

Optimisation de l'irrigation des jeunes vergers

Sven KNIELING¹ et Philippe MONNEY²

¹Service cantonal de l'agriculture du Valais, Office d'arboriculture et cultures maraîchères

²Agroscope, 1964 Conthey

Renseignements: Philippe Monney, e-mail: philippe.monney@agroscope.admin.ch, tél. +41 58 481 35 45, www.agroscope.ch



L'irrigation au goutte-à-goutte convient mieux que l'aspersion sur frondaison aux vergers de pommiers à haute densité et permet de grandes économies d'eau, surtout durant les premières années de culture (Golden Orange sur M9 à 3290 arbres/ha, photo Sven Knieling).

Introduction

A l'échelle planétaire, l'agriculture est de loin le secteur économique qui consomme le plus d'eau (Aquatat, FAO). A ce sujet, les statistiques de l'Union européenne (UE) situent cette part à 24 % sur la moyenne du territoire européen et jusqu'à 80 % dans certaines régions méridionales. Le goutte-à-goutte est actuellement le moyen le plus performant d'améliorer l'efficacité de l'irrigation, en évitant les pertes considérables engendrées par l'aspersion ou l'irrigation gravitaire.

Malgré ce grand potentiel d'économie, le goutte-à-goutte ne couvrait en 2000 que 2 % des surfaces mondiales irriguées (projection de Ayars *et al.* 1999) et 22 % en Europe (Eurostat 2012), dont vignes et vergers se taillent la part du lion. Dans l'UE, par exemple, les cultures de baies ou les vergers d'agrumes sont irrigués à plus de 90 % au goutte-à-goutte (Eurostat 2012) et, en Californie, les cultures à haute valeur ajoutée (fruits et légumes) représentent 62 % des surfaces américaines irriguées par ce moyen (Postel 2012). Selon ce même auteur, l'irrigation localisée est le système qui

connaît la plus forte croissance dans le monde; il a été multiplié par 88 en Chine et par 111 en Inde ces vingt dernières années. Le goutte-à-goutte progresse aussi très fortement dans les cultures annuelles en rangs (tomate, maïs, pomme de terre).

En Suisse, la plupart des vergers équipés de goutte-à-goutte sont dans la région lémanique, où ce système domine en cultures fruitières irriguées. Les vergers du Valais et de la vallée du Rhin sont en revanche presque tous équipés d'un système fixe avec aspersion sur frondaison, servant à la fois à l'arrosage et à la lutte contre le gel printanier. Dans de tels cas, l'adoption du goutte-à-goutte implique d'installer un deuxième système. En dépit de cet investissement supplémentaire et de l'effort nécessaire pour maîtriser la gestion de l'irrigation localisée, plusieurs producteurs ont franchi le pas, convaincus de l'efficacité d'une technique qui suit au plus près les besoins hydriques et nutritionnels de leurs vergers, mais qui est aussi plus économique et plus respectueuse de l'environnement. En effet, les arguments écologiques et économiques ne manquent pas: changements climatiques qui pourraient limiter les ressources en eau, restriction des produits phytosanitaires et des herbicides, diminution des risques de dissémination du feu bactérien, des frais de pompage de l'eau ou encore des coûts d'application des engrais, dont une partie peut être apportée par fertigation.

Dans la pratique, les jeunes vergers sont généralement raccordés au même secteur que les parcelles voisines. Par conséquent, ils sont souvent irrigués à une fréquence et à des doses répondant aux besoins de vergers adultes. Jusqu'en deuxième ou troisième année, ces plantations sont donc soumises à des régimes peu efficaces, avec des apports trop massifs, qui se perdent en partie par percolation, mais également trop espacés pour maintenir une humidité constante dans la couche superficielle du sol.

Deux essais sont présentés dans cet article: le premier, conduit sur le domaine de Châteauneuf de l'Office d'arboriculture et cultures maraîchères du Valais, compare l'efficacité de l'aspersion et du goutte-à-goutte et le second, mené par Agroscope à Conthey, porte sur une gestion complètement automatisée de l'irrigation, appliquée à un verger de pommiers en première et deuxième année après la plantation.

Matériel et méthodes

Sites, systèmes d'irrigation et matériel végétal

Les deux essais sont situés à quelques centaines de mètres l'un de l'autre, dans le Valais central, à une altitude de 480 m.

