

# La micro-irrigation dans le monde

M. Decroix

# ▶ To cite this version:

M. Decroix. La micro-irrigation dans le monde. Cemagref Editions, pp.208, 1988, 2-85362-134-0. hal-02576866

# HAL Id: hal-02576866

https://hal.inrae.fr/hal-02576866

Submitted on 24 May 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

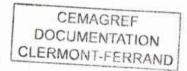
# La micro-irrigation dans le monde

PUB0000 3666



Marc DECROIX





# **Marc DECROIX**

# La micro-irrigation dans le monde





CENTRE NATIONAL DU MACHINISME AGRICOLE DU GÉNIE RURAL DES EAUX ET DES FORĒTS GT D'AIX-EN-PROVENCE Le Tholonet, B.P. 31 13612 Aix-en-Provence Cedex 1 Tél: 4266 93 10 Télécopie: 4266 9865

# Chez le même éditeur

Entretien des réseaux en micro-irrigation - 1988 - 1re édition. J.-C.CHOSSAT. CEMAGREF - Bordeaux - 17 x 24, 92 pages - Prix: 120, 00 F TTC Franco

Irrigation localisée, choix et utilisation des équipements de micro-irrigation. Publication du RNED, Réseau National d'Expérimentation et de Démonstration Secteur Hydraulique Agricole - Déléqué de secteur : L. RIEUL (CEMAGREF Montpellier) 1988 - 52 pages - 29 x 29,7 sous chemise de 4 fascicule - Prix : 90, 00 F TTC Franco - Elements de choix du matériel - Nombreuses illustrations.

"La micro-irrigation dans le monde" 1988 - 1re édition - ISBN 2-85362-134-0 - Dépôt légal 1er trimestre 1989 - Composition : C. Rosa CEMAGREF Aix-en-Provence - Impression intérieure CEMAGREF-DICOVA - Impression couverture et façonnage : imprimerie Boudet, 61300 L'Aigle - Diffusion aux librairies : Techniques et Documentation - Lavoisier - Paris - Editeur : CEMAGREF-DICOVA BP22 92162 Antony Cedex - Prix: 240, 00 F TTC Franco.

> Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés. réservés pour tous pays.

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproduction strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective» et, d'autre par, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une

contrefacon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Le CEMAGREF est un organisme de recherches dans les domaines de l'eau, de l'équipement pour l'agriculture et l'agroalimentaire, de l'aménagement et de la mise en valeur du milieu rural et des ressources naturelles.

En contact permanent avec les agents économiques et les collectivités, il cherche à constituer des outils mieux adaptés dans différents secteurs d'activités :

- ~ eau
- risques naturels et technologiques
- montagne et zones défavorisées
- forêts
- machinisme agricole
- équipement des industries agroalimentaires
- production et économie agricoles.

Le CEMAGREF est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique sous la tutelle des ministères de la Recherche et de l'Agriculture. Il emploie 970 agents dont 420 scientifiques répartis en 10 groupements :

Aix-en-Provence, Antony, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Grenoble, Lyon, Montpellier, Nogent-sur-Vernisson, Outre-Mer (La Martinique), Rennes.

Son budget annuel consolidé est de 280 M. F.



# - SOMMAIRE

INTRODUCTION	9
1. Mode d'utilisation des rampes	. 23
2. Conception et conduite de la micro-irrigation	51
2. conception of conduite de la fillero intigations :	
3. Influence des facteurs eau et sol	. 87
4. Le point sur les matériels et les réseaux	-113
5. Utilisation des matériels et des réseaux	139
6. Pour et contre la micro-irrigation	161
7. Importance de la micro-irrigation sur	
le plan mondial	175
CONCLUSION	185
	£
ANNEXES	193

# LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

TABI	EAUX	Pages								
I.	Classement des communications en fonction de la culture	20								
II.										
III.	II. Valeurs du rapport I/ETM, du déficit relatif d'évapotranspiration (ETM-ETR)/ETM et du rendement de l'irrigation à la parcelle Rp en fonction :									
11	<ul> <li>du pourcentage de plantes irriguées à 100 %</li> <li>du coefficient (global) de variation du débi des distributeurs (CV)</li> </ul>	(p) t								
IV. V.	Choix du type de filtration Tableau comparatif 1981-1986 des superficies	101								
٧.	irriguées en micro-irrigation	208								
CIII	Enquête sur la micro-irrigation fin 1986									
VI.	Situation détaillée par pays et par type de culture	178 et 179								
VII.	Tendances observées	180 et 181								
	es des communications présentées aux Congrès Inte onaux sur la micro-irrigation	r-								
VIII	.Congrès de Fresno (Californie) novembre 1985	197 à 201								
IX.	Conférence Table ronde de Budapest (Hongrie) septembre 1986	204 et 205								
FIGU	RES									
2. 0	es trois systèmes de micro-irrigation Comparaison économique de 4 systèmes d'irrigation en prix de revient total, par ha et par an, en	18 25								
3. F	conction de la surface de la parcelle irriguée Rendement du coton en tonnes/ha en fonction de la	58								
4. 9	lose d'arrosage Système racinaire induit par 5 systèmes	78								
5. F	l'irrigation différents Répartition du sel dans le sol en fonction du	89								
6. F	rystème d'irrigation utilisé Répartition dans le sol du sel et des racines et M.S. totale dans le cas d'apports d'eau généralisés ou localisés et de diverses valeurs de rationnement par rapport à Ebac, sur culture de piment	92 et 93								
7. 1	crigation localisée de jeunes pommiers en sol argileux	108 et 109								
8. 5	Schéma du système américain de micro-irrigation par "bubblers" basse pression	192								

## **PREAMBULE**

L'année 1986 m'a paru particulièrement propice pour tenter de faire le point au plan mondial sur une méthode d'irrigation récente, puisqu'apparue dans les années 60-70, encore en pleine évolution, et dont on ne connaît habituellement que l'une des techniques, la plus répandue, qui est l'irrigation goutte à goutte.

En effet, il y a eu concomitance de divers éléments d'informations :

- -Sur le plan de la recherche et de la connaissance générale de la méthode, 2 congrès internationaux se sont tenus coup sur coup sur ce thème :
- .l'un dans le monde occidental, en novembre 1985, à Fresno (Californie, E.U.),
- . l'autre dans le monde communiste, en septembre 1986, à Budapest (Hongrie).
- L'analyse des quelques 200 communications présentées permet de faire le tour de la question, en fonction des caractéristiques diverses des pays participants.
- -Sur le plan des surfaces équipées, des cultures concernées, des avantages et des difficultés rencontrées, les enquêtes réalisées en 1981, puis en 1986, par le groupe de travail sur la micro-irrigation de la CIID\* qui regroupe la plupart des pays du monde qui pratiquent l'irrigation, permettent de quantifier l'importance qu'a prise, suivant les pays, ce nouveau mode d'irrigation.

Malgré quelques lacunes, les 2 évaluations, réalisées à 5 ans d'intervalle, des superficies et cultures concernées, permettent de constater l'évolution survenue dans la pratique de la micro-irrigation et de dégager les principaux problèmes rencontrés comme les tendances observées.

Marc DECROIX
Ingénieur en chef du Génie Rural
des Eaux et des Forêts
Chargé de missions de coordination
technique en matière d'irrigation

<sup>\*</sup> Commission Internationale des Irrigations et du Drainage



# **INTRODUCTION**



A. Rappel de la definition de la micro-irrigation	13
B. Principales caractéristiques des divers systèmes de micro-irrigation	15
B1 - Système goutte-à-goutte	15
B2 - Système utilisant des mini-diffuseurs .	16
B3 - Système utilisant des ajutages	16
C. Choix d'une méthode d'analyse et de présentation des principaux résultats acquis	17

# INTRODUCTION

On constate au niveau mondial un intérêt croissant vis-à-vis des techniques d'irrigation récentes (décennie 1960-1970), regroupées sous le nom de micro-irrigation (CIID 1976) ou d'irrigation localisée (OAA (a) 1979):

- -sur le plan du nombre des pays intéressés. Ces techniques ne se limitent plus à quelques pays technologiquement plus avancés, mais s'étendent maintenant à la plupart des pays du monde, qu'ils soient affectés par des sécheresses absolues, régulières et prolongées (pays arides) ou simplement par des sécheresses limitées, aléatoires et de courte durée (pays tempérés). Même les pays les plus arrosés doivent y recourir pour leurs cultures protégées (contre le froid ou la violence des précipitations pour certaines cultures fragiles) qui sont, par définition, soustraites aux précipitations naturelles.
- -sur le plan de l'importance des surfaces équipées. La progression se poursuit, non seulement du fait de l'extension à de nouveaux pays, mais surtout par le développement dans les pays les plus anciennement équipés. Un ralentissement (relatif) semble toutefois se faire sentir en Israël, qui a été le pays pionnier dans ce domaine, et où une forte proportion des terres irriguées l'est déjà avec cette nouvelle méthode.

De 1981 à 1986, les surfaces ont plus que doublé, dépassant à présent I million d'hectares, soit plus de 0,5 % de la superficie mondiale irriguée (sans compter les pays qui n'ont pas répondu au questionnaire de la CIID).

-sur le plan de la recherche, le sujet suscite des travaux de plus en plus nombreux :

. 24	rapports	au ler	congrès	international	:	1971	-	Tel Aviv
. 89	id	2e	id		:	1974	-	San Diego
. 156	id	3e	id					Fresno
. +47		à la co	nférence	internationale	:	1986	-	Budapest

Rappelons qu'au Congrès américain de Lincoln (Nebraska) en octobre 1980 sur "L'irrigation aux USA - Les défis des années 80"(b), l'irrigation de surface a fait l'objet d'un rapport de 8 pages (plus 14 références bibliographiques), l'aspersion de 8 pages également, et la micro-irrigation de 20 pages (plus 98 références bibliographiques).

<sup>(</sup>a) Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (ou FAO)

<sup>(</sup>b) voir étude CEMAGREF n° 503 de septembre 1983.

Quelle est la cause de cette évolution? Les raisons invoquées, par les chercheurs ou les praticiens, sont très diverses mais relèvent des considérations suivantes, qui résultent de l'avantage essentiel de la méthode qui est la localisation de l'eau (et des engrais) à proximité immédiate des plantes, dans la partie la plus active de leur système racinaire:

- Son efficacité agronomique (amélioration des rendements culturaux, augmentation de la vigueur et de la précocité) due à une meilleure uniformité des apports, à une meilleure satisfaction des besoins optimaux (et non maximaux) des cultures, à chaque stade de leur cycle végétatif, grâce à une modulation plus précise des arrosages en fréquence et en dose, qui permet une grande maîtrise du niveau d'alimentation en eau. N'oublions pas que, dans la plupart des cultures, l'induction florale est déclenchée par un certain niveau de rationnement en eau, c'est-à-dire de stress hydrique (suivant la terminologie anglo-saxonne).

Cette efficacité, appréciable dans les conditions normales de culture, se montre encore plus étonnante quand les conditions du milieu (sol et eau) sont marginales pour les autres méthodes, voire impossibles, ce qui excluait jusqu'ici l'utilisation de certains sols (trop ou trop peu perméables) ou de certaines eaux (salées par exemple).

- Son économie vis-à-vis des moyens mis en oeuvre au niveau de la parcelle : l'eau d'abord (augmentation de l'efficience c'est-à-dire du résultat supplémentaire obtenu, en quantité ou en valeur de récolte, par m³ d'eau utilisé) mais aussi la main-d'oeuvre (pas de déplacement de matériel, mais nécessité d'automatiser la commande des arrosages), l'énergie (par rapport à l'aspersion).

Il en résulte aussi une réduction appréciable de tous les investissements en amont de la parcelle (stockage, réseau d'amenée et de distribution aux parcelles). Or en agriculture les moyens se raréfient, que ce soit l'eau, l'énergie, la main-d'oeuvre ou les capitaux.

- Ses facilités d'automatisation (indépendance de l'irrigation par rapport aux autres techniques culturales), qui font :
  - que les arrosages n'apportent aucune gêne notamment en période de cueillette des fruits, ce qui permet d'apporter toute l'eau dont les plantes ont besoin, ce qui est loin d'être le cas avec les autres méthodes,
  - que l'on peut apporter de très petites doses, souvent utiles lors de la germination ou de la reprise des plants repiqués,
  - que la structure des sols en surface est conservée, surtout dans les interlignes secs où se font les circulations.

Il résulte, de ces avantages ou commodités, une amélioration, non seulement du rendement de la main-d'oeuvre agricole, mais aussi de ce que d'aucuns appellent son "confort" (qui n'est en fait qu'une réduction de la pénibilité du travail agricole).

- Enfin -"last but not least"- sa polyvalence, que les Anglo-Saxons appellent "versatility", qui permet son utilisation dans les situations les plus variées :
  - Quelle que soit la culture, pérenne ou annuelle, sauf peut-être les pelouses et les céréales d'hiver type blé. Voir cependant l'exemple de la Chine (Fresno J.5) qui, avec une rampe mobile bon marché déplacée à la main, arrive à faire des arrosages d'appoint sur blé.
  - . Quel que soit le sol, ses caractéristiques hydrodynamiques ou son relief (c'est la seule méthode possible en sols très pentus). Cette souplesse ajoutée à sa sobriété augmente considérablement les surfaces potentielles à irriguer dans les régions à relief difficile, qu'il s'agisse de cultures vivrières (arbres fruitiers ou fourragers) ou

de plantations forestières, les unes et les autres ouvrant à l'humanité l'espoir d'une D.R.S.\* plus efficace et d'une exploitation plus rentable des régions accidentées, même en sols minces ou dégradés ("bad lands").

• Quelle que soit la qualité de l'eau, sa température, sa teneur en sels ou les germes que contient l'eau usée des agglomérations. Or les eaux salées ou simplement saumâtres ne sont pratiquement pas utilisées jusqu'ici par les méthodes classiques, et les eaux usées deviennent peu à peu, dans les régions arides, les seules ressources qui, avec les eaux salées, restent facilement disponibles pour l'agriculture.

Cette polyvalence résulte du mode de localisation de l'eau que l'on obtient en utilisant l'un ou l'autre des 3 grands systèmes de micro-irrigation caractérisés par leurs "distributeurs" : goutteurs, minidiffuseurs (ou mini-asperseurs), ajutages. Chacun de ces systèmes, surtout le goutte à goutte, présente de nombreux types adaptés à telle ou telle situation particulière.

# Mais il y a le revers de la médaille

- D'abord la nécessité de choisir (et d'utiliser correctement) le matériel le mieux adapté à des caractéristiques agro-pédo-climatiques mieux définies que dans le cas des méthodes traditionnelles. Plus que ces dernières, la micro-irrigation exige du "sur mesure" dans la conception et l'exécution du réseau à la parcelle, et de la précision dans la conduite des arrosages.
- Si l'on commet des erreurs, on tombe plus facilement dans la sous ou la sur-irrigation, en perdant alors certains avantages potentiels de la méthode.
- -Par ailleurs, le "conditionnement" préalable de l'eau (filtration, traitement, injection d'engrais) est plus délicat, la maintenance du réseau plus indispensable, bien que moins évidente.
- -Enfin le pilotage doit être d'autant plus attentif que l'on souhaite, parce que la méthode le permet, se rapprocher des conditions optimales, qui conduiront au rendement économique maximal.

