après chaque irrigation ou pour caractériser les profils de différents types de sols et déterminer le positionnement optimal d'une seule sonde. Le recours à cette technique pourrait éviter l'écoulement de l'eau vers des couches situées en dehors de la zone d'enracinement, optimisant ainsi l'irrigation et l'efficacité de l'apport d'eau à la plante.

Bibliographie

- Davies, W.J., Wilkinson, S. and Loveys, B.R. 2002. Stomatal control by chemical signalling and the exploitation of this mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phyt.*, 153: 449-460.
- Lafolie, F., Guennelon, R. and Van Genuchten, M. Th. 1989. Analysis of water flow under trickle irrigation: Theory and numerical solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 1310-1318.
- Reid, J.B. and Huck, M.G. 1990. Diurnal variation of crop hydraulic resistance: a new analysis. *Agronomy Journal*, 82: 827-834.
- Fuentes S., Rogers G., Conroy J., Ortega – Farias S., Acevedo C. 2003. "Soil Wetting Pattern Monitoring as a Key Factor for Water Use Efficiency on Grapevines". *Acta Hort. In Progress*.
- Sholander, P.F., Hammel, H.T. Hemmingsen, E.A., Bradstreet, E.D. 1964. Hydrstatic Pressure and Osmotic Potential in Leaves of Mangroves and Some Other Plants. *Proc. of the Nat. Academy of Sc. USA* 52: 119:125.

Sigfredo Fuentes

A obtenu une licence en Agronomie, à Université de Talca au Chili, et est doctorant au Centre d'Horticulture et des Sciences Végétales (Chaps) à l'Université Ouest de Sydney. Experience de 4 ans au Chili dans le domaine de la recherché et de l'industrie de l'irrigation et de 4 ans en Australie dans le domaine de l'industrie de l'irrigation E-mail: s.fuentes@uws.edu.au.