Résumé

Le premier de deux essais consacrés à l'irrigation des jeunes vergers de pommier comparait l'aspersion et le goutte-à-goutte sur la variété Golden Orange dans un verger à haute densité, avec un seuil pour l'irrigation de 40 à 60 cbar mesuré à 30 cm de profondeur du sol. L'essai 2 testait le goutte-à-goutte automatique avec quatre fréquences d'irrigation sur la variété Braeburn cultivée en verger standard, avec un seuil pour l'irrigation de 25 cbar mesuré à 30 cm de profondeur. Dans l'essai 1, le goutte-à-goutte a légèrement réduit la vigueur par rapport à l'aspersion, a augmenté de 54 % le rendement en fruits et a permis une économie d'eau de 65 à 75 % selon l'année. Dans l'essai 2, l'automatisation s'est révélée intéressante pour favoriser la vigueur des jeunes arbres.

Le goutte-à-goutte permet ainsi de grandes économies d'eau sans pénaliser le rendement en fruits, tandis que l'automatisation permet d'adapter les apports aux besoins de la culture. Dans les conditions de l'essai, deux à quatre apports quotidiens automatisés ont répondu de manière optimale aux fluctuations de la demande du verger.

Essai 1, Châteauneuf

Sur une parcelle de 2568 m², la variété Golden Orange sur porte-greffe M9 clone T337 a été plantée au printemps 2010 à une distance de 3,8 x 0,8 m, soit 3290 arbres/ha, une densité assez élevée liée à la faible vigueur de la variété. Le sol est sablo-limoneux, faiblement à moyennement graveleux. La nappe phréatique, située à 2–3 m de profondeur, est hors d'atteinte pour une jeune culture.

Sur le bloc irrigué par aspersion, des asperseurs débitant chacun 1600 l/h à 4,5 bar sont disposés à raison de 25 unités/ha environ, assurant une pluviométrie horaire de 4 mm. La fumure est apportée en épandant du compost et des engrais minéraux sous forme solide.

Le bloc arrosé au goutte-à-goutte est équipé de rampes à goutteurs intégrés (une rampe par ligne, CNL Uniram, 50 cm, 1,6 l/h, Netafim Ltd., Tel-Aviv, Israël), fournissant une pluviométrie fictive de 0,84 mm/h. La même fumure organique n'a été appliquée que sur le bloc avec aspersion, mais avec un complément minéral distribué par le réseau d'irrigation (fertigation).

Essai 2, Agroscope

L'essai a été mis en place au printemps 2010 sur une parcelle de 970 m² avec la variété Braeburn sur porte-greffe M9 (Clone Pajam 2) et la variété pollinisatrice Golden sur porte-greffe M9 (Clone T337). Les arbres ont été plantés à 3,75 m x 1,2 m, soit une densité de 2220 arbres/ha. Les arbres pollinisateurs ont été disposés autour du verger et entre les blocs, soit un rang sur chaque côté de la parcelle, un arbre à chaque bout de rang et deux arbres tampons au milieu des rangs. Le sol est limono-sableux, avec des teneurs en argile, silt et sable de 25, 42 et 33 %. Le pH est alcalin (7,7) et la matière organique, abondante, varie de 2,8 % dans le sous-sol (20–40 cm) à 3,3 % dans le sol (2–20 cm). Des profils à différents points de la parcelle font apparaître un horizon très caillouteux à une profondeur de 30 à 100 cm (fig. 1 et 2). Ces variations n'ont pas eu d'influence visible sur la croissance végétative du verger (différences non significatives entre trois des quatre blocs). L'hétérogénéité du sol a cependant provoqué



Figure 1 | La parcelle de l'essai 2 est traversée par deux bancs de gravier presque affleurants. Les sondes placées à ces endroits ont posé des problèmes de mesure surtout en fin de saison, lorsque le sous-sol se vide de ses réserves d'eau.



Figure 2 | Dans des zones de l'essai 2, la profondeur utile atteint près d'un mètre. Ici, des racines sont visibles à près de 80 cm en fin de 2^e année après la plantation.

d'importants écarts entre les trois répétitions de mesure d'humidité du sol de chaque procédé. La nappe phréatique se situe à 2,3–2,5 m de profondeur, sous la limite supérieure de la couche graveleuse, et, comme dans l'essai 1, reste hors de portée des racines du verger.

L'irrigation est assurée par un système comprenant un goutteur par arbre débitant 2 l/h, monté en dérivation (type bouton, PC2, autorégulant 0,5–4,0 bar, Netafim Ltd., Tel-Aviv, Israël).