On se trouve dans une situation analogue à l'automobile où il ne suffit pas de disposer d'une voiture de course, aussi perfectionnée soit-elle. Encore faut-il savoir se servir au mieux des capacités du matériel, et pour cela en connaître parfaitement les conditions d'emploi. Certes, des dispositifs automatiques facilitent la conduite, mais il faut savoir les régler en fonction des conditions particulières du parcours, en contrôler le bon fonctionnement, et, en cas de panne, savoir, ou les réparer, ou les remplacer momentanément par un pilotage manuel.

La micro-irrigation est un peu la "formule 1" de l'irrigation. Nous verrons cependant qu'il en existe des versions simplifiées, moins performantes peut-être, mais plus adaptées au conducteur moyen que représente, par exemple, l'agriculteur des pays en développement, pour peu qu'il soit observateur et reçoive une formation minimale.

<sup>\*</sup> La D.R.S., Défense et Restauration des Sols (en montagne surtout), regroupe l'ensemble des techniques de lutte contre l'érosion, qui stérilise les sols en pente et accélère le remplissage des barrages-réservoirs avec les matériaux solides arrachés à leurs bassins versants.

L'existence de plusieurs systèmes, simples ou plus sophistiqués, est un autre aspect de la polyvalence de la méthode, qui ne doit plus demeurer l'apanage des nations ou des individus les plus évolués (techniquement) mais qui doit aussi pouvoir aider les régions plus défavorisées par la nature, comme le Sahel ou le Nordeste\* du Brésil, par exemple. à tirer un meilleur parti de leurs ressources en terres et en eaux.

Après un rappel de la définition de la micro-irrigation, telle que je l'avais proposée, et telle qu'elle a été adoptée par le Conseil Exécutif International de la CIID dans sa réunion de Téhéran en 1976, les principales caractéristiques de chacun des trois grands systèmes qu'elle représente seront examinées.

Enfin sera exposée la méthodologie choisie pour l'analyse des informations contenues dans les diverses sources disponibles (enquêtes mondiales auprès des Comités nationaux de la CIID, communications aux 2 Congrès Internationaux de Fresno et Budapest), ainsi que pour une présentation synthétique et critique des principaux résultats acquis.

# A. RAPPEL DE LA DEFINITION DE LA MICRO-IRRIGATION (CIID, 1976)

La micro-irrigation est une méthode qui regroupe plusieurs systèmes de distribution à la parcelle, caractérisés par des apports d'eau faibles et fréquents sur une partie seulement de la surface (ou du volume dans le cas d'irrigation souterraine), située à proximité immédiate des plantes, isolées ou en rangs. La distribution de l'eau se fait sous pression au moyen de rampes en polyéthylène alimentées par des porte-rampes, en un ou plusieurs postes. Il en résulte :

- -qu'un certain volume de sol est maintenu à un niveau d'humidité voisin de la
- capacité au champ, tout en laissant sèche une grande partie de la surface.
  -que, dans le sol, l'eau diffuse latéralement à partir des zones humidifiées directement (et non plus seulement de façon verticale comme en aspersion).
- -que la répartition spatiale des rampes et des organes de distribution de l'eau qu'elles portent (distributeurs ou orifices de sortie des gaines) dépend étroitement du dispositif cultural (écartement des rangs x espacement des plantes sur les rangs).

La localisation de l'eau se fait, en surface (voir fig. 1 p. 18):

- -par points quand les distributeurs sont des goutteurs (ou de simples orifices). Il s'agit alors du système goutte à goutte.
- -par petites surfaces recevant l'eau directement sous forme de gouttelettes, projetées en l'air quand les distributeurs sont des mini-diffuseurs (à jet fixe) ou des mini-asperseurs (à jet tournant).
- -par lignes quand les distributeurs sont des ajutages\*\* (procédé Bas-Rhône).

<sup>\*</sup> voir le compte rendu d'une mission effectuée dans le Nordeste en novembre 1985 à la demande de la mission française auprès de la SUDENE (Surintendance pour le Développement du Nord Este) à Recife, dans le cadre du projet T.A.P.I. (Technologies Appropriées à la Petite Irrigation).

<sup>\*\*</sup> Les "bubblers" sont des ajutages à gros débit utilisés depuis longtemps aux Etats-Unis, en irrigation d'espaces verts par aspersion, pour apporter un complément d'eau au pied des plantes particulièrement avides d'eau. Dans ce procédé, repris en micro-irrigation de vergers, l'eau est stockée temporairement dans 1 ou 2 bassins circulaires creusés dans le sol au pied des arbres, au lieu de l'être dans une rigole cloisonnée en biefs dans le procédé Bas-Rhône.

# Il y a donc 2 aspects principaux:

- -L'aspect localisation. La nouvelle méthode s'oppose aux arrosages non localisés, massifs et espacés que l'on devait pratiquer en irrigation de surface ou en irrigation par aspersion du fait des servitudes représentées par la mise en oeuvre des arrosages (guidage de l'eau en irrigation de surface, d'où l'utilité sinon la nécessité d'une présence permanente de l'irrigant, déplacement manuel ou mécanique du matériel d'arrosage en irrigation par aspersion). On cherchait donc à réduire le nombre d'arrosages en remplissant, aussi complètement que possible, la réserve utile de l'ensemble du volume de sol de la parcelle. Au lieu d'irriguer le sol, la micro-irrigation irrigue les cultures qu'il porte, d'où la localisation des apports d'eau aux endroits où ils seront le mieux utilisés par les plantes.
- -L'aspect "micro". Elle s'y oppose aussi par la réduction des débits unitaires utilisés, qui sont exprimés en litres/heure, et non en mètres-cubes/heure comme en aspersion (1 000 fois plus) ou en litres/seconde comme en irrigation de surface (3 600 fois plus). De plus, il y a réduction du débit/hectare nécessaire pour arroser un poste donné, ou de la pluviométrie (fictive naturellement puisqu'elle est supposée uniformément répartie sur toute la surface alors qu'elle est en fait localisée sur une partie de celle-ci). Suivant la nature du sol et de la culture, cette pluviométrie peut varier de moins de 1 mm/heure (en cultures fruitières) à quelques mm/heure (en cultures maraichères), alors qu'en aspersion il est dificile, même en aspersion moyenne pression, de réduire en dessous de 5 mm/heure la pluviométrie moyenne apportée. C'est donc une "irrigation lente" (terme proposé par SOGREAH), où l'on peut, avec un débit donné, irriguer une surface plus grande que dans les 2 autres méthodes.

La réduction des doses entraîne une plus grande fréquence des apports, en moyenne journaliers (d'où le nom de "daily-flow irrigation" proposé par les Australiens), qui deviennent, à la limite, quasi-continus (d'où le nom "d'irrigation diuturnale" proposée par le professeur Celestre de Pise).

Son insensibilité au vent (pour les goutteurs et les ajutages tout au moins), permet d'ailleurs d'irriguer efficacement à toute heure du jour ou de la nuit, c'est-à-dire 24 heures sur 24. Le débit nécessaire, même en période de pointe des besoins, n'est donc guère différent, à condition d'irriguer successivement les divers postes d'arrosage entre lesquelles chaque parcelle (ou exploitation) est divisée, du débit fictif continu en période de pointe, ce qui permet de réduire sensiblement le dimensionnement, donc le coût, des ouvrages d'amenée et de distribution, en particulier dans les réseaux collectifs. L'économie réalisée à l'amont de la parcelle peut donc être sensible.

Il paraît plutôt indiqué d'apporter l'eau en micro-irrigation au moment même de la pointe journalière d'évapotranspiration. Lorsqu'une exploitation pratique à la fois l'aspersion et la micro-irrigation, l'irrigant doit donc, de préférence, irriguer par aspersion la nuit (moins de vent) et par micro-irrigation le jour (meilleure efficacité des apports).

Comme l'aspersion, la micro-irrigation se pratique sans qu'il soit nécessaire de réaliser un nivellement de la surface du sol. Elle est même beaucoup plus efficace que l'aspersion dans l'irrigation des terrains fortement en pente.

Elle se contente par ailleurs de pressions plus modestes que l'aspersion, qui peuvent se réduire à quelques mètres ou même moins quand la topographie est régulière. Ceci permet, par une micro-irrigation basse pression, d'éviter certains pompages, ou repompages, indispensables en aspersion. Cette modicité, jointe à la réduction des pertes, enregistrées en irrigation de surface (percolation et/ou colature) ou en irrigation par aspersion (évaporation des gouttes lors de leur trajectoire dans l'air, ou dépôt de celles-ci sur les feuilles), en fait la technique de choix en irrigation par

pompage photovoltaîque, surtout qu'il est alors possible, grâce à une accumulation temporaire de l'eau dans un petit réservoir (par ex. fût de 200 l muni d'un dispositif automatique de vidange rapide), de supprimer toute construction coûteuse de réserve importante, puisque l'irrigation se trouve réalisée "au fil du soleil".

# B. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES DES DIVERS SYSTEMES DE MICRO-IRRIGATION

# B.1. Système goutte à goutte

Il utilise des débits très faibles (1 à 8 l/h mais surtout 2 l/h en cultures serrées et 4 l/h en cultures plus espacées, type verger). Ces débits sont émis, soit par des rampes portant des goutteurs individualisés, soit par des gaines (en principe aplatissables) percées de simples orifices ou comportant, lors de leur fabrication, des circuits générateurs de pertes de charge. Il existe de nombreux types de goutteurs (autorégulants ou non, en ligne, en dérivation ou intégrés dans la rampe, à 1 ou plusieurs sorties, pourvus ou non, à l'amont ou à l'aval, de "tubes conducteurs" d'un diamètre de quelques millimètres permettant de conduire le débit à quelque distance de la rampe, ou à la surface d'un conteneur\*.

# En complément, on peut signaler

- que la position des rampes peut être très variée: sur le sol, accrochée à un fil de palissage, dans le feuillage (signalé dans l'enquête mondiale par l'Italie, qui utilise, en Sicile notamment, des mini-diffuseurs (sprayers) portés par une rampe dérivée de la rampe principale au niveau de chaque arbre), enfin en dessous de la surface du sol, soit légèrement enterrée pour éviter les dilatations jour-nuit et les précipitations de C03Ca favorisées par les variations de température, soit enterrée plus profondément pour la protéger totalement des façons aratoires dans le cas notamment de cultures annuelles successives (coton ou cultures légumières essais aux E.U. et en Israël).
- que le système goutte à goutte est plus polyvalent et plus efficace que les autres mais aussi beaucoup plus délicat si la qualité de l'eau n'est pas parfaite. Les risques d'obstruction sont grands sur les plans physique, chimique, biologique (souvent interaction des trois) et leur prévention a entraîné le perfectionnement technologique des appareils de filtration et de traitement chimique. Par ailleurs, il a permis le développement de l'injection de produits chimiques divers (chimigation), qu'il s'agisse d'engrais, d'insecticides, de fongicides, de nématicides (pesticides systémiques) ou tout simplement de produits destinés à prévenir ou guérir certaines obstructions chimiques (acides) ou biologiques (eau de javel).

Les autres systèmes que le goutte à goutte sont moins polyvalents (surtout cultures arbustives), moins économes en eau (davantage de pertes du fait de l'évaporation ou de la croissance des adventices), mais beaucoup plus rustiques et de conduite moins délicate. Ils utilisent, soit de petits appareils d'aspersion appelés minidiffuseurs, soit de simples orifices calibrés appelés ajutages.

<sup>\*</sup> de l'anglais "container". Gros pot utilisé par les pépiniéristes pour "élever" des plantes pérennes arbustives pendant une ou plusieurs années.

# B.2. Système utilisant des mini-diffuseurs

- Leur rusticité explique la progression des mini-diffuseurs (ou des mini-asperseurs) par rapport aux goutteurs en arboriculture, même dans les pays les plus développés. Il faut aussi considérer que, dans certains sols, de texture trop grossière, ou trop fine et présentant à la dessication des fentes de retrait (sols argileux de type Montmorillonite), le goutte à goutte se comporte moins bien que la mini-diffusion.

Mais, tels qu'ils sont utilisés en France, c'est-à-dire avec des débits de l'ordre de 20 l/h, les mini-diffuseurs ont des sections de passage souvent inférieures à celles des goutteurs (à circuit long à chicanes), et la filtration reste pratiquement aussi complexe. Il faudrait doubler au moins les débits, ce qui entraînerait des diamètres de rampe plus importants, mais permettrait de simplifier réellement la filtration. Par ailleurs, les minidiffuseurs à cages munis de fentes servent souvent d'abris à de petites araignées, dont les toiles créent à la sortie de ces distributeurs une nouvelle cause d'obstruction.

Il convient donc de revenir aux diffuseurs initiaux (Afrique du Sud 1972) avec une plaque brise-jet libre, soit plate pour obtenir une répartition de l'eau sur toute la surface intéressée, soit rainurée pour obtenir une concentration de l'eau en un certain nombre de jets fixes localisant l'eau sur le sol en taches de dimension réduite. La lère solution est plus logique car l'eau est mieux répartie, la 2ème solution moins sensible au vent.

# B.3 Système utilisant des ajutages

Les ajutages sont encore plus rustiques que les mini-diffuseurs du point de vue de leur utilisation.

Ce sont, soit des orifices calibrés de façon précise, choisis dans une large gamme de diamètres, pour le procédé Bas-Rhône (1,1 à 2,1 mm), avec bagues brise-jet permettant de localiser l'eau dans une rigole triangulaire cloisonnée en biefs, soit des "bubblers" américains. Le procédé Bas-Rhône a été peu diffusé jusqu'ici (Hongrie, Afrique du Nord, Moyen Orient, Bénin) mais semble particulièrement bien adapté aux besoins des pays en développement, que l'eau soit très sale (Bénin: 900 ha de palmiers à huile alimentés par de l'eau pompée dans un marigot) ou que les agriculteurs doivent obligatoirement utiliser un procédé rustique ne nécessitant qu'une filtration sommaire. L'avantage essentiel est que l'eau est distribuée sous forme de débits importants (30 à 120 l/h suivant la perméabilité du sol), qui en général ruissellent sur le fond de la rigolecomme dans le cas de l'arrosage à la raie classique. Son adoption par les agriculteurs est donc plus facile que le goutte à goutte, son exploitation également (arrosages plus espacés et apports d'engrais solides réalisés dans la rigole elle-même et non par injection dans l'eau).