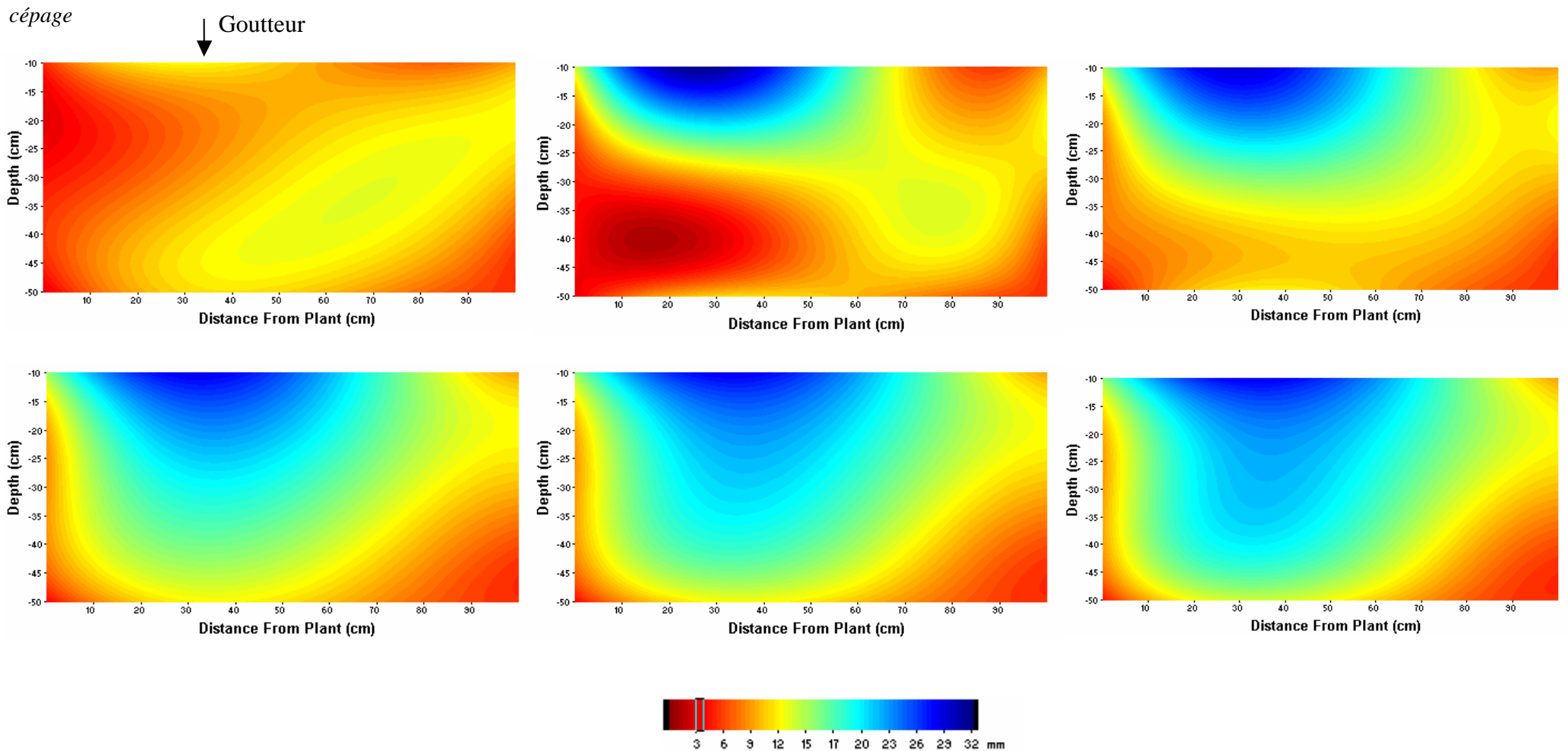


Figure 6a. Profil d'humidité du sol (SWP) obtenu avec le logiciel WPA © à partir d'un système d'irrigation conventionnel à goutteur (2 goutteurs par plante avec un débit de 2L/heure chacun) sur les plants (cépage Syrah). Les images correspondent à un relevé toutes les heures, la première donnant le profil d'humidité avant l'irrigation, et la dernière le profil à la cinquième heure d'irrigation. Les images ont été obtenues à partir des sondes positionnées sur l'axe nord-sud le long du goutteur. Voir illustration 1. L'axe X indique la profondeur (en cm), l'axe Y indique la distance par rapport au plant (en cm). L'humidité du sol est exprimée en mm.

FUENTES, PRECISION IRRIGATION, 9

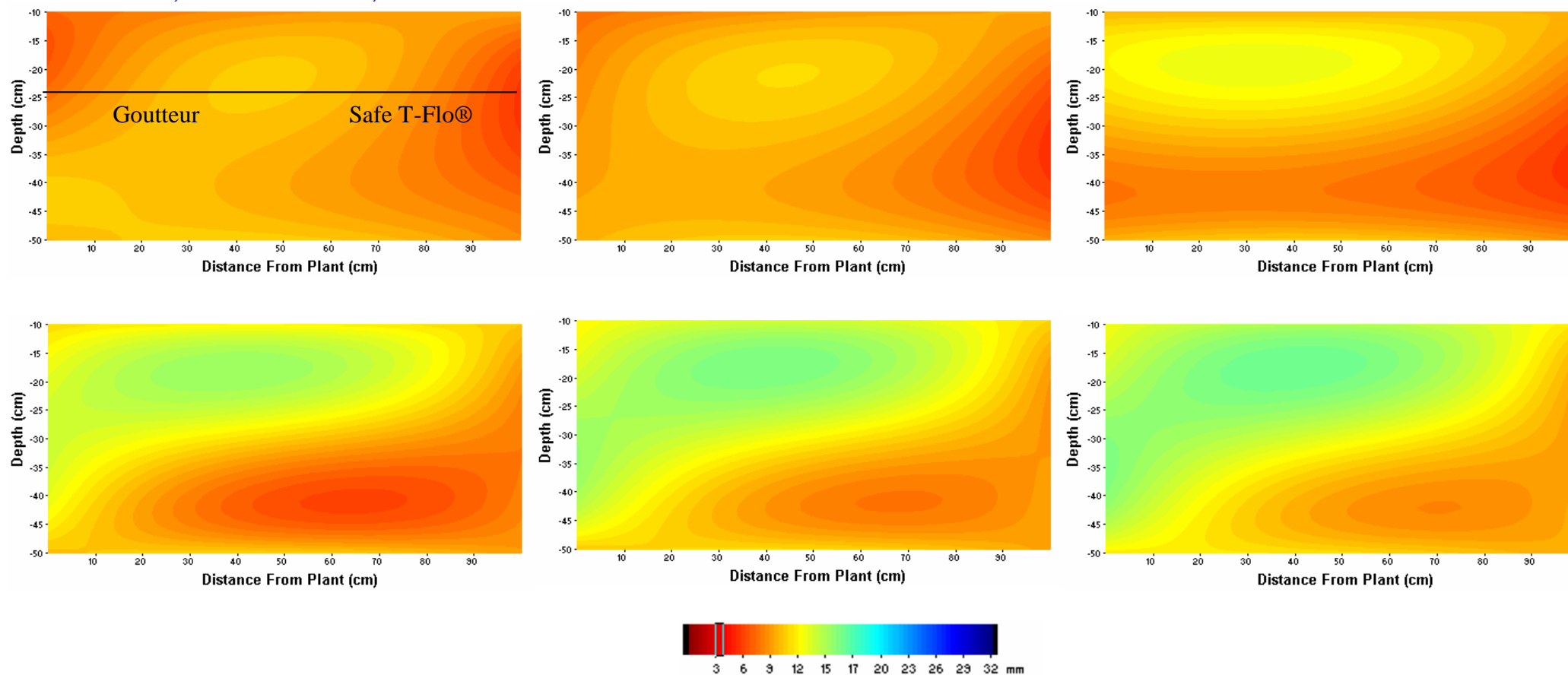


Figure 6b. Profil d'humidité du sol (SWP) obtenu avec le logiciel WPA © à partir d'un système d'irrigation souterraine à goutteur (4 goutteurs par plante à un débit d'1L/heure chacun) sur les plants (cépage Syrah). Les images correspondent à un relevé toutes les heures, la première donnant le profil d'humidité avant l'irrigation, et la dernière le profil à la cinquième heure d'irrigation. Le goutteur a été enterré à 25 cm de profondeur. Les images ont été obtenues à partir des sondes positionnées sur l'axe nord-sud le long du goutteur. Voir illustration 1. Les images montrent le résultat d'un seul goutteur (avec un débit d'eau réduit de moitié comparé à l'illustration 6a). L'humidité du sol est exprimée en mm.