Procédés et dispositif expérimental

Essai 1

L'aspersion a été utilisée sur tout le verger en 2010, puis comparée au goutte-à-goutte de 2011 à 2013, de la deuxième à la quatrième année de plantation, sur deux blocs sans répétition (1252 m² avec aspersion et 1316 m² avec goutte-à-goutte). Les doses d'irrigation ont été calculées à partir de la durée des apports et du débit nominal de l'installation. Les apports d'eau pour la lutte contre le gel et pour la fertigation n'ont pas été inclus dans le bilan saisonnier: identiques et relativement modestes pour les deux blocs dans le premier cas et jugés insignifiants dans le second.

Dans le bloc aspersion, les irrigations ont été déclenchées selon les données d'humidité du sol récoltées dans une parcelle voisine et le seuil critique fixé à environ 80 cbar mesuré à 30 cm de profondeur.

Le bloc avec goutte-à-goutte a été géré avec six sondes de type Watermark® SS200 placées à 25 et 15 cm de distance des goutteurs respectivement pour les sondes de surface (30 cm) et de profondeur (60 cm). Le seuil d'humidité critique a été fixé à 40 cbar jusqu'à fin juin, 60 cbar en juillet et août, puis ramené à 40 cbar jusqu'à la récolte.

Essai 2

L'essai comprenait quatre procédés d'irrigation, dont un géré manuellement et trois de manière automatisée (tabl. 1). Pour le témoin manuel (M1x), la dose jour-

Tableau 1 | Essai 2. Procédés expérimentaux et paramètres d'irrigation. Pour le procédé M (manuel), la fréquence est fixe et indépendante de l'humidité du sol. Pour les procédés A (automatiques), le déclenchement de chaque apport dépend de l'humidité du sol

Procédé	Fréquence journalière ¹	Seuil (cbar) ²	Quantité par apport (l/arbre)		Quantité journalière totale (l/arbre)	
			2010	2011	2010	2011
M1x	1	25–35	0,7–1,3	1,5–3,0	0,7–1,3	1,5–3,0
A2x	2	25	0,7–1,3	1,0–2,0	1,3–2,7	2,0–4,0
A4x	4	25	0,3–0,7	0,5–1,0	1,3–2,7	2,0–4,0
A8x	8	25	0,2–0,3	0,25–0,5	1,3–2,7	2,0–4,0

¹Nombre de déclenchements (pulses) programmés.

²Seuil de tension pour le déclenchement de l'irrigation dans les procédés automatisés.

nalière a été apportée en une seule fois, en réglant l'heure et la durée des apports sur un programmeur. Cette durée a été ajustée une fois par semaine, en fonction des tensions mesurées dans le sol par six sondes (3 à 30 cm de profondeur et à 25 cm du goutteur et trois à 60 cm de profondeur et à 15 cm du goutteur). Les données ont été enregistrées une fois par heure sur un datalogger de type Monitor 900M (Irrrometer, Riverside, Californie, Etats-Unis). Le seuil de modification de la dose journalière a été fixé à 25–30 cbar. Par principe, l'irrigation n'a pas été stoppée lors de pluies inférieures à 20 mm.

Pour les variantes automatisées, deux à huit apports ont été programmés à intervalle régulier entre 4 et 22 h. Pour suivre l'évolution saisonnière des besoins en eau des plantes, une modification de la durée des apports a été programmée début mai, fin mai et début juillet.

La figure 3 illustre le fonctionnement d'un secteur géré automatiquement. Un module autorise ou interdit le déclenchement des irrigations programmées (WEM-B, Irrrometer, Riverside, Californie, Etats-Unis) lorsque le sol est trop sec (valeur mesurée en cbar > seuil) ou trop humide (valeur mesurée en cbar < seuil). Le réglage du seuil, gradué de 1 à 9, correspond à des valeurs de 2 à 50 cbar. Pour les trois procédés automatisés, le seuil de 25 cbar a été choisi. La mesure d'humidité du sol est assurée par trois sondes de gestion $G_{1,3}$ placées à 30 cm de profondeur. Trois fois par heure, le statut ouvert/fermé imposé par l'appareil est remis à jour. Chacune des deux options possède une tension

électrique spécifique, qui permet de comptabiliser les signaux «ouvert» à l'heure où chaque irrigation a été programmée et ainsi de calculer la dose journalière pour chaque procédé. L'appareil n'étant pas équipé pour enregistrer la tension des trois sondes auxquelles il est relié, le même dispositif que dans la variante manuelle a été installé en parallèle dans les trois variantes automatisées (fig. 3, sondes $M_{1,3}$). Ainsi, il a été possible d'obtenir une courbe de tension et de vérifier que les valeurs restaient proches des seuils fixés sur le WEM-B.