Le procédé Bas-Rhône connaît un regain d'intérêt dans toute l'Afrique du Nord, notamment au Maroc où il est utilisé en irrigation sous serre de bananiers pour la consommation locale. Il paraît également très bien adapté pour l'utilisation des ressources en eau locales, dans des pays tropicaux semi-arides comme le Nordeste du Brésil, où il a été introduit grâce à l'action de la mission française à Recife, dans le cadre d'un accord de coopération franco-brésilien, à la suite de la terrible sécheresse 1978-1983.

Il devrait se développer également dans certains périmètres gravitaires, car ses exigences en pression sont réduites, surtout si les parcelles sont nivelées, même approximativement, puisque les rampes sont sous pression.

# C. CHOIX D'UNE METHODE D'ANALYSE ET DE PRESENTATION DES PRINCIPAUX RESULTATS ACQUIS

Pour faciliter l'étude comparée des communications présentées aux 2 congrès, on peut les regrouper, tout au moins les plus intéressantes d'entre elles, de 2 façons :

- soit suivant la culture étudiée
- soit suivant d'autres critères.
- Examen des communications par cultures (voir Tableau I)

Le Congrès de Fresno et la Conférence de Budapest ont regroupé les communications suivant certains aspects, mais il faut reconnaître :

- -qu'il y a eu des erreurs, [par exemple sur les 47 communications de Budapest, 2 ne parlent pas d'irrigation du tout, (n° 1 et 2), 2 ne parlent que du problème du dessalage (n° 10 et 13), et 2 que d'aspersion (n° 19 et 21)]
- -que certaines communications sont à cheval sur plusieurs thèmes, mais qu'il a fallu les classer dans un seul.

Le classement par culture est intéressant car il permet de comparer, sur la même culture, diverses expérimentations, réalisées de façon indépendante et dans des conditions variées, et aussi de juger de l'intérêt que présente, à plusieurs points de vue, la micro-irrigation pour cette culture. Le tableau I a été réalisé en regroupant les cultures comme dans l'enquête mondiale, c'est-à-dire:

		Fresno		Budapest			
-	cultures arbustives (fruitières,			•			
	forestières et ornementales)	31	+	8	=	39	communications
-	Viticulture	7	+	2	=	9	communications
-	Cultures maraîchères	26	+	2	=	28	communications
-	Grandes cultures	29	+	2	=	31	communications

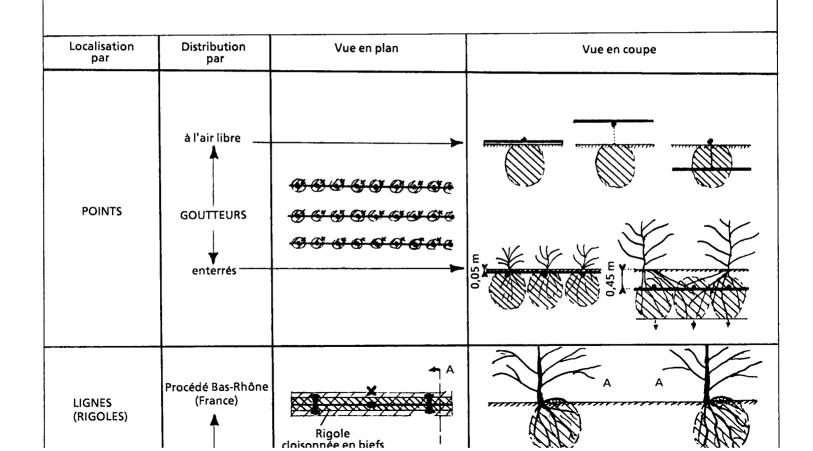
Les arbres fruitiers à	feuilles caduques sont très e	étudiés (18 communications)
également	la vigne	( 9 communications)
	la tomate à conserve	( 9 communications)
	la canne à sucre	( 8 communications)
et surtout	le coton	(12 communications)

### - Examen des communications suivant d'autres critères (voir Tableau II)

C'est sans aucun doute la présentation qui permet les comparaisons et les observations les plus intéressantes sur les caractéristiques de la micro-irrigation et ses tendances. Aussi aborderons-nous successivement les critères retenus dans le tableau II. Enfin la liste complète des communications présentées à chaque congrès figure en annexe l pour Fresno, 2 pour Budapest, avec indication de leur titre en français, de leur auteur et de sa nationalité. La dernière colonne indique en outre la page de la présente étude où se trouve l'analyse de chacun des rapports retenus.

Figure 1 - Les trois systèmes de micro-irrigation

Source : M. DECROIX



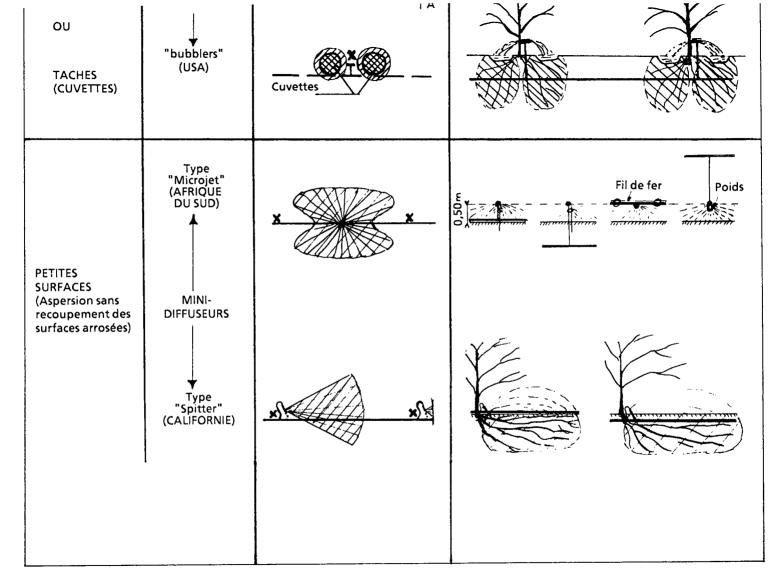


TABLEAU I. CLASSEMENT DES COMMUNICATIONS EN FONCTION DE LA CULTURE

NATURE DE LA CULTURE	FRESNO	BUDAPEST
I. Cultures fruitières et arbustives		
<ul> <li>Agrumes</li> <li>Vergers à feuilles caduques :</li> <li>amandiers</li> <li>noyers</li> <li>kiwis</li> </ul>	F5 N6 N7 N.10 A2 I.5 I.8 N3 S6 K5 M2	38.
<ul> <li>divers</li> <li>Avocatiers</li> <li>Bananiers</li> <li>Arbres forestiers</li> <li>Arbustes ou arbres des</li> </ul>	D3 E10 F7 F8 I.3 I.7 M4 Q1 E3 D4 E10	3(I.7) <sup>a</sup> ·12.14.20 47b.
espaces verts Palmiers dattiers cocotiers	E6 L1 L3 L4 L5 E6 N4 F3	8.
II. <u>Viticulture</u>		
. Raisin de table	E1 F4 F6 MI J4 Q1 R8	7. 15.
II. Cultures maraîchères		
<ul> <li>Tomates (ou aubergines)</li> <li>Piments (ou poivrons)</li> <li>Cucurbitacées</li> <li>Pommes de terre</li> <li>Laitues</li> <li>Asperges</li> <li>Diverses</li> </ul>	E10 I.10 P5 Q3 R4 S7 S10 U2 F2 I.10 P1 Q5 E5 I.1 E5 V11 M6 P3 M3 N8 E7 E8 F9 J2 K4 R2 R6 M7 U4	41. (S10.U2) <sup>a</sup> ·
IV. Grandes cultures		
<ul> <li>Canne à sucre</li> <li>Coton</li> <li>Maĵs</li> <li>Arachides</li> <li>Haricots de Lima</li> <li>Diverses</li> </ul>	B2 D1 D2 E2 H5 N1 Q2 U3 F1 M5 I.6 I.9 J1 N5 P4 S4 U1 M9 N2 N9 P2 N2 R7 M8 U1 U5	(19.54) <sup>a.</sup> 47 <sup>.b</sup>

- (a) Entre parenthèses figurent les communications du Congrès de Fresno sur la même expérimentation avec une année de résultats en plus pour le 41.
- (b) E8 et 47 sont du même auteur israélien et portent sur la même région (rive ouest du Jourdain) mais E8 est plus général et porte sur les cultures maraîchères, alors que 47 porte sur un secteur particulier (Jiftlik) et d'autres cultures (banane et coton).

TABLEAU II CLASSEMENT DES COMMUNICATIONS EN FONCTION D'AUTRES CRITERES

CRITERES	FRESNO	BUDAPEST					
<ol> <li>Mode d'utilisation des rampe</li> <li>Rampes fixes ou mobiles</li> <li>Rampes aériennes ou souterraines</li> </ol>	 s   J5 O5   B2 C2 D1 D2 I.6 J1 M6 M9 N1   N9 O7 R4 S7 S10 U1 U5	32. 11. 12. 34. 41.					
2. <u>Influence des facteurs propre</u> A. <u>Précision des arrosages</u>	es à la micro-irrigation   L3 P5 T1 T2 T4						
B. Fréquence des arrosages	E1 F4 F7 P4 Q5 S2 S4 S7 S10 U2	41. 47.					
<ul> <li>C. Maîtrise du taux de rationnement</li> <li>D. Degré et mode de la localisation de l'eau</li> </ul>	B3 E1 F2 F7 L5 M1 M5 M8 M9 P1 S2 S4 S8 S9 S10 U2	9.					
racinaire	F5 I.7 I.8 N5 N10 P1 Q1 à Q5 R2 S4						
D.2 Influence sur le rende- ment des cultures	F1 N6 N7 P2 S4 T4	15. 47.					
3. Influence des facteurs extrêr	 mes T						
A. Qualité de l'eau A.1 Eau salée	E5 E6 L5 M4 P1 P4 R2 S9 S10 U5 V11						
A.2 Eau sale - les obstructions - les remèdes	B2 V12	6. 35.					
. la filtration	C4 N1 V10	18.					
. les traitements B. Qualité du sol	C1 C3 N1 V9 D3 I.4 R6 R7 R8	6. 11.					
4. Matériels et réseaux							
A. Essais des matériels B. Choix des matériels C. Innovations :	G5 H1 à H5 E4 E7 J2 N4 Q1 U3	25. 46. 23 à 25 27 47					
<ul> <li>en distribution</li> </ul>	I.7 J5 O4 O6 V6 V8	12. 26. 31. 34					
<ul><li>en filtration</li><li>en automatisation</li></ul>	O10   E4 J7 L2	44. 47.   28. 37.					
D. Méthode de calcul des réseaux	B4 B5 3 J4 J6 à J9 V1	22. 30. 33.					
5. Utilisation des matériels et	des réseaux						
<ul><li>A. Pilotage de l'irrigation</li><li>par tensiomètres</li></ul>	E4 E5 I.10 J4 M7 S1 S3 S4	29.					
- par d'autres méthodes B. Fertigation-chimigation	E4 J7 O9 S2 S5 S10 E4 I.7 à I.10 J1 K1àK7 M6 U1	7.					
C. Maintenance-Contrôle visuel D. Evaluation des réseaux	D2 D3 I.8 J4 J7 L5 V5						
-	G1 à G4 J2 T3 T4	36					
<ul><li>6. Pour ou contre la micro-irrig</li><li>A. Avantages</li></ul>	A1 A4 B2 D4 D5 E1 E3 E5 à E8	40. 42. 47					
B. Difficultés et précautions d'emploi	F3 R5 D1 D2 E1 E2 E4 E10 V2 V4	37.					

### ATTENTION

Aux Etats-Unis, le mot drip a comme équivalent le mot français goutte à goutte. De même trickle signifie micro-irrigation.

Afin d'alléger le texte, on y a utilisé les abréviations suivantes

g à g pour goutte à goutte

DT pour Drip Trickle\*
c.à.d. micro-irrigation

<sup>\*</sup> expression largement utilisée au Congrès de Fresno dont le thème officiel était **Drip Trickle irrigation in action** 

# MODE D'UTILISATION DES RAMPES

1



A.	Rampes	fixes	ou mo	biles ?	٠.	 •	 	 •	 •	24

B. Rampes aériennes ou souterraines? ...... 28

### MODE D'UTILISATION DES RAMPES

# A. RAMPES FIXES OU MOBILES ?

3 rapports ont été présentés sur cette question, 2 à Fresno, 1 à Budapest.

# Synthèse

On utilise en général des rampes fixes, au moins pendant toute la durée d'arrosage d'une culture (de quelques semaines en culture maraîchère à plusieurs dizaines d'années en culture pérenne type arbres à pépins ou agrumes). Mais, pour réduire l'investissement, on peut, quand la main-d'oeuvre est abondante, déplacer les rampes de poste en poste. Le fait que la localisation des apports d'eau laisse des interlignes secs facilite beaucoup cette pratique, car la structure d'un sol sec n'est pas modifiée par les passages répétés du personnel ou des engins mécaniques utilisés.

-En Chine Populaire le système Yanshan a suscité 2 rapports du même auteur, présentés l'un à Fresno (J.5), l'autre à Budapest (32). La version "cultures maraî-chères" réduirait le nombre de rampes de 97 % et l'investissement total de 80 à 90 % par rapport au g à g classique -et même de 30 % par rapport à la raie. Les rampes ont une longueur normalisée de 60 m et, à partir de leur origine, peuvent être déplacées, parallèlement à elles-mêmes, dans les 4 sens possibles, couvrant ainsi chacune une surface de 120 x 20 ou même 30 m soit 2 400 à 3 600 m². Il y a également une rotation entre les points de sortie, ce qui permet d'utiliser le débit du réseau en continu. L'investissement est minimal (600 dollars/ha). Il existe également une version "cultures fruitières" qui, comme la précédente, utilise des goutteurs capillaires, de différentes longueurs bien entendu, pour obtenir des débits égaux.

Rappelons qu'au début des années 1970, les Israéliens ont utilisé eux aussi des rampes mobiles, déplacées soit manuellement (à l'aide d'une roulette suspendue au bout d'un manche comme en Chine, soit à l'aide d'un appareil porté sur tracteur).

- Dans les pays développés, on utilise, comme pour l'aspersion, des machines à irriguer, portant, qu'il s'agisse de rampes pivotantes ou frontales, ou même d'enrouleurs, de petits tuyaux appelés "traînards" ou "pendillards" débitant, en extrémité, un débit non négligeable (ce qui permet de se contenter d'une filtration grossière de l'eau). Ce procédé n'est donc pas un g à g mobile, mais plutôt un système de micro-irrigation mobile à ajutages (analogue au procédé Bas-Rhône).