Résultats et discussion

Quantités d'eau

Essai 1

Le tableau 2 montre que, de 2011 à 2013, les quantités utilisées ont été variables avec l'aspersion et plutôt constantes avec le goutte-à-goutte. Les apports par aspersion ont fluctué selon les seuils d'humidité durant toute la saison 2011 et jusqu'à fin juillet en 2012. Le tableau 3 montre que les irrigations déclenchées selon ce principe coïncident assez bien avec le déficit pluviométrique. En août-septembre 2012 et durant la saison

Tableau 2 | Essai 1. Quantités d'eau absolues et relatives de l'irrigation par aspersion et au goutte-à-goutte

Année	Quantité d'irrigation totale			
	Aspersion		Goutte-à-goutte	
	mm	%	mm	% ¹
2011	315	100	79	25
2012	191	100	69	38
2013	99	100	87	88

¹Quantité d'eau appliquée en % de l'aspersion.

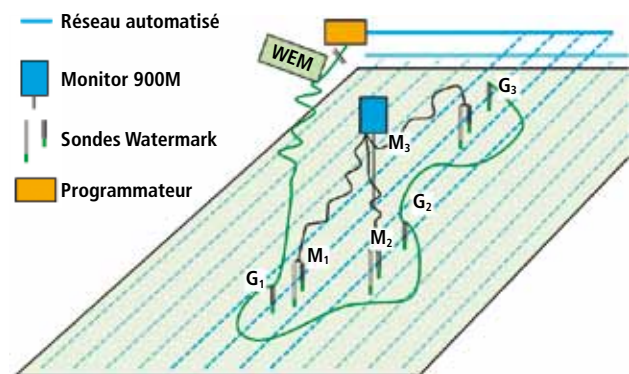


Figure 3 | Schéma d'un secteur d'irrigation automatisé. L'appareil recevant les données des trois sondes de gestion G_1 , G_2 et G_3 est relié au programmeur. Il suspend le programme d'irrigation aussi longtemps que la valeur moyenne des trois sondes reste inférieure au seuil fixé par l'opérateur (réglable de 2 à 50 cbar). Les trois sondes de mesure (M_1 , M_2 et M_3), reliées à un boîtier d'enregistrement, suivent l'évolution de l'humidité dans le sol.

Tableau 3 | Essai 1. Déficit hydrique calculé et part du déficit couvert par l'irrigation à fin juillet et en août-septembre

Année	Déficit hydrique			Déficit couvert par l'irrigation					
	au 31.07	du 1.08 au 5.09	Total	au 31.07		du 1.08 au 5.09		Total	
	mm	mm	mm	1%	2%	1%	2%	1%	2%
2011	176	109	285	88	12	147	52	111	26
2012	175	130	305	109	23	0	22	63	27
2013	110	136	246	37	48	43	21	40	35

¹Quantité d'eau appliquée en % du déficit hydrique pour l'aspersion.

²Quantité d'eau appliquée en % du déficit hydrique pour le goutte-à-goutte.

2013, le déclenchement des irrigations a été décidé par appréciation subjective et n'a couvert qu'une partie du déficit. Les quantités d'eau appliquées en 2012 et 2013 ont ainsi été sous-évaluées de 40 à 60 %.

L'économie d'eau réalisée avec le goutte-à-goutte par rapport à l'aspersion telle qu'elle aurait dû être appliquée se situe entre 75 (2011) et 65 % (2013), ce pourcentage diminuant logiquement avec l'augmentation de la surface foliaire de la culture.

Essai 2

L'essai proprement dit a débuté à la fin de juin 2010, après deux mois d'irrigation par aspersion destinés à favoriser une reprise homogène des arbres et de l'enherbement de l'interligne. Par la suite, la quantité d'eau distribuée au goutte-à-goutte sur deux des trois procédés automatisés diffère assez peu du témoin géré manuellement. Les différences de 50 et 30 % (en 2010 et 2011) enregistrées dans le procédé A4x s'expliquent surtout par l'hétérogénéité du sol de la parcelle. Dans les deux autres procédés, les écarts dans le cumul des deux années sont de -7 % et +8 % pour A2x et A8x et varient peu d'une année à l'autre.

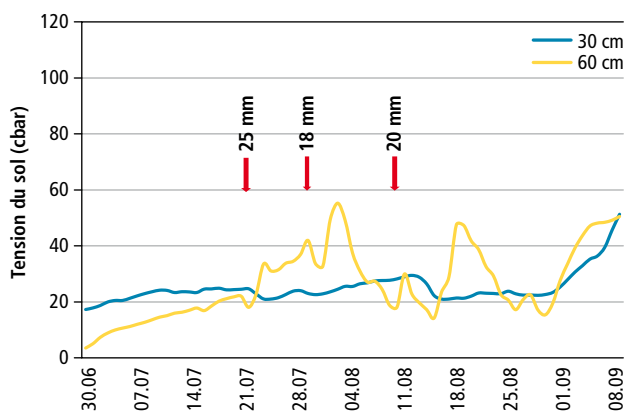


Figure 4 | Essai 2, 1^{re} année (2010). Evolution de l'humidité du sol dans la variante automatisée permettant jusqu'à huit irrigations/jour.

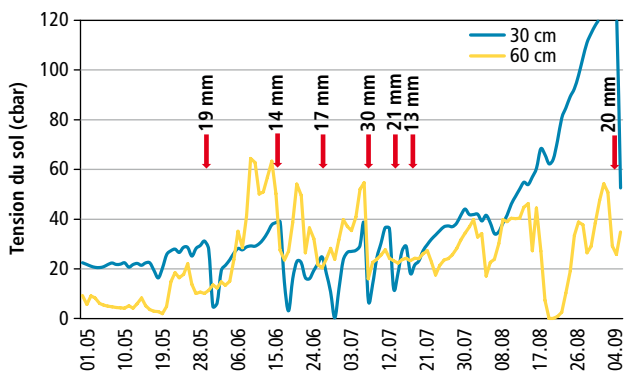


Figure 5 | Essai 2, 2^e année (2011). Evolution de l'humidité du sol dans la variante automatisée permettant jusqu'à huit irrigations/jour.

Les figures 4 et 5 illustrent l'évolution de l'humidité du sol en 2010 et 2011 pour le procédé A8x. Les irrigations ont été programmées de manière à ne pas dépasser un seuil de 25 cbar à 30 cm de profondeur jusqu'à fin août en 2010 et mi-août en 2011, puis progressivement restreintes dans tous les procédés pour favoriser l'aoûtement des rameaux. La figure 4 montre que la consigne d'irrigation de 25 cbar a été bien respectée en 2010, un peu moins en 2011 (fig. 5). Les sondes pour la gestion automatique de l'irrigation et celles pour l'enregistrement des données d'humidité n'étant pas installées exactement au même endroit, l'hétérogénéité du sol peut être à l'origine du décalage entre les pics mesurés à 30 cm de profondeur, qui atteignent 40 cbar au lieu des 25 cbar consignés en 2011. Ce décalage intervenait dans tous les procédés.

En moyenne, l'automatisme a bloqué l'irrigation durant 14 jours complets sur 73 en 2010 et 12 jours sur 133 en 2011. Les épisodes pluvieux expliquent plus des deux tiers des interruptions, qui sont généralement d'autant plus courtes que la dose journalière est fractionnée en petits apports. Ainsi, c'est dans le procédé A8x que les journées d'interruption sont les moins nombreuses et que la courbe d'humidité est la plus stable à 30 cm, mais aussi que les signes d'assèchement du sous-sol sont les plus visibles (fig. 5). Le bilan d'un fractionnement très poussé est mitigé en termes d'efficacité de l'eau: en limitant le front d'humectation à la couche superficielle du sol, il réduit les pertes par percolation mais favorise les pertes par évaporation (zone du goutteur constamment ré-humectée en surface).

Comparaison entre les deux essais

Seule la deuxième année de culture (2011) a permis de comparer les deux essais. Dans l'essai 1, les consignes d'irrigation des sondes situées à 30 cm de profondeur établissaient un seuil de tension à 40 cbar jusqu'à fin juin, puis à 60 cbar jusqu'à mi-août, pour revenir à 40 cbar jusqu'à la

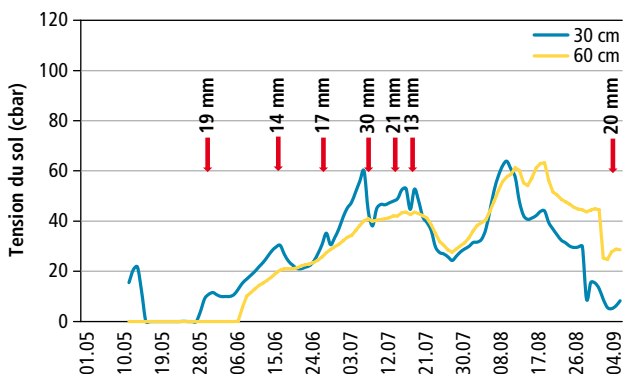


Figure 6 | Essai 1, 2^e année (2011). Evolution de l'humidité du sol dans la variante avec goutte-à-goutte.

récolte. La figure 6 présente l'évolution des tensions dans le sol à 30 et 60 cm et le bon respect de ces consignes.