# Les 4 systèmes d'irrigation :

mobile pipe irrigation = aspersion mobile mobile irrigation machine = machine à irriguer (en aspersion)

= gàgclassique drip irrigation

mobile drip irrigation g à g mobile proposé

l'amortissement annuel, taux d'intérêt 3 % Charges fixes:

> maintenance 20 %

# Charges variables:

. dose - g à g classique ou mobile 700 mm/an 1000 mm/an aspersion

. coût main d'oeuvre

8 dollars/heure

. coût tracteur

3 dollars/heure

. prix de l'eau consommée

g à g classique 0,06 dollars/m3 g à g mobile 0,08 dollars/m³ aspersion 0,12 dollars/m3

. maintenance 80 %

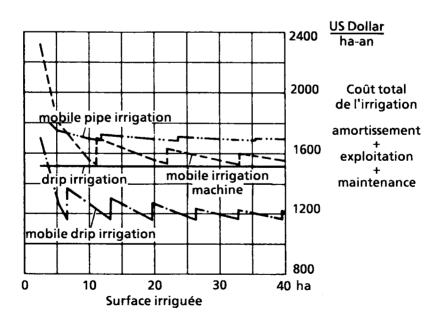


Figure 2 - Comparaison économique de quatre systèmes d'irrigation en prix de revient total, par hectare et par an, et en fonction de la surface de la parcelle irriquée source : FRESNO 05

Curieusement, aucun rapport USA ne décrit les machines à irrigation localisée mises au point depuis 1980 (TTIS = Trickle Traveling Irrigation System et LEPA = Low Energy Precision Applicator). Ces machines très perfectionnées, mues par énergie solaire ou hydraulique, permettent également, tout au moins celles qui circulent sur rails dans les serres, de réaliser des traitements pesticides dans toute la masse du feuillage. Il est vrai qu'à ma connaissance, ces machines sont restées à l'état de prototypes.

Aucun rapport non plus sur les machines de ce type, plus rustiques, qui existent dans certains pays de l'Est comme la Hongrie, ou même Israël.

Cependant, un chercheur allemand de RFA (0.5) propose une machine de ce type, munie d'ajutages spéciaux, apportant sous faible pression (5 m.C.E.) une dose de 25 mm par passage et qui aurait, bien entendu, tous les avantages possibles (récolte accrue avec investissement moindre, moindre salinité du sol, moindre dépense d'énergie, insensibilité au vent, etc...).

# Analyse des communications présentées

Fresno J.5. Un réseau g à g bon marché et de bonne qualité (Low cost and good quality drip irrigation system) par Weiduo, Institut de Conservation de l'Eau et de Recherche en Energie Hydroélectrique, Pékin, Chine Populaire.

La recherche en g à g a débuté en 1974 et, en 1981, le système Yanshan a été mis au point :

-Pour les plantations fruitières, il s'agit de capillaires Ø 0,95 mm, disposés autour du tronc des arbres de façon radiale. Leur longueur varie le long de la rampe (par ex. de 1,67 à 3,25 m) de façon à obtenir des débits faibles (2 l/h) mais égaux en tous points de la parcelle. Pour le raccordement des rampes aux porte-rampes, on utilise des tubes conducteurs brise-charge Ø intérieur 4 mm qui sont placés en tête, à l'intérieur des rampes (voir coupe p. 425 du compte rendu original du Congrés de Fresno). Le rapport donne la formule de calcul de la longueur du tube brise-charge, et rappelle la formule de Khatari (1979) donnant la longueur d'un capillaire

$$1 = \frac{H \mathscr{B}}{0,007 \text{ q}^{1.253}}$$

- l longueur du capillaire (en cm)
- H pression en tête du capillaire (en m de charge d'eau)
- Ø diamètre du capillaire (en mm)
- q débit du capillaire (en l/h)

Avec un même diamètre de rampe, on arrive ainsi à doubler la longueur des rangées qui seraient alimentées par des goutteurs non autorégulants, tout en évitant d'utiliser des goutteurs autorégulants, qui sont trop chers.

- Pour les cultures annuelles, le système proposé est une rampe de 60 m de longueur, déplaçable sur 20 à 30 m qui permet de réduire le nombre de rampes de 97 %, l'investissement\* de 80 à 90 % par rapport au g à g classique et de 30 % par rapport à l'irrigation de surface (chaque point du réseau permet, avec une rampe

<sup>\*</sup> Environ 600 dollars en 1985.

souple mobile, de desservir 120 x (20 ou 30 m) = 2 400 à 3 600 m²). Il y a également rotation entre les divers postes, du débit véhiculé par la conduite principale.

N.D.T.: L'espacement des rampes parait excessif, sauf si les besoins sont faibles et arrosages espacés dans le temps. Aucune précision n'est donnée sur ce point, ni sur le type de goutteur utilisé sur les rampes mobiles. Voir à ce sujet le rapport Budapest 32, qui apporte ces précisions.

Fresno O.5. Développement et utilisation du g à g mobile. (Development and use of mobile drip irrigation) par H. Sourell, Centre fédéral de recherche en agriculture, Brunswick, RFA.

L'auteur, après avoir classé les diverses techniques d'irrigation existantes, propose d'utiliser des ajutages spéciaux, à basse pression, à l'extrémité de tubes souples suspendus tous les 0,8 m environ (réglable de 0,5 à 1 m) à une rampe mobile reposant sur des roues et débitant au voisinage du sol, sans perte d'eau sur le feuillage. Dose par passage : 25 mm sous une pression de 5 m C.E. Il y aurait donc économie d'énergie, avec récolte accrue, salinité moindre du sol, insensibilité au vent, moindre investissement/ha etc...

Pour des besoins de 10 mm/jour (en zone aride), le prix de revient opérationnel serait de 1 500 dollars US pour une surface de parcelle supérieure à 10 ha qui supprime le déplacement de parcelle à parcelle. Ce prix serait toutefois susceptible d'être réduit à 1 200 dollars US.

Les premiers essais ont été réalisés dans le Negev sur luzerne avec une rampe tractée de 44,8 m, repliable sur elle-même à une largeur de transport de 3m.

La machine est décrite comme une rampe pivotante mais ressemble beaucoup à la rampe Ayanot présentée à Tel Aviv (Israqua) en septembre 1986, qui porte des diffuseurs basse pression juste au-dessus de la culture et se déplace par translation.

L'auteur propose une classification des diverses techniques d'irrigation, qui présente le g à g mobile comme étant un hybride "micro-irrigation x machines à irriguer", mais comporte des erreurs (la rampe pivotante et la rampe frontale sont présentées comme des systèmes irriguant à poste fixe).

L'article fait également des comparaisons intéressantes, mais un peu partiales (l'auteur présente un bilan de l'aspersion, en eau et en énergie, comportant des chiffres maximaux de pertes).

La figure de la page 25 reproduit la comparaison économique réalisée entre 4 systèmes d'irrigation très différents.

Budapest 32. Système goutte à goutte manuel mobile. (A manually moved drip irrigation system) par Weiduo, Pékin, Chine populaire.

L'auteur expose que le goutte à goutte présente de nombreux avantages (moins d'eau et d'énergie, plus de rendement) mais qu'en même temps il nécessite une grande longueur de tuyaux, ce qui le rend impropre à l'irrigation de cultures en lignes serrées type céréales.

La Chine ayant la plus importante population du monde à nourrir, mais des ressources en eau insuffisantes, le goutte à goutte est extrêmement séduisant à condition d'en réduire le coût. 10 ans de recherches ont permis de développer certaines techniques bon marché et fiables et l'une d'entre elles est le goutte à goutte à rampes déplaçables à la main, dont les rampes sont espacées de 20 à 30 m au lieu de 1 m en rampes fixes, ce qui économise 95 à 97 % de tuyau. Le débit des autres conduites et du groupe motopompe sont réduits dans la même proportion.

La dose normale d'arrosage est de 3 mm/j dans un cycle de 7 à 10 jours, le temps d'arrosage par position de la rampe peut être calculé compte tenu d'une durée effective d'utilisation de 20 à 24 h/j. Tout le réseau, excepté les rampes, est enterré.

Une personne est capable de déplacer grâce à une roulette suspendue au bout d'un manche, 20 à 30 rampes de 60 m de longueur, équipées de goutteurs capillaires spéciaux, dont la longueur varie le long de la rampe, ce qui assure une excellente uniformité et une augmentation de la longueur des rampes (60 m pour une rampe  $\phi$  intérieur 10 mm avec goutteurs tous les 0,35 m).

On utilise ce système pour toutes les cultures serrées et basses (à l'exception du riz) dont la hauteur ne dépasse pas 1,3 m (blé, coton, arachide, patate douce). Cultures fourragères et vignes vont aussi être irriguées de cette façon.

# B. RAMPES AERIENNES OU SOUTERRAINES ?

23 rapports au total traitent de cette question (19 présentés à Fresno, 4 à Budapest).

# Synthèse

Ces rapports traitent de la position des rampes par rapport à la surface du sol, au-dessus, sur (g à g normal) ou au-dessous (g à g souterrain). Le g à g souterrain semble donc à la mode. Il présente, comme toujours, du pour et du contre :

- -Pour le g à g souterrain: protection des rampes et surtout des gaines contre les animaux, contre l'évaporation à la sortie des goutteurs (obstruction par le sel ou le calcaire), contre les variations de température jour-nuit qui favorisent les dépôts de calcaire (voir en C.2 le rapport des spécialistes américains Bucks et Nakayama) ou qui entraînent des variations de longueur, d'où usure mécanique des rampes sur le sol et déplacement des points de distribution de l'eau si les goutteurs sont directement fixés sur les rampes.
- -Contre le g à g souterrain : les obstructions des goutteurs deviennent indécelables, leur débit incontrôlable, même les ruptures de rampe peuvent passer inaperçues en sol très filtrant. Par ailleurs les risques d'obstruction sont sensiblement augmentés, soit par dépressions locales en certains points du réseau en vidange qui peuvent aspirer dans les goutteurs de l'eau extérieure polluée, soit par l'introduction de racines. Aussi des précautions spéciales sont-elles à prendre :
  - soit en maintenant, autour de chaque sortie, par des arrosages très fréquents ou mêmes continus, un petit bulbe saturé en permanence, où les racines ne se développent pas par manque d'oxygénation,
  - soit en créant, par une injection 2 fois/an de solution herbicide (Tréflan), une zone interdite chimiquement aux racines.

Dans les pays de l'Europe de l'Est, on utilise beaucoup l'irrigation souterraine pour éliminer les eaux usées, simplement préfiltrées : les pressions sont faibles, les orifices largement dimensionnés. Les arrosages sont discontinus pour éviter l'hydromorphie des sols. Les rendements culturaux seraient meilleurs qu'en irrigation de surface et on économiserait 50 % d'eau.

- En URSS (Budapest 11) les rampes en PE Q 32-40 mm sont posées à la sous-soleuse à 45-60 cm de profondeur, dans des sols où la nappe est à plus de 3 m de la surface (dans le cas contraire, on protège la nappe de la pollution en plaçant sous chaque rampe une bande de film PE large de 0,7 m. Les rampes sont percées (à la pose) de fentes 35 x 2 mm tous les 0,3 m. Pression de service : 1 m environ.
- En Hongrie (Budapest 34), l'irrigation souterraine est courante en sols sableux plats sur houblon, vigne, pommier. Les rampes, à 50-60 cm de profondeur, sont espacées de 0,6 à 1,5 m suivant la densité de la culture, avec perforations dans la partie inférieure. En sol sableux, on pose aussi sous chaque rampe une bande plastique de 0,6 m, mais en forme de V afin de servir de réserve d'eau. On évite la pénétration des racines par une vidange automatique très rapide des rampes après chaque arrosage.
- En Pologne (Budapest 12), on utilise par contre de petits tuyaux en PVC plastifié Ø 7 à 10 mm, percés de trous circulaires, enterrés à 40-50 cm en cultures annuelles et 50-60 cm en vergers. Au cours de l'arrosage, la pression (au delà de 5 m.C.E.) dilate les trous et chasse particules et racines à l'extérieur de la rampe. Ce système ressemble beaucoup à celui qu'utilise depuis 1968 le professeur Tournon, de l'Institut d'Hydraulique Agricole de Turin (mais les orifices sont de simples fentes longitudinales pratiquées sans enlèvement de matière).

# Dans les pays occidentaux, le g à g se développe plus ou moins selon les cultures :

- Sur canne à sucre, les rampes, posées à l'origine sur le sol, sont de plus en plus souvent enterrées, en raison du brûlage des feuilles sèches de la canne avant la récolte, et parfois en raison des dommages plus fréquents, des animaux en particulier.
  - . A l'Ile Maurice, on estime après essai qu'une rampe enterrée à 20 cm, pour 2 rangs jumelés, donne de meilleurs résultats qu'une rampe par rang (noter que le sol argileux est favorable à une grande largeur des bulbes) et que, pour durer 10 ans, une rampe munie de goutteurs est préférable à une gaine double, trop fragile vis-à-vis des attaques des fourmis et des pincements par les repousses.
  - . Par contre à Hawaî, on est favorable (pour une question d'investissement) aux gaines doubles Biwall placées au milieu de 2 rangs jumelés (80 % des cas) ou à 15 cm de chaque rang si la texture du sol est trop grossière (20 % des cas). De plus la gaine est détruite systématiquement à chaque récolte c'est-à-dire tous les 2 ans.
- Toujours à Hawaî, mais sur laitue, on a expérimenté en maraichage continu (6 récoltes ou plus par an) les gaines doubles Biwall enterrées (à 13 cm de profondeur pour éviter de trop les couper par les sarclages). On est optimiste quant à la possibilité d'atteindre 2 ans et plus, avec le même réseau, à condition d'assurer une maintenance sérieuse. Les laitues sont repiquées directement au-dessus des points de sortie de l'eau (centre des taches humides en surface). On a aussi conclu favorablement à l'application, en une fois, avant chaque culture, de la quantité totale de phosphore nécessaire. Aucun signe de "fatigue du sol" n'est apparu au bout des 18 mois de l'essai et les techniques de "minimum tillage" (culture minimale) semblent suffire pour maintenir la fertilité des sols (ceci pour 2 sols pédologiquement très différents).

- Sur tomate à conserve, un essai réalisé à Fresno est décrit, sous des aspects un peu différents, dans 5 rapports : Fresno R.4, S.7, S.10, U.2 et Budapest 41.
  - . Fresno R.4 indique que le g à g de surface, surtout à faible fréquence d'arrosage, se révèle préférable au g à g enterré pour l'élimination des sels par percolation.
  - Fresno S.7, S.10 et U.2 sont très voisins quant à la description du protocole et des résultats qualitatifs. Seuls Fresno S.10 et U.2 donnent des résultats quantitatifs sur les récoltes 1984.

Leur interprétation exacte est toutefois délicate car il manque certains chiffres, par exemple pour l'arrêt précoce de l'arrosage en g à g enterré haute fréquence (plusieurs fois par jour) en doses de 1 mm pour les teneurs en matière sèche ce qui est pourtant essentiel en tomate à conserve.