La comparaison des apports d'eau dans les deux essais durant ces trois périodes montre que la quantité journalière d'irrigation (mm/jour) a été en moyenne deux fois moins importante dans l'essai 1 (tabl. 5). Cette différence provient en partie des caractéristiques de sol des deux parcelles car, dans l'essai 1, des apports journaliers très modestes au printemps ont pu maintenir une humidité du sol plus importante que dans l'essai 2. En revanche, durant l'été, cette différence est due à la stratégie de restriction décidée par le producteur: les tensions atteignent 50–60 cbar par moments en juillet et août dans l'essai 1 (fig. 6), mais ne dépassent pas 40 cbar dans l'essai 2, sauf à 60 cm de profondeur. Le retour aux valeurs plus basses (20–30 cbar) souhaitées dans l'essai 1 du 11.08 au 6.09 exige des volumes relativement importants mais, même dans ce cas, les apports journaliers restent inférieurs à ceux de l'essai 2.

Concernant les quantités journalières, la différence entre les deux essais doit être relativisée, car la saison 2011 a été marquée par six épisodes pluvieux de 15 à

30 mm entre fin mai et fin juillet. Compte tenu du développement réduit du verger, une partie des pluies jugée équivalente au taux de couverture de la culture (environ 25 %) a été retenue. Ainsi, pour les trois périodes, la consommation du verger de l'essai 1 est estimée à 60–65 % du verger de l'essai 2.

Développement végétatif et production de fruits

Essai 1

Malgré les apports inférieurs aux besoins en 2012 et 2013, le développement végétatif (m de pousses cumulées/arbre) des arbres irrigués par aspersion a dépassé ceux du goutte-à-goutte de 22 et 31 % respectivement. Pourtant, durant cette même période, le goutte-à-goutte se montrait plus productif de 54 % (tabl. 6). L'aspersion a en effet favorisé une part assez élevée de rameaux végétatifs longs, tandis qu'avec le goutte-à-goutte la pousse était surtout constituée de brindilles couronnées, de productivité plus élevée. Dans cette variante, l'irrigation légèrement déficitaire durant l'été et la charge élevée en fruits ont toutes deux mené à une vigueur modérée et à une productivité élevée, sans induire d'alternance et sans nuire à la qualité des fruits. >

Tableau 4 | Essai 2. Quantités d'eau utilisées par variante. Les valeurs relatives sont calculées d'après l'irrigation manuelle (M1x = 100 %)

Procédé	Seuil (cbar)	Quantité eau cumulée (mm)		Quantité eau cumulée (%)		Irrigation moyenne (l/jour/arbre)		Fréquence moyenne (nombre d'irrigations/jour)	
		2010 ¹	2011 ²	2010	2011	2010	2011	2010	2011
M1x	25–35	20	96	100	100	1,0	2,6	1,0	1,0
A2x	25	25	83	123	86	1,3	2,3	1,1	1,3
A4x	25	31	125	153	130	1,6	3,3	2,8	3,7
A8x	25	21	105	103	110	1,1	2,8	3,5	6,2

¹Nombre de jours d'observation en 2010: 73 jours (du 30.06 au 10.09).

²Nombre de jours d'observation en 2011: 133 jours (du 1.05 au 10.09).

Tableau 5 | Comparaison entre les deux essais pour l'année 2011 (2^e année de culture): quantités d'eau, coefficient cultural et tension mesurée dans le sol durant trois périodes de la saison

Essai	Indicateur	16.05–20.06	21.06–10.08	11.08–6.09
Essai 1 Châteauneuf	Irrigation journalière (mm)	0,32	0,27	0,55
	Litres/arbre (moyenne)	0,96	0,81	1,66
	I+P/Etp ¹	0,19	0,17	0,26
	Tension du sol à 30 cm (cbar) ²	12	39	30
Essai 2 Fougères	Irrigation journalière (mm)	0,63	0,80	0,79
	Litres/arbre (moyenne)	2,37	3,00	2,95
	I+P/Etp ¹	0,29	0,30	0,41
	Tension du sol à 30 cm (cbar) ²	24	28	84

¹Coefficient cultural mesuré a posteriori (= K_{opt}). Pour éviter une surestimation de la contribution des pluies à l'alimentation du verger, 25 % des précipitations ont été prises en compte, proportion jugée conforme au taux d'occupation de la culture. L'Etp de référence est calculée sur une période de trente ans (1978–2007).