Les auteurs donnent un léger avantage du g à g haute fréquence enterré sur le g à g haute fréquence de surface si l'on irrigue jusqu'à la récolte avec des doses dégressives. Mais il semble, d'après un essai d'arrêt brutal des arrosages à des dates variables avant la récolte, que l'efficience de l'eau (kg de tomate par m³ d'eau d'irrigation) augmente (à condition de ne pas dépasser 14 jours avant la récolte) pour le g à g de surface. Le g à g de surface basse fréquence (dose de 25 mm) se révèle inférieur en tonnage et en efficience au g à g de surface haute fréquence lorsque l'irrigation est poursuivie jusqu'à la récolte mais, lorsqu'elle est arrêtée 7, 14, 20 ou 26 jours avant, la différence s'atténue progressivement et même s'inverse du fait de l'utilisation de la plus grande réserve hydrique du sol.

. Budapest 41 a présenté le résultat sur la récolte suivante (1985) du même essai (sauf que P et K ont été apportés massivement par le réseau g à g avant le semis et qu'une désinfection au vapam a été faite un mois avant). Les résultats sont du même ordre, mais avec des rendements supérieurs, proches de 170 t/ha qui s'approche des potentialités de la culture. Il y a supériorité légère du g à g enterré sur le g à g de surface (les 2 en haute fréquence), mais quand on coupe l'arrosage avant la récolte, 17 jours est alors l'optimum. Le g à g basse fréquence reprend une grande partie de son retard, à la fois en rendement et en extrait sec (5,6 degrés Brix au lieu de 4,9).

N.D.T: même si, théoriquement, on a le tonnage maximal en tomate fraîche avec un g à g enterré haute fréquence, pratiquement le g à g de surface basse fréquence, qui correspond à des arrosages tous les 2 à 3 jours au lieu de 6 à 10 fois par jour, paraît préférable, parce que plus simple à conduire, donnant un fruit plus concentré en M.S., ne nécessitant pas un arrosage par aspersion pour le semis (nécessaire pour le g à g enterré), et plus favorable sur le plan lessivage des sels. Il permet des doses massives, correspondant à la profondeur du sol de 1'essai.

Par contre, le g à g en surface sur maraîchage (ou grandes cultures) pose le problème de la pose, de la dépose et du stockage des rampes g à g d'une année à l'autre.

- Sur coton il y a 4 rapports intéressants : 3 aux USA, 1 en Israël, et leurs conclusions sont divergentes.
  - . Tollefson (Arizona, Fresno J.1 et U.1) rappelle qu'en g à g sur grande culture, il y a 2 écoles : l'école israélienne = rampes en surface, et l'école américaine = rampes enterrées. Lui-même étant américain, il est partisan du "système Arizona" qui consiste à placer, sous chaque rang de coton, une gaine perforée à 25 cm de profondeur. Bien que les rapports soient peu explicites, il semblerait que le même réseau puisse, en culture minimale, être utilisé jusqu'à 4 à 5 ans de suite, en faisant

même chaque année, pour éviter la "fatigue" du sol qu'entraîne la monoculture du coton, une double récolte : blé en hiver, et coton en été.

- . Fresno I.6, fait aussi en Arizona, n'infirme pas les conclusions de Tollefson.
- . Fresno M.9. (Israël) compare sur 2 années (1983 et 1984), en sol argileux, g à g en surface et g à g enterré à 40 cm, mais tous deux en rangs jumelés (1 rampe pour 2 rangées). Variations de dose et de fréquence (2 arrosages par semaine ont donné de meilleurs résultats que 5). Conclusion: même avec des rampes éloignées des rangs, le g à g enterré est plus sujet à l'hydromorphie. Il n'est donc intéressant que si le rationnement est suffisant (cas normal en coton) pour éviter l'hydromorphie. Par ailleurs une fréquence d'arrosage élevée n'est pas forcément bénéfique (en sol argileux notamment).

Cependant le fait que le rendement est presque proportionnel aux quantités d'eau apportées est contraire aux conclusions générales des autres essais portant sur le rationnement en eau du coton (voir le facteur maîtrise du rationnement).

- Sur maïs, Fresno N.9 (Italie) indique des résultats très favorables (+30 qx/ha et avec un investissement inférieur à l'aspersion) pour du maïs irrigué en rangs jumelés par des gaines perforées légèrement enterrées (5 cm). Il est dommage que ce soit la simple observation d'une firme commerciale, et non le résultat d'une expérimentation scientifique.
- Sur assolement triennal coton-blé-orge, Fresno U.5 (Israël) décrit un protocole comparant, en sol salé et sodique, des rampes en surface et des rampes enterrées (à 25 cm) avec 1 ou 2 rangs par rampe. Malheureusement, il n'y a pas de résultats indiqués bien que l'essai date de 1983.
- Enfin, sur le plan technologique, Fresno O.7 (Arizona) décrit un dispositif de frein améliorant le déroulement simultané de plusieurs rampes à la surface du sol.

# Analyse des communications présentées

Fresno B.2 Le DT nous a permis de survivre (Drip irrigation kept us in business) par William L. Pyle et Randall C. Moore de la Compagnie Sucrière et Commerciale d'Hawaī (CSC), E.U.

Seul un résumé de 6 lignes figure dans le compte rendu du Congrès. Les auteurs ont bien voulu m'adresser, outre leur rapport, les 3 suivants (plus anciens):

- . "Le g à g en cultures industrielles"
- . "Pomper ou non, voilà la question!"
- . "Le g à g, de la théorie à la pratique".

La CSC irrigue la canne à sucre sur le versant ouest aride du volcan Haleakala depuis 1882. De la raie elle est passée à l'aspersion en 1972 puis au g à g en 1975 (12 600 ha équipés fin 1985, et 1 200 ha à équiper en 1986).

La plantation dure 6 ans et la récolte se fait tous les 2 ans.

Le coût croissant de l'irrigation à la raie menaçant la rentabilité de la culture de la canne et de l'industrie du sucre toute entière, le g à g a été reconnu comme étant la seule solution possible pour maintenir cette rentabilité. Il a en effet permis de réduire les dépenses (eau, énergie, main d'oeuvre, frais culturaux) et d'augmenter les recettes

du domaine, donc de ne pas perdre d'argent malgré la baisse du prix mondial du sucre, la concurrence des autres sources de sucre, et plusieurs années de sévère sécheresse.

Le g à g permet une culture "à plat" et, par rapport à la raie, entraîne une réduction des frais :

- de préparation du sol et de plantation de 30 % pour la plantation initiale et de 5 % pour les repousses,
- de lutte contre les adventices de 60 % (la filtration arrête les graînes d'adventices contenues dans l'eau),
- de main d'oeuvre pour l'irrigation de 55 % (1 heure pour 60 ha à la raie, 1 heure pour 280 ha en g à g).

La production moyenne de sucre a été augmentée de 22 %, malgré une réduction de 25 % du volume moyen pompé.

# Dans les autres rapports, on peut noter :

- qu'en 1979, la production de sucre (pour 2 ans) a été de 26,5 tonnes/ha à la raie, et 33,5 tonnes/ha en g à g.
- -que toutes les conduites du réseau sont en PVC, les rampes en gaîne double Biwall de 19 millièmes de pouce d'épaisseur de paroi, enterrées à 7 cm, espacées de 2,7 m. Elles irriguent des rangs de canne jumelés espacés de 60 cm, avec des orifices extérieurs de gouttage espacés de 0,6 m (1 orifice intérieur pour 4 orifices extérieurs). L'ensemble de la parcelle est irrigué à la fois (1 seul poste). En tête des rampes est disposé un petit filtre à tamis de sécurité. A chaque coupe de la canne, les rampes sont remplacées. On considère que la récolte n'est réduite que si le nombre de goutteurs obstrués dépasse 5 %. L'utilisation d'eau de surface nécessite souvent une chloration de l'eau et une purge manuelle des rampes, les purges automatiques étant peu efficaces.

Fresno C.2. Effet de la température sur l'obstruction des distributeurs par précipitation de CO3 Ca (Temperature effect on calcium carbonate precipitate clogging of trickle emitters) par F.S. Nakayama, ingénieur économiste et D.A. Bucks, ingénieur d'irrigation, USDA Phoenix-Arizona - E.U.

La précipitation de calcaire s'observe en pratique dans les réseaux où il y a à la fois un pH élevé, une forte teneur en CO3 Ca, et des fluctuations importantes de température.

L'index de saturation de Langelier (LSI) est utilisé pour prédire le risque de dépôt dans les eaux industrielles ou municipales dont la température ne varie guère. Le risque est bien plus important dans les réseaux d'irrigation, où la température varie beaucoup (à Phoenix, en mai, elle passe, en un jour, de 10 à 48°C pour des rampes vides posées sur le sol, et de 10 à 42°C pour des rampes pleines d'eau stagnante, soit un\(\Delta t/\)jour de 15 à 30°. Pour des rampes enterrées à 10 cm, le\(\Delta t\) est réduit à 5°. Quand l'eau circule dans les rampes, la température est peu différente de celle de l'eau du réseau enterré.

Les auteurs donnent les équations de calcul de LSI et de sa variation en fontion de la température. Une eau non entartrante à température normale peut le devenir avec l'augmentation de température subie dans une journée. On peut, avec une calculette, évaluer le risque de précipitation à partir de l'analyse chimique de l'eau.

Fresno D.1 Le g à g à Hawaî a-il tenu ses promesses ? (Has drip irrigation in Hawaî lived up to its expectations ?)par W. Bui et C.M. Kinoshita, de la station expérimentale des planteurs de canne à sucre d'Hawaî. E.U.

## - Historique

- . En 1970, sur 48 000 ha de cannes irrigués, 90 % l'étaient à la raie
- Fin 1984, sur 45 400 ha de canne irrigués, (76 000 ha plantés), plus de 34 800 (77 %) l'étaient en goutte en goutte, et sur les 10 600 restants, 4 700 devaient l'être à bref délai (soit 87 % au total).

22 % de récolte brute en plus (et 26 % de sucre en plus) avec abaissement des coûts, (car réduction de la main d'oeuvre), augmentation importante de l'efficience de l'eau (car réduction des volumes d'eau/ha), et facilité des façons culturales du fait de la suppression des raies. Du fait de la nature volcanique des sols ceux-ci ont une perméabilité élevée (25 mm/h) d'où un piètre rendement hydraulique (35 %) en irrigation à la raie, pratiquée seulement 8 h/jour et 5 jours/semaine (il faut 1 heure pour irriguer 50 ha en n'apportant l'eau que tous les 10 jours et pendant 1 heure).

L'aspersion a été essayée à la fin des années 50, mais il faut beaucoup d'énergie pour avoir une pression de 8 bars, le coût est élevé (2 500 \$/ha), et l'application possible limitée en raison de l'existence de zones accidentées et ventées. D'où un taux d'utilisation faible (10 % seulement en 1970).

# - Technique utilisée

Le g à g a constitué une véritable révolution dans les techniques d'irrigation à partir de 1970, grâce à une collaboration étroite entre industriels du sucre, fabricants de matériel d'irrigation, et planteurs de canne, réunis en groupe de travail interdisciplinaire.

A 80 %, la technique utilisée est celle des rangs jumelés (1 rampe entre 2 rangs rapprochés à 0,9 m, avec un 2e interligne, sec, de 1,8 m). Les 20 % restants ont une rampe par rang avec des interlignes identiques de 1,5 m. Coût/ha 450 \$ pour 4 km/ha de rampe dans le ler cas, et 600 \$ pour 6,6 km/ha dans le 2ème cas (utilisé en cas de sols à diffusion latérale insuffisante). Les postes (0,4 à 0,8 ha) sont branchés sur des porte-rampes PVC enterrés à 0,6 m, eux mêmes reliés à des conduites PVC enterrées à 1,5 m. Les rampes qui restent en surface sont détruites à chaque récolte (tous les 2 ans) lors du brûlage des feuilles, mais elles ne représentent que 20 % du coût du réseau.

Mais 4 problèmes techniques importants ont été rencontrés :

- Obstruction des orifices des gaines doubles utilisées. C'est bien le plus facile à résoudre (emploi de gaines de qualité normalisée, orientation des orifices vers le haut, décantation et filtration sur tamis 200 mesh et sable de calibre 20, javellisation de l'eau à la fin de chaque arrosage de façon à obtenir 10 ppm de Cl résiduel, et périodiquement application de 100 ppm, purge des rampes tous les 2 à 3 mois.
- . Dégâts des fourmis (élargissement des orifices ou perforation des parois). Pas de lutte chimique efficace. Seul remède, une gaîne double spéciale comportant 2 nervures longitudinales empêche les fourmis d'atteindre les orifices. Mais surcoût de 60 à 100 \$/ha par récolte, augmentation de l'obstruction des orifices et inefficacité contre la perforation des parois.

- . Imperfections du matériel et du personnel. Elles entraînent une mauvaise installation et une mauvaise maintenance.
- Pincement des gaînes par les repousses des cannes, que l'on doit détruire dès qu'elles apparaissent. On atténue les diminutions de rendement en reliant les extrémités des rampes 2 par 2.
- Résultats de la conversion en irrigation goutte à goutte
  - Du fait de l'importance des besoins et de l'organisation des producteurs encadrés par les industriels sucriers, les fabricants ont pu réduire leurs prix et, en 1975, le coût de la conversion en goutte à goutte était de 1 200 \$/ha (contre 2 500 en aspersion).
  - Economie de frais culturaux du fait de la suppression des raies. Tracteurs plus légers, moins chers et consommant moins de fuel, en se déplaçant dans des interlignes secs. Récolte également facilitée.
  - . Automatisation et allongement des durées d'arrosage (24 h) d'où réduction des besoins en main d'oeuvre (240 ha par UTH au lieu de 50 ha en irrigation à la raie).
  - Diminution des mauvaises herbes poussant dans les canaux de transport et de distribution et, de plus, la filtration poussée élimine les graînes auparavant apportées par l'eau d'irrigation.
  - . Rendement de l'irrigation g à g de 80 % et plus, contre 35 % à la raie.
  - . On tend à enterrer les rampes de 10 à 20 cm, ce qui économise encore de l'eau.
  - . Application plus uniforme d'engrais par fertigation.
  - . Récolte de sucre accrue de 26 % (le record est de 49 tonnes/ha de sucre en 1985 sur une parcelle irriguée par goutte à goutte, la récolte moyenne étant de 29,3 tonnes sur 15 ans). 40 tonnes de moyenne paraît être un objectif potentiel pour des réseaux bien concus et bien entretenus.
- Perspectives: Il y a encore des possibilités d'amélioration notables, qui ne pourront se réaliser que progressivement, au fur et à mesure que l'expérience des planteurs, le matériel d'irrigation, et les techniques culturales se seront améliorés.

Fresno D.2 Exploitation et maintenance des réseaux à Hawai (Operation and maintenance of Hawaii systems) par D.A. Young (James Hardie) Hawai E.U.

# - Les difficultés rencontrées et leur solution

La lère installation "commerciale" fut réalisée à Hawaî en 1970 par la Compagnie Sucrière Olokele à Kanai. Après avoir résolu les nombreux problèmes rencontrés sur cette lère installation, on a pu réaliser en 1985 un système fonctionnel d'irrigation g à g sur canne à sucre, ananas et noix du Queensland (macadamia), sur une surface totale d'environ 45 000 ha. L'auteur expose la façon dont les divers problèmes ont été résolus successivement, et avec succès.

- . Filtration : sur tamis (200 mesh soit 74  $\mu$ ) pour 2 000 ha, sur sable pour le reste.
- . Démarrage des boutures de cannes : Auparavant flip.flop (déplacement latéral manuel dans l'interligne d'arrosage de façon à irriguer successivement les 2 rangs adjacents). Maintenant une rampe par rang à 6 pouces (15 cm) de distance sur 20 % ou une rampe pour 2 rangs jumelés (interlignes successifs de 3 et 6 pieds) sur 80 %.
- Amélioration du matériel: (résine PE) pour supprimer le stress-cracking (meilleures résines + traitement de la gaine biwall par rayons gamma pour obtenir une polymérisation maillée).

- . Recyclage du personnel de culture pour passer de la raie au g à g.
- Lutte contre les attaques de la gaîne par les vandales, les rats, les mangoustes et surtout les fourmis (dans un essai, un élargissement de 16 % du nombre des orifices a fait passer le CV de 5 à 219 %). Essais divers de "formicides". Maintenant la gaîne "Guard-Wall" avec ses 2 bourrelets longitudinaux est utilisée sur 10 % de la surface g à g.
- Lutte contre les obstructions : dès 1975 ce n'était plus un obstacle, grâce à des purges de rampes toutes les 500 heures de fonctionnement pour les eaux de surface, et des traitements chimiques par eau de javel (10 ppm de Cl résiduel au goutteur le plus éloigné).

Il y a de nettes différences dans la sensibilité à l'obstruction entre les diverses fabrications, les goutteurs à écoulement laminaire étant plus sensibles au limonage irréversible que les goutteurs à écoulement turbulent.

. Lutte contre les pincements des rampes (pinching) par les tiges de canne. La pose des gaînes dans un sillon de 15 cm de profondeur a réduit mais non supprimé la difficulté car on doit aussi éliminer les repousses de canne proches de la rampe et si possible relier à un porte-rampes les extrémités de rampes.

## - Description des installations actuelles

- . Canne à sucre : 35 200 ha. Décanteur, filtre à sable (débit inférieur à 20 gpm/pied carré soit 12,8 m³/h m²), régulateur Senninger, gaîne Biwall et purge de rampe AMS.
- . Ananas : 3 200 ha idem mais gaîne Biwall ou Twinwall
- Noix de Macadamia: 1 800 ha filtre à tamis 100 mesh pour eau de nappe (2/3) ou à sable pour eau de surface (1/3). Rampe ovale, posée sur le sol ou enterrée comme le Biwall. Goutteur auto-régulant (J. Hardie DPC 04) ou mini-asperseur.

### - Perspectives

- Canne: Utilisation des eaux usées de sucrerie, si l'on peut arriver à un traitement économique, car le rendement en sucre brut (moyenne sur 6 ans) passe de 23,4 à 29,1 T/ha), avec une réduction des frais de main d'oeuvre de 500 \$/ha).
- . Ananas : Les nématicides classiques perdent de leur efficacité : on peut les remplacer par des nématicides plus élaborés injectés dans les bulbes. Les plantations se reconvertissent en goutte à goutte à la cadence de 1 600 ha/an.
- Noix de Macadamia: Le goutte à goutte permet de maintenir cette culture compétitive avec les autres producteurs mondiaux.

L'automatisation complète de l'irrigation permettra de réduire les coûts, donc d'augmenter la rentabilité des cultures, en raison des salaires élevés (60 \$/jour). L'économie de main d'oeuvre justifie l'automatisation jusqu'à 250 \$/ha d'investissement.

Fresno I.6. Réponse à l'eau et à l'azote du coton irrigué en g à g (Response of trickle irrigated cotton to water and nitrogen) par D.D. Fangmeier, V. Mezainis, T.C. Tucker et S. Husman, Université d'Etat de Tucson, Arizona, E.U.

L'augmentation du prix de l'énergie et de la hauteur de pompage (baisse de la nappe) ainsi que les restrictions d'eau prévisibles, ont obligé les agriculteurs de l'Arizona à envisager de nouvelles techniques d'irrigation plus efficaces.

En 5 ans, les planteurs de coton ont installé 12 000 ha de g à g pour économiser l'eau et accroître les rendements, avec, en général, 1 rampe sur le sol pour 2 rangs, ce qui oblige à dérouler et réenrouler les rampes à chaque campagne. D'où un essai de g à g enterré sous chaque rang, avec un tuyau moins cher, assurant une meilleure irrigation, évitant de déplacer les rampes mais obligeant à mettre au point des techniques spéciales de culture adaptées à un réseau faiblement enterré.

L'essai avait 3 niveaux d'irrigation (0,6, 0,9 et 1,2 ETM) et 3 niveaux d'N (0, 114 et 224 kg/ha), avec des arrosages tous les 2 jours.

La réponse à l'eau a été excellente puisque la récolte a été presque proportionnelle à l'eau apportée (pluies comprises). La réponse à N a été moins nette (bon niveau N sur le témoin) et non significative, bien que l'apport moyen ait donné le meilleur rendement.

L'efficience de l'eau (en kg de coton par m³ d'eau) s'est avérée la meilleure, en moyenne, avec le traitement moyennement arrosé (0,9 ETM) soit 0,547 kg/m³, bien que l'efficience maximale ait été obtenue à la fois pour 0,6 ETM + 112 kg N et 0,9 ETM + 224 kg N. Une parcelle voisine conduite à la raie de façon à maximiser le rendement a donné 5 095 kg/ha (contre 5 170 et 5 850 kg/ha de moyenne à 0,9 et 1,2 ETM, avec une consommation estimée à 1 800 mm, ce qui donne une efficience de 0,283 kg/m³.

Fresno J.1 Le système Arizona: calcul du réseau g à g sur coton (The Arizona system: drip irrigation design for cotton) par Scott Tollefson, Coolidge, Arizona, E.U.

En 1979, le ler réseau g à g enterré a été installé sur 0,4 ha de coton en Arizona (d'où le nom de système Arizona). Depuis cette date, plus de 8 000 ha de g à g ont été équipés, en rampes enterrées ou posées sur le sol.

Le système Arizona utilise des gaines Biwall 18 x 90\* ou 24 x 96 espacées de 0,97 à 1 m sur des longueurs moyennes de 182 m, enterrées de 0,25 m sous la surface de chaque planche. Les postes sont de 4,8 à 9,7 ha et reçoivent 6 l/s pour apporter en 5 h 9,7 mm. L'eau pompée dans 1 ou 2 puits, est filtrée dans des filtres à sable. Les arrosages et apports d'engrais sont commandés par ordinateur.

Il y a une gaine enterrée sous chaque rang au lieu d'une gaine posée au sol entre 2 rangs jumelés. Dans le 1er cas, le sel est donc écarté du rang et, dans le 2ème cas, conduit vers les 2 rangs adjacents, ce qui nuit à la germination.

On refoule directement à partir du puits (au lieu d'avoir exhaure et mise en pression) et on injecte en permanence de l'acide sulfurique pour abaisser le pH, ce qui permet d'injecter des engrais sans problème. D'où des rendements plus élevés et une qualité de fibre supérieure. Le même réseau irrigue aussi un blé ou une orge qui suit la culture de coton.

L'extrémité des rampes est reliée à une conduite de purge commandée par une seule vanne, ce qui réduit les besoins en main d'oeuvre et permet de faire des purges plus fréquentes.

Conclusion: "Le système Arizona assurera la survie de l'agriculteur moderniste, maintenant et dans le futur". (Sic)

N.D.T.: Rapport intéressant, mais trop qualitatif (pas de chiffres ni pour les investissements, ni pour les rendements comparés).

<sup>\* 18</sup>x90 signifie que les orifices extérieurs sont espacés de 90 cm (soit 1 orifice intér ieur pour 5 orifices extérieurs).

Fresno M.6 Application de P par réseau g à g souterrain (Phosphorus application through a subsurface trickle system) par R.G. Chase, Université d'Etat d'Honolulu, Hawaĩ, E.U.

L'application de P en fertigation diminue la main d'oeuvre, mais n'a pas toujours été très encouragée, à cause des problèmes de précipitation et d'obstruction des goutteurs, et aussi parce que le P minéral est immobilisé dans le sol au voisinage même des goutteurs, alors que les plantes peuvent se trouver éloignées. Cependant on a pu émettre l'idée que cette immobilisation, qui entraîne une localisation de P dans le sol pouvait constituer un avantage similaire à la localisation par sous-solage en bandes parallèles aux rangs de culture. On peut alors placer les graines ou plantes repiquées dans cette zone enrichie. L'essai relaté avait pour objet de déterminer si cette localisation est avantageuse par rapport à un épandage en surface.

Parcelle en sol volcanique, à haut pouvoir absorbant en P, située à Hawaī, à 850 m, altitude favorable à la production maraichère.

Gaines simples ("monowall") espacées de 0,3 m, enterrées de 7 cm, orifices tous les 0,45 m. Repiquage de laitues directement au dessus de chaque orifice (repéré par tache humide en surface, d'abord immédiatement après injection de P, puis 20 semaines plus tard. L'absorption de P a été très nette pour la lère culture par rapport à l'épandage en surface, et le rendement supérieur. L'inverse fut constaté à la 2ème culture. Donc le P a été fixé par le sol à proximité des orifices de la gaine, ce qui a permis de mieux alimenter la lère culture. Par contre, il faut remettre du P à la récolte suivante.

Il est donc possible, par fertigation, d'apporter du P à une culture, non pas au fur et à mesure de ses besoins, mais en une seule dose avant sa mise en place.

Fresno M.9 Réponse du coton en g à g enterré (Cotton response to sub-surface trickle irrigation) par Z. Plaut, M. Rom et A. Meiri, Institut d'étude du sol et de l'eau, Bet Dagan, Israël.

Depuis quelques années en Israël le coton s'irrigue de plus en plus en g à g. Mais l'investissement est élevé, le réseau fragile, et le travail de pose et dépose des rampes important. L'installation de rampes enterrées remédie en partie à ces inconvénients et a été réalisée sur d'autres cultures (tomate, maïs). D'où une expérimentation pour déterminer la production et la consommation en eau d'un réseau en surface et d'un réseau enterré. Conduite 2 années de suite sur la même parcelle (1983 et 1984), dans un terrain argileux lourd au sud d'Israël. Les rampes furent installées avant la lère campagne à 0,40 m de profondeur sur la moitié de la surface avant le ler semis et les rampes en surface le furent à chaque campagne 45 jours après le semis. Dans les deux cas, une rampe au milieu d'un interligne sur deux, avec des goutteurs de 2 l/h espacés de 1 m. Besoins en eau à l'ETM déterminés à partir de l'évapotranspiration Ebac classe A et du stade de croissance qui intègre le taux de couverture du sol. Divers traitements ont porté sur la dose (par arrosage et annuelle) et la fréquence (2 ou 5 arrosages/ semaine)

Bloc randomisé avec 4 (1983) ou 6 (1984) répétitions.

En 1983, le rendement fut le même quelle que soit la variable (position des rampes, quantité d'eau, fréquence d'arrosage). En 1984, le rationnement entraîna une réduction du rendement, quelle que soit la position de la rampe, mais cette réduction fut moindre avec les rampes enterrées (d'où efficience plus grande de l'irrigation).

Traitement	Total eau	Rampes er	n surface	Rampes	enterrées
	appliquée	Rendement	Efficience	Rendement	Efficience
	(mm)	t/ha	kg/m³ d'eau	t/h a	kg/m³ d'eau
1	422	6,13	0,145	5 <b>,</b> 91	0,140
2	364	5,19	0,143	5,36	0,147
3	322	4.55	0.141	5.01	0.156

Observations: Léger retard dans le nombre de capsules au départ pour les rampes enterrées, mais aucune différence à la récolte. Il semble que la différence de rendement soit due surtout au poids des capsules. L'application de l'eau en sous-sol semble inhiber la croissance végétative aux faibles rationnements et l'augmenter aux forts rationnements. En fait la réduction de l'évaporation en surface est en partie compensée par une augmentation du drainage en profondeur, et les rampes enterrées ont une meilleure efficience quand on réduit les apports car le drainage est réduit et le stress hydrique également (par rapport au g à g en surface). Les fonctions de rendement:

```
. rampes en surface y = 1,101x + 6 | x étant l'eau apportée . rampes enterrées y = 0,63x + 225 | par l'irrigation
```

indiquent l'avantage des rampes enterrées quand les apports d'eau sont faibles et leur désavantage quand elles sont fortes.

N.D.T.: Ceci tend à montrer que, dans les conditions de l'essai (sol argileux), il y a une tendance à la saturation de la zone racinaire quand les rampes sont enterrées, donc que le g à g enterré n'est intéressant que si le rationnement est suffisant pour empêcher cette saturation. La réduction de l'évaporation en surface explique alors la meilleure efficience de l'eau qu'en g à g classique. Les rendements sont presque proportionnels aux quantités d'eau apportées, avec une efficience en légère augmentation.

Fresno N.1 G à g sur cultures industrielles, L'expérience d'Hawaî (Practical drip irrigation for furrow crops. The Hawaîan experience) par William L. Pyle et Randal C. Moore, déjà auteurs du rapport B2. E.U.

Ce rapport complète Fresno B.2. Ce qui suit est un simple résumé.

## - Historique

Depuis 1882, la Compagnie Commerciale et Sucrière d'Hawaï irriguait à la raie (raies profondes de 46 cm de profondeur) la canne à sucre sur des sols volcaniques très perméables. Du fait que les raies rendaient impossible la mécanisation de la culture, elle a dû passer à la culture à plat, avec aspersion entièrement fixe 18 x 18 m, 2 500 dollars/ha plus dégâts à réparer après la récolte qui a lieu tous les 24 mois. 1 600 ha étaient ainsi équipés en 1974, mais des essais en g à g étaient réalisés avec divers types de goutteurs depuis plusieurs années. En 1974, 6 070 ha avaient été convertis en g à g, avec des coûts moindres et des rendements en sucre supérieurs. Aussi l'aspersion fut-elle abandonnée au profit du g à g.

Il faut irriguer 100 % des parcelles du fait de la variabilité des pluies qui tombent en hiver (0,38 à 1,52 m) alors que la canne utilise environ 1,9 m d'eau par an. Les débits excédentaires sont stockés dans le sol en prévision des étiages, et les réseaux sont conçus pour apporter 16,5 mm/jour alors que l'ET de pointe n'est que de 10,2 mm/jour. Les ressources consistent en eau de ruissellement, en provenance des hauteurs boisées, qu'il faut utiliser quand il y en a, et en eau de nappe utilisée en complément à partir de 16 forages profonds. L'eau de ruissellement est collectée par tout un réseau de

canaux et galeries de plus de 135 km et peut fournir un débit maximal de 26 m³/s en période de pluie, pour un débit moyen de 7 m³/s. Les puits peuvent fournir aux parcelles les plus basses un débit maximal de 12 m³/s qui n'est utilisé que lorsque l'eau de ruissellement devient insuffisante. On peut stocker 3,8 millions de m³ répartis en 49 réservoirs et en année moyenne 55 % des besoins sont couverts par l'eau de ruissellement.