²Valeur moyenne pour la période considérée.

Thalheimer et Paoli (2004) rapportent une réduction de la croissance végétative après une phase estivale d'irrigation déficitaire réglée au seuil de 50 cbar. Les résultats de l'essai 1 confirment l'hypothèse d'une forte dépendance de la croissance végétative du pommier vis-à-vis de l'humidité du sol.

Essai 2

Toutes les variantes ayant été éclaircies manuellement de manière similaire et plutôt sévère pour favoriser au maximum la croissance végétative, la production de fruits n'a pas été prise en compte. Le procédé A8x se démarque par une pousse annuelle cumulée significativement plus faible, avec un nombre et une longueur moyenne de rameaux annuels inférieurs aux autres procédés (tabl. 7). Ce résultat peut être mis en relation avec le fractionnement important de la ration journalière qui limite peu à peu la profondeur du front d'humectation et ainsi la réserve d'eau facilement utilisable.

Cependant, les différences de croissance végétative doivent être interprétées avec prudence car, entre les trois valeurs d'humidité mesurées dans chaque variante, l'écart peut dépasser 50 cbar durant l'été. Ainsi, l'hétérogénéité de la parcelle pourrait avoir joué un rôle plus important que le régime d'irrigation. Par ailleurs, la longueur des pousses et la section des troncs ne sont pas corrélées (tabl. 6) et les quantités d'eau apportées durant la période de forte contrainte climatique – qui coïncide avec un fort allongement des pousses – sont analogues dans les cinq variantes.

Ce constat ne met en cause ni la précision ni la fiabilité du système, mais incite à la prudence lors du choix des réglages. Pour favoriser la vigueur, le nombre de

déclenchements potentiels par jour devrait être suffisant pour répondre aux variations de la demande climatique, mais rester limité à 2–4 pour permettre au front d'humectation d'atteindre le sous-sol. Le seuil de déclenchement est aussi un facteur important, dont l'optimum dépend de l'espèce fruitière et de la période de la saison, mais également du type de sol (Thompson *et al.* 2007). La valeur de référence de 25–30 cbar utilisée ici est parfois considérée comme universelle, mais elle convient aux sols légers à moyens. Pour les sols sableux, la limite devrait plutôt être fixée à 15–20 cbar et, pour les sols argileux, à 35–45 cbar.

Conclusions

- Comparée à un système par aspersion, l'irrigation au goutte-à-goutte a permis d'économiser en moyenne 65 % d'eau entre la 2^e et la 4^e année dans un verger de pommiers situé en Valais central.
- Le goutte-à-goutte, géré de manière restrictive (seuil de 40–60 cbar), a limité la croissance végétative et, par la présence de plus de rameaux courts terminés par un bourgeon fructifère, a généré des récoltes de 54 % supérieures par rapport à l'aspersion.
- Grâce à un dispositif qui ajuste automatiquement le nombre d'apports journaliers à la demande hydrique, l'irrigation automatisée est optimale pour les jeunes vergers.
- Le système expérimenté s'est montré fiable durant les deux saisons d'essai. Pour une bonne efficacité, la fréquence maximale recommandée est de quatre apports par jour. ■

Tableau 6 | Essai 1. Rendement en fruits en 2012 et 2013

Système d'irrigation	Rendement 3 ^e année (T/ha)		Rendement en 4 ^e année (T/ha)		Total en %
	Fruits de table	Fruits d'industrie	Fruits de table	Fruits d'industrie	
Aspersion	19,2	1,0	19,2	2,0	100
Goutte-à-goutte	25,5	1,3	32,8	4,0	154

Tableau 7 | Développement végétatif moyen de chaque variante en fin de 2^e année (2011)

Procédé	Section du tronc (cm ²) ¹	Longueur totale de la pousse annuelle/arbre (m) ¹	Nombre de pousses/arbre ¹	Longueur moyenne des pousses (cm) ¹
Manu 1X	7,9 A	4,8 AB	19,2 A	25,6 A
Auto 2X	8,3 A	5,4 A	21,4 A	25,8 A
Auto 4X	8,6 A	4,8 AB	20,3 A	24,8 A
Auto 8X	8,9 A	4,3 B	17,9 A	24,1 A

Remarque: n'ont été prises en compte que les pousses d'une longueur > 4 cm.

¹Les valeurs suivies de lettres différentes indiquent des différences significatives entre variantes d'irrigation (Newman-Keuls, P < 0,05).