On filtre grossièrement l'eau de surface sur des tamis verticaux puis sur tamis horizontal 100 u. puis sur filtre à sable sous pression avec décolmatage automatique déclenché par la perte de charge. Comme on fonctionne gravitairement, les électrovannes sont alimentées par des cellules photovoltaïques. On injecte ensuite du chlore gazeux par un venturi de facon à obtenir 10 mg/l au moins de chlore libre en bout de rampe pendant 30 minutes par jour. On injecte aussi N, P et K en fonction des analyses du sol et des feuilles. Les unités d'arrosage sont de 1 acre (0,4 ha). Les rampes sont en gaines Biwall enterrées de 7 cm, avec orifices distants de 0,6 m. Espacées de 2,7 m, elles irriguent des rangs jumelés de canne espacés de 0,9 m, à un débit de 2,31/h/m (soit 4 1/h/orifice). Toutes les unités d'une parcelle (surface 15 à 180 ha) sont arrosées en un seul poste. La majorité des gaines ont une épaisseur de 15 millièmes de pouce, quelques-unes en sol cailloute ux sont en 19 millièmes. Les rampes sont enterrées par la machine qui plante les cannes, et sont détruites lors de la récolte, c'est-à-dire tous les 2 ans. Les coupures de rampe sont réparées avec grand soin (purge obligatoire en aval). Lorsqu'il y a des développements de micro-organismes, on fait une superchloration à 100 mg/l de chlore suivie de purges énergiques manuelles (le rendement est affecté lorsque 5 % des orifices sont obstrués et, à 35 %, la réduction de rendement est très sensible).

## Résultats : en moyenne :

- par rapport à la raie, on obtient 22 % de rendement en plus, avec 33 % d'eau et 60 % de travail en moins. En tout les frais de culture sont réduits de 495 dollars par ha et par an (ceci malgré la destruction de la gaine tous les 2 ans).
- . par rapport à l'aspersion, on obtient 35 % de rendement en plus, avec 15 % d'eau en moins. Il y a surtout réduction d'énergie pour la mise en pression (1,8 kw/ha) alors que le g à g est souvent utilisé par simple gravité, de fait de la pente du terrain.

Fresno N.9 Comparaison entre g à g et aspersion sur maîs (Drip irrigation of maize) par Jorge E. Safontas et Jan Carlo di Paola, Sté James Hardie, Rome, Italie.

D'après ce rapport, plus économique et même plus commercial que technique, le maïs s'adapte bien à des arrosages faibles et fréquents, alors que l'aspersion a des effets désastreux en sol battant. Aussi le biwall enterré à 5 cm au milieu d'un interligne sur deux (espacement des rampes 1,5 m) aurait-il donné de bons résultats (115 à 120 qx/ha contre 85 à 90 en aspersion) avec un investissement moindre. Il semble utile :

- -de poser la gaine en même temps que l'on sème les deux rangs de maîs qu'elle doit irriguer, car on est alors sûr de sa position au milieu de l'interligne
- -de récolter le maîs avant de réenrouler la gaine, opération qui prend 5 heures par ha.

Fresno O.7 Equipement de pose et dépose des rampes. Amélioration du freinage des tambours de déroulement (Lateral handling equipment : an improved reel braking system) par Wayne Coates, Université de Tucson, Arizona, E.U.

Il y a 2 types de bobines, les petites (300 m de rampe, 20 kg max.) et les grandes (jusqu'à 7 400 m et 550 kg).

L'auteur expose les inconvénients de la pose des rampes au sol en début de culture annuelle. Cette pose se fait en général plusieurs rampes à la fois et à la vitesse normale du tracteur (10 km/h). Lorsque le tracteur ralentit, les tambours continuent à tourner et à dévider leurs tuyaux. La vitesse de rotation est la même pour tous les tambours, et on risque d'avoir une rampe mal enroulée qui provoque un enchevêtrement de plusieurs tours de tuyaux. On peut placer un ouvrier par tambour afin de régler la vitesse de rotation, mais les conditions de travail sont pénibles (poussière) et dangereuses.

A la dépose, le problème ne se produit pas puisque une seule rampe à la fois est enroulée à poste fixe en extrémité de raie.

L'auteur a mis au point un système de freinage automatique hydroélectrique pouvant fonctionner à la dépose comme à la pose. Des essais en laboratoire se sont déroulés de façon satisfaisante pour des vitesses de 3 à 16 km/h, des essais à la parcelle également.

N.D.T.: Ce système est économique en main d'oeuvre et surtout améliore la sécurité du personnel.

Fresno R.4 Effet du DT sur les propriétés chimiques du sol (Trickle irrigation effects on soil chemical properties) par H.I. Nightingale, C.J. Phéné, et S.H. Patton, Fresno, Californie, EU.

Cet essai qui n'a duré qu'un an lors de la rédaction du rapport avait pour objet de comparer le g à g de surface et le g à g souterrain (0,45 m de profondeur) au point de vue propriétés chimiques du sol. L'objectif final est de déterminer l'influence de la fréquence d'arrosage et du taux de rationnement sur le rendement, la qualité et l'efficience de l'eau dans le cas d'une culture de tomate de conserve.

La diminution de la teneur en sels, en cations solubles et en nitrates, a été moindre en g à g souterrain qu'en g à g de surface à grande fréquence et bien moindre qu'en g à g de surface à faible fréquence.

Fresno S.7 Effet de la fréquence d'arrosage et de la profondeur de pose des rampes g à g sur la croissance de la tomate et son état hydrique (Effects of trickle irrigation frequency and installation depth on tomato growth and water status) par R.B. Hutmacher, S.S. Vail, J.G. Muthamia, V. Mwaja et R.C. Liu, Fresno, Californie, E.U.

L'effet de la fréquence d'arrosage sur la tomate est bien connu dans les sols à texture grossière dont la RFU est faible, mais beaucoup moins dans le cas de sols à texture fine (et forte RFU), qui fait l'objet du rapport.

Un essai sur tomate de conserve, qui est également présenté dans le rapport U2, a en effet été conduit sur sol argilo-limoneux en 1984 dans la station expérimentale ouest de l'Université de Californie.

Plantation en rangs jumelés distants de 75 cm x 88 cm, irrigués par une rampe en milieu d'interligne, pourvue de goutteurs 4 l/h en ligne espacés de 0,91 m.

3 traitements avec 4 répétitions dans un bloc randomisé :

T1: g à g enterré à 45 cm avant plantation Pilotage selon les besoins déterminés sur un lysimètre pesable de 4 m², avec des arrosages de 1 mm pour T1 T2: g à g en surface avec arrosages peu fréquents

et T3, 25 mm pour T2, puis réduction progressive à 0,9 - 0,8 - 0,7 et 0,6, durant 4 périodes successives de 7 jours ayant la récolte

T3: g à g en surface avec arrosages très fréquents

Donc mêmes quantités d'eau appliquées et aussi même fertilisation.

Mesures effectuées : potentiel foliaire, ouverture des stomates, température du feuillage, plus les données nécessaires pour mesurer le CWSI (Crop Water Stress Index) de Jackson.

Observations: Très peu de différences dans les mesures, aucune différence dans les rendements (# 130 t/ha) pour cet essai qui devrait être poursuivi encore 2 ans, afin de vérifier, dans des conditions climatiques un peu différentes, les résultats obtenus.

On peut seulement noter, pour le poids total des fruits, une récolte un peu plus précoce pour T3 et un léger retard pour T2, qui finalement a rattrapé et même légèrement dépassé les 2 autres à la récolte, si l'on tient compte seulement des fruits mûrs (rouges), alors que Fresno S.10 et U.2 comptent également, dans leurs chiffres, les fruits restés verts (qui sont sans intérêt réel, puisqu'il s'agit de tomates à conserve).

Fresno S.10 Evapotranspiration et coefficient cultural de la tomate irriguée en g à g (Evapotranspiration and crop coefficient of trickle irrigated tomatoes) par C.J. Phéné, R.L. Mc Cormick, J.M. Miyamoto, D.W. Meek et K.R. Davis, Laboratoire de recherche sur l'utilisation de l'eau, Fresno, Californie, E.U.

Les auteurs rappellent l'importance de la tomate de conserve en Californie (13ème rang des cultures, 100 000 ha, 327 millions de dollars de produit brut), qui dépend presque entièrement de l'irrigation pour son alimentation en eau.

L'irrigation traditionnelle se fait à la raie ou par aspersion, mais les essais faits en g à g (en surface ou enterré) ont montré qu'avec une couverture correcte des besoins en eau et en engrais, on obtenait des augmentations de rendement appréciables et une amélioration de l'efficience de l'eau. Cependant, il importe de bien réaliser la programmation des arrosages car des doses excessives peuvent provoquer de l'hydromorphie, des pertes d'engrais et des réductions de rendement. On peut aussi utiliser, en complément de l'eau du réseau, des pompages dans la nappe salée, sans nuire au rendement puisqu'en g à g l'eau est apportée de façon fréquente.

Il en résulte une efficience encore meilleure de l'eau du réseau.

Mais on ne connaissait pas les besoins exacts en g à g de la tomate de conserve. D'après un essai récent de Pruitt, ces besoins sont les mêmes qu'en irrigation à la raie, soit 587 mm par campagne.

Un nouvel essai début 1984 dans la station expérimentale ouest de la Californie, sur sol argilo-limoneux, a eu pour objet de préciser l'influence de la position de la rampe (sur et sous la surface)et de la fréquence des arrosages sur l'évapotranspiration, la croissance végétative et le rendement.

3 traitements, répétés 4 fois, en bloc randomisé. Semis direct, avec 2 rangées par planche de 1,7 m de largeur. Apports d'engrais 112 kg/ha de (11.48.0) sous les rangées, lors du semis, le reste (150 kg/ha N) étant injecté à chaque arrosage du 140 au 180ème jour après le semis.

T1: rampes enterrées à 0,45 m, goutteurs 4 l/h en ligne.

espacés de 0,92 m

doses de 1 mm

T2: mêmes rampes en surface T3: mêmes rampes en surface

doses de 25 mm

Aspersion (100 mm) utilisée pour faire germer le semis en g à g enterré, puis après en cas d'accumulation de sel en surface pour lessiver (en complément des pluies).

Lysimètre pesable de 4 m². 28 jours avant récolte, réduction des arrosages, soit progressive à 0,9, 0,8, 0,7 et 0,6 ETM pour chaque semaine consécutive afin d'augmenter la teneur en M.S. de la pulpe, soit brutale, 26, 20, 14 ou 7 jours avant récolte. L'évolution des teneurs en eau dans le lysimètre et dans chaque traitement a été mesurée par sonde à neutron.

#### Observations:

	eau consommée	Rendement	
	mm	t/ha	kgm³
ETP du semis à la récolte	1 008		
Lysimètre (ETM)	692	ļ	
T1: avec réduction	599	142,4	21,6
T2: progressive	595	142,4 146,6	22,6
T3: des arrosages	591	137,6	21,6 22,6 19,8
Arrêt de l'arrosage sur T2		·	
26 jours avant la récolt	e 495	103,1	17,2
T1: 20 id	527	119,8	19,7
T2: 14 id	557	137,4	17,2 19,7 22,1
T3: 7 id	579	148,3	23,8

Conclusion: Pas de différence significative entre les g à g de surface et enterrés avec arrosages légers (1 mm) et très fréquents.

En g à g avec arrosages massifs (25 mm) et espacés, légère réduction de l'eau appliquée, légère augmentation de l'ETR, des rendements et de l'efficience (due à une meilleure utilisation de la réserve hydrique) s'il y a cessation brutale des arrosages, mais réduction du rendement agricole de 6 %, ainsi que de l'efficience de l'eau s'il y a réduction progressive des arrosages.

L'arrêt des arrosages plus de 14 jours avant la récolte réduit la consommation, mais aussi le rendement et l'efficience de l'eau pour les 2 traitements g à g de surface.

Le lysimètre pesable a permis de dresser la courbe du coefficient cultural (par rapport à l'ETP gazon) c'est-à-dire 0,2 pendant 130 jours après le semis, à la lère fleur augmentation rapide à 1, puis réduction progressive jusqu'à 0,8 à la récolte.

N.D.T.: La faible différence entre les g à g à arrosages très fréquents (1 mm, c'est-à-dire plusieurs fois par jour) et arrosages espacés (25 mm, c'est-à-dire 1 arrosage pour 4 à 6 jours) ne semble pas justifier, dans la pratique, le supplément de coût et de suivi des arrosages très fréquents.

Fresno U.1 G à g enterré sur coton et céréales d'hiver (Sub-surface drip irrigation of cotton and small grains) par S. Tollefson, entomologue et agronome, Coolidge, Arizona, E.U.

Il existe 2 écoles pour le g à g sur cultures annuelles :

<sup>-</sup> l'école israélienne utilise des rampes en surface

<sup>-</sup> l'école américaine utilise des rampes enterrées.

A "Sundance Farms", de 0,4 ha en 1979, la surface irriguée en enterré est passée en 1984 à 314 ha, plus 4 ha de g à g en surface à titre de comparaison. On a donc :

- . du Biwall 15\* pour les rampes enterrées à 20-25 cm.
- . des rampes 30\* (tous les 2 rangs) espacées de 1,9 m en surface avec goutteurs tous les 0,95 m. Le g à g produit bien plus en coton que l'irrigation à la raie, grâce à l'usage intensif de la chimigation : engrais, oligo-éléments, insecticides systémiques (peu efficaces), nématicides et surtout fumigants (Soil brome, Vapam, CS2), amendements tels que SO4H2, injecté en continu, qui élimine les bicarbonates et l'entartrage, donc permet au ClNa d'être plus aisément lessivé. La conductivité électrique des parcelles irriguées auparavant à la raie aurait nettement baissé depuis qu'elles sont irriguées en g à g.
- \* Ces chiffres indiquent l'épaisseur de paroi en millièmes de pouce (0,0254 m)

Fresno U.2 Fréquence d'arrosage et position de la rampe (en surface ou enterrée) sur tomates irriguées en g à g (Trickle frequency and installation depth. Effects on tomatoes) par K.R. Davis, C.J. Phéné, R.L. Mc Cormick, R.B. Hutmacher et D.W. Meck, Laboratoire de recherche sur l'utilisation de l'eau d'irrigation, Fresno, Californie, E.U.

Même essai qu'en R.4 et S.10.

Les auteurs ont ajouté dans ce rapport le pourcentage de tomates commercialisables et les critères de qualité relatifs aux divers traitements.