Summary**Optimisation of the irrigation management in young apple orchards**

The first of two experiments aimed to optimise the irrigation in young orchards and compared the overhead irrigation with drip irrigation on the cultivar Golden Orange with a threshold value for watering of 40 to 60 cbar at 30 cm soil depth. In the second experiment, the drip irrigation was automated and different irrigation frequencies per day were tested on cv. Braeburn with a threshold for irrigation of 25 cbar measured at 30 cm soil depth. In the first experiment, the drip irrigation increased the fruit yield by 54 % while water savings reached 65 to 75 % in comparison with the overhead irrigation. The second experiment showed that the automation of irrigation promotes the vigor of the young trees. In conclusion, drip irrigation permitted significant water savings and automation allowed to optimally adapt the watering to the needs of the crop. Under the experimental conditions, 2–4 automated water applications per day responded perfectly to the fluctuation of daily plant water demand.

Key words: apple, overhead irrigation, drip irrigation, automated irrigation system.

Zusammenfassung**Optimierung der Bewässerung in jungen Apfelanlagen**

Der erste von zwei Versuchen zur Optimierung der Bewässerung in jungen Apfelanlagen verglich die Überkopfbewässerung mit der Tropfbewässerung auf der Sorte Golden Orange unter Berücksichtigung des Schwellenwertes für die Bewässerung bei 40 bis 60 cbar in 30 cm Bodentiefe. Im 2. Versuch wurde die Tropfbewässerung automatisiert und dabei unterschiedliche Bewässerungsfrequenzen pro Tag auf der Sorte Braeburn getestet, wobei der Schwellenwert für die Bewässerung bei 25 cbar in 30 cm Tiefe lag. Im 1. Versuch hat die Tropfbewässerung den Fruchtertrag aber um 54 % erhöht und Wassereinsparungen von 65 bis 75 % ermöglicht im Vergleich zur Überkopfberegnung. In 2. Versuch wurde gezeigt, dass die Automatisierung der Bewässerung die Wuchskraft der jungen Bäume fördert. Die Tropfbewässerung lässt also bedeutende Wassereinsparungen zu und die Automatisierung ermöglicht es die Wassergaben optimal an den Bedarf der Kultur anzupassen. Unter den Versuchsbedingungen scheinen 2–4 automatisierte Wassergaben pro Tag ideal zu sein, um dem wechselnden Bedarf einer jungen Obstanlage gerecht zu werden.

Riassunto**Ottimizzare l'irrigazione dei giovani frutteti**

La prima delle due prove incentrate sull'irrigazione di giovani frutteti di melo, confrontava l'aspersione e il goccia a goccia sulla varietà Golden Orange in un frutteto ad alta densità con una soglia per l'irrigazione di 40–60 cbar alle 30 cm di profondità. La seconda prova testava il goccia a goccia automatico con 4 frequenze d'irrigazione e una soglia di 25 cbar a 30 cm di profondità sulla varietà Braeburn coltivata in un frutteto standard. Nella prova 1 il goccia a goccia ha leggermente ridotto il vigore rispetto all'aspersione, aumentato del 54 % la resa in frutti e permesso, a dipendenza dell'anno, di raggiungere un risparmio idrico del 65–75 %. Nella prova 2, l'automatizzazione si è rivelata interessante per il vigore dei giovane alberi. Alle nostre condizioni 2–4 apporti quotidiani automatizzati erano ottimi per rispondere alle fluttuazioni della richiesta del frutteto.

Bibliographie

- Agri-environmental indicator – irrigation 2012, Eurostat, European commission. Accès: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_irrigation. [10.04.2014].
- Ayars J. E., Phene C. J., Hutmacher R. B., Davisa K. R., Schoneman R. A., Vail S. S. & Mead R. M., 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agricultural Water Management* 42, 1–27.
- Irrigation water requirement and water withdrawal by country, Aquastat, FAO. Accès: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use_agr/print1.stm [10.04.2014].
- Postel S., 2012. Drip Irrigation Expanding Worldwide. National Geographic. Accès: <http://newswatch.nationalgeographic.com/2012/06/25/drip-irrigation-expanding-worldwide/> [10.04.2014].
- Thalheimer M. & Paoli N., 2004. Zur Bewässerung in Obstbau. *Obstbau Weinbau* 5, 162–165.
- Thompson R. B., Gallardo M., Valdez L. C. & Fernandez M. C., 2007. Using plant water status to define threshold values for irrigation management of vegetable crops using soil moisture sensors. *Agricultural Water Management* 88, 147–158.