"Rendement, qualité et ET n'ont pas été affectés par la position de la rampe (en surface ou enterrée) par des doses fréquentes. La comparaison entre g à g de surface avec arrosages fréquents ou espacés a montré une légère supériorité des arrosages fréquents, bien que non significative à 95 % de probabilité. L'arrêt de l'irrigation avant récolte est favorable pour 7 jours, mais défavorable au dessus de 14 jours, à la fois en rendement, en qualité et en efficience de l'eau d'irrigation".

Fresno U.3 Type de rampe, effets de la position des rampes et du régime d'irrigation sur la canne à sucre (croissance et rendement) (Dripline type, placement and water regime effects on sugar cane growth and yield) par G.C. Soopramanien, R.H. Nayamuth (Ile Maurice), C.H. Batchelor et S.R. Wellings, Institut d'Hydraulique à Wallingford, (Grande-Bretagne).

Les recherches sur la canne à Hawaî n'étant pas directement transposables ailleurs (climat et pratiques culturales différentes), des recherches ont été entreprises à l'Île Maurice par le MSIRI (Institut de recherches sur l'industrie du sucre à Maurice) et l'ÎlH (Institut d'Hydraulique) pour rechercher l'influence de divers facteurs sur la réponse de la canne à l'irrigation g à g, notamment : le choix, la durabilité et la position de la rampe par rapport à la surface, les doses et fréquences d'arrosage, l'espacement des orifices, la conduite de la canne avec cultures intercalaires, les méthodes de contrôle de l'irrigation.

3 essais, au Nord de l'île (pluviométrie 1.432 mm, sol rouge brun limono-argileux). L'un des essais a consisté en 8 traitements et 3 répétitions en bloc randomisé, 2 niveaux d'irrigation (0,5 et 1 ETM) avec arrosages journaliers, 2 types de rampes (double gaine à orifices distants de 0,30 m, débit 1,2 l/h, et goutteurs en ligne distants de 0,91 m débit 3,8 l/h). 2 positions de rampe enterrée à 0,2 m, soit sur chaque rang, soit au milieu de l'interligne des rangs jumelés (2,26 + 0,97). Même niveau d'engrais, P et K à la plantation, N apporté par le réseau. Plantation en avril 83, récolte en juillet 84.

Les rendements vont d'un maximum de 17 t/ha de sucre à 1 ETM avec goutteurs à un minimum de 14,1 t/ha à 0,5 ETM avec gaine double.

- . Pour le niveau d'alimentation en eau, 0,5 ETM semble suffire pour la phase végétative (0,6 à 1 t/ha seulement de sucre en plus pour 1 ETM).
- . Pour la position de la rampe, 1 rampe pour 2 rangs jumelés donne les meilleurs résultats, quels que soient les autres facteurs.
- . Pas de différence significative entre les 2 types de rampe (bien que la rampe avec goutteurs ait presque toujours donné des rendements un peu supérieurs), ceci étant dû sans doute à la bonne diffusivité latérale du sol de l'essai.

Cependant on a observé une meilleure durabilité des rampes car les gaines ont été attaquées comme à Hawaï par des fourmis, malgré des traitements insecticides tous les 3 à 4 mois (qui ne sont guère recommandés en raison du succès de la lutte biologique contre les autres insectes).

La mise des rampes sous le sol est presque obligatoire en raison des dégâts causés par le feu et la récolte. Mais beaucoup de gaines ont été pincées entre 2 repousses ou du fait de la croissance de l'ensemble du pied de canne, et ceci d'autant plus que la rampe était à une profondeur inférieure à 20 cm. A Hawaī, les rampes sont remplacées après chaque récolte c'est-à-dire tous les 2 ans, alors qu'à Maurice, l'objectif est de durer 10 ans (une première récolte + 8 rejets). Il semble, dans ces conditions, que la gaine double ne puisse durer 10 ans. Donc la rampe g à g serait préférable à la gaine double.

Fresno U.4 G à g enterré sur cultures annuelles successives (Sub-surface trickle irrigation in a continuous cropping system) par R.G. Chase, Université du Texas, thèse passée sur un travail fait à Hawaĩ, E.U.

En cultures annuelles irriguées en g à g, la destruction des rampes est coûteuse et nuisible à l'enracinement, leur enlèvement avec remise en place constitue une sujétion importante, coûteuse également, surtout dans les régions tropicales où l'on peut en l an effectuer 6 cultures successives ou davantage, à condition de protéger les rampes des façons culturales et du tassement dû aux circulations. Les rampes enterrées, protégées contre l'ensoleillement, peuvent constituer une bonne solution, si l'on arrive à assurer leur maintenance sur de longues périodes sans sujétions excessives.

D'où cet essai réalisé à Hawaî, à 850 m d'altitude, dans des conditions propices au maraîchage (cendres volcaniques légères), en non culture, ainsi que dans des conditions moins favorables : sol plus argileux (à caractère vertique), au niveau de la mer. Les hauteurs annuelles de pluie sont respectivement de 760 et 1400 mm/an, mais l'irrigation est indispensable entre les épisodes pluvieux.

- Description: 2 rampes de 6 m de long enterrées sur chaque site à 8 cm de profondeur, goutteurs disposés vers le haut, le reste des rampes étant laissé à l'extérieur afin de juger de leur tenue au soleil. Après 21 mois, enlèvement et examen pour évaluer les dommages subis. Cet essai a été conduit sur 11 rampes commercialement disponibles (33 m au total par type de rampe) pendant 18 mois d'affilée.

La compacité du sol a été suivie par prélèvement d'échantillons durant l'essai et l'effet d'une compacité maximale a été étudiée après 10 passages de tracteur sur la moitié de chaque parcelle élémentaire. 7 cultures de laitue repiquée et une de chou se sont succédées sur le même sol, chaque plant étant mis en place à la verticale d'un goutteur enterré, facilement repérable grâce à l'humidité du sol en surface. Chaque plant fut pesé à la récolte afin de déceler toute réduction de récolte qui aurait pu résulter de l'obstruction des goutteurs, de la compaction du sol, de l'apparition d'une maladie ou de toute autre cause.

#### - Résultats :

• Tenue des conduites. Les conduites enterrées étaient en fin d'essai en bien meilleur état que les conduites laissées en surface exposées au soleil de Hawaî particulièrement riche en UV. Même les conduites principales en PVC et PE laissées sur le sol étaient bien plus fragiles après un an seulement.

Les rampes enterrées ont cependant subi 3 types de dommages :

- a) rampes coupées pendant les travaux de plantation ou de sarclage.
- b) orifices élargis par les fourmis (Solonopis geminata) 30 orifices sur 700 élargis en 2 semaines
- c) orifices percés par les rhizomes de cyperus rotundis (purple nutsedge)

L'inconvénient a fut éliminé en élevant les planches 40 cm au dessus des voies de circulation pour mieux définir les limites des parcelles et la position des rampes, en enterrant celles-ci à 13 cm minimum pour réduire la pousse des adventices, enfin en accoutumant le personnel à la présence du réseau enterré.

L'inconvénient b est rédhibitoire en sol infesté de fourmis, car les insecticides utilisés sont peu efficaces, cependant une protection physique (Chang et al 1980) des orifices offre quelque espoir de protection.

L'inconvénient c reste limité aux faibles épaisseurs de PE (3 et 4 millièmes de pouce, le 3 millièmes étant percé en moyenne tous les 1,5 m). Des épaisseurs plus fortes (8 millièmes) de PE ou des gaines en PVC (5 millièmes) n'ont pas été percées. Donc ce problème semble soluble.

- Compaction du sol: la compaction s'est faite naturellement sur les sols volcaniques du ler site, sans différence notable entre la couche de surface (0 3 cm) et la sous-couche (3 9 cm). Par contre, sur le 2ème site, la compaction a évolué plus rapidement dans la sous-couche et l'on a dû fractionner les arrosages pour réduire le ruissellement. La densité du sol compacté mécaniquement sur le 1er site est passé de 0,69 à 0,92, le pourcentage de goutteurs bouchés de 20 à 35 % et le rendement en salade de 2,02 à 1,67 kg/pied.
- . Effet de la succession des cultures : pas de différence significative entre la première et la dernière culture de salade.
- Perspectives: l'auteur estime que la culture sans labour, déjà largement répandue, peut être utilisée pour protéger des rampes g à g enterrées et les faire durer plus de 2 ans dans une rotation intensive de cultures annuelles. Il n'est pas apparu, au bout de 18 mois d'essai, qu'un labour ou un remplacement des rampes soit nécessaire pour retrouver la productivité initiale du sol, et ceci pour 2 sols très différents.

N.D.T.: Cependant l'augmentation du nombre des goutteurs bouchés me parait significative et rédhibitoire pour la continuation de la culture au delà des 18 mois de l'essai.

Fresno U.5 Rotation coton/blé/orge en g à g sur sols salés et sodiques (Drip irrigation of a cotton wheat barley rotation under saline sodic conditions) par H. Frenkel, A. Montell, O. Zir et A. Meiri, Institut Volcani, Bet Dagan, Israël.

Le résumé (qui seul figure) indique qu'au printemps 1983, dans le N.O. du Negev (Kibbutz Nirim), un essai a été entrepris, avec de l'eau salée et sodique, pour déterminer l'effet des 3 facteurs suivants :

## - Position des rampes

- . en surface
- . enterrées à 25 cm

### - Espacement des rampes

- . I rampe par rang
- . 1 rampe dans 1 interligne sur 2.

## - Qualité de l'eau

- . 3,5 dS/m (puits local)
- . 10 dS/m (puits local + ClNa).

Après une culture de coton, on a fait un semis d'orge et de blé afin de lessiver, avec l'aide des pluies d'hiver, les sels accumulés dans le sol en été, et aussi d'avoir une autre récolte. Les semis ont été irrigués avec de l'eau à 1 dS/m du réseau national de transport de l'eau en provenance du lac de Tibériade. Puis, après la récolte des céréales, de nouveau plantation de coton.

Aucun résultat indiqué, aucune réponse faite à ma demande aux auteurs.

Budapest 11. Techniques et matériels utilisés en irrigation souterraine avec des eaux propres ou usées (Peculiarities of techniques and technology for underground irrigation of agricultural crops by pure and waste mater) par Pak Elijah Vonmovich, chef du laboratoire de recherche sur les techniques d'irrigation souterraine de toute l'Union Soviétique, Raduga, URSS.

L'auteur vante les mérites de l'irrigation souterraine (-45 à -60 cm) notamment avec des eaux usées. Exemple : un équipement de ce genre dans un centre de la région de Moscou sous une pression de 0,6 à 1,5 m.C.E. Les doses sont faibles et la capillarité intervient du fait de la succion exercée par les racines des cultures. Grande économie d'eau (évaporation réduite) de 25 à 50 % par rapport à l'aspersion. De plus, pas de contact entre l'eau d'une part, les cultures et les hommes d'autre part, d'où possibilité d'utiliser des eaux domestiques, du purin et des eaux usées de conserverie.

Pas de compaction du sol, apport de substances nutritives par les eaux usées, pas de travail du sol après arrosage.

L'URSS a une grande expérience dans ce type d'irrigation (conception, réalisation et exploitation). L'eau doit être dans les rampes à une pression faible (1 m environ), avec des perforations ou des fentes car le débit dépend essentiellement de la conductivité hydraulique du sol, et le limon et les matières organiques passent de la rampe dans le sol où elles sont transformées par la microflore.

On peut localiser ou non les apports, les fractionner ou non dans le temps.

- Apports non localisés sur les grandes cultures, avec des eaux usées. La composition chimique de l'eau doit correspondre aux besoins spécifiques (sol et climat) de la région. De plus la M.O. doit être < 300 mg/l, la charge minérale < 100 mg/l. Les particules, minérales et organiques, doivent rester < 5 mm.

Pente ( 1 %, profondeur de nappe > 3 m. La zone ne doit pas être inondable.

Rampes PE  $\phi$  32-40 mm, longueur # 150 à 200 m, espacement 1,5 à 2 m, fentes 35 mm (+ 5), largeur 2 mm (+ 0,2), espacement 350 mm. Porte-rampes amiante ciment.

Pose par draineuse sous-soleuse, fentes faites au moment de la pose sur la génératrice inférieure et si nécessaire un film imperméable de PE peut être posé au dessous des rampes, jusqu'à 700 mm de largeur, afin d'éviter la contamination de la nappe.

Les eaux usées traitées pour l'irrigation sont alcalines (pH 7 à 8). Haut niveau de M.O. (150 à 280 mg/l). Teneur en sel # 1 mg/l. On a cultivé, sur 20 ha, maîs, blé et fourrages pérennes. Rendement : 25 à 30 % de plus qu'en aspersion, du fait des fertilisants et de la matière organique.

Pour 2 500 m³/ha, 100 kg N, 50 kg P, 90 kg K, ont été ainsi apportés. Après 18 ans de fonctionnement le taux d'humus est passé de 1,07 à 1,82 % (à 0,25, 0,40 m de profondeur). Activité des bactéries aérobies agents de la minéralisation en N nitrique.

Pas de contamination de la nappe : la bande de PE sert aussi à l'empêcher et l'apport discontinu évite la formation d'un écoulement permanent.

- Apports localisés en taches ou bandes pour les petits fruits, les vignes, et les vergers à la fois en terrains plats et en pentes cultivées en bandes horizontales avec rampes de 50 à 100 m le long des rangs (25 à 50 % d'économie par rapport à l'aspersion), avec régulateur de pression en tête. Là aussi, on a un meilleur rendement avec des apports intermittents.

Résumé en 4 points

- Résumé en . on peut localiser ou non les apports en fonction des cultures
  - . en localisant on économise de l'eau
  - . on peut irriguer des sols sur des pentes importantes
  - on peut irriguer avec des eaux usées sans risque de polluer l'environnement.

Budapest 12 Maîtrise de l'humidité du sol en irrigation souterraine (Soil moisture control by subsurface irrigation) par Pierzgalski, Université agronomique de Varsovie, Pologne.

Les études entreprises depuis quelques années, sur modèle et au champ, montrent l'utilité de l'irrigation souterraine. L'auteur, qui a travaillé sur des tuyaux en PVC plastifié de petit diamètre, présente les problèmes techniques de la perforation et ses conséquences sur l'uniformité des débits, ainsi que le problème de l'écartement des rampes.

L'irrigation souterraine (premiers travaux de Bac 1937-1944) a rencontré les difficultés suivantes :

- Mauvaise uniformité
- Pertes excessives en certains points
- Envahissement du tuyau par des racines
- Coût excessif

Depuis 1960, l'utilisation des tuyaux en plastique permet de vaincre certaines difficultés et un intérêt nouveau se manifeste.

Des travaux récents ont été entrepris par l'Université de Varsovie. Petits tuyaux Ø 7 à 10 mm en PE ou PVC plastifié (poids réduit à 12 g/m soit 120 kg par ha pour 10 km/ha). Il faut des tuyaux en matière élastique pour que les perforations s'ouvrent au delà de 0,05 MPa (5mCE). Pendant l'arrosage, la pression chasse racines et particules hors du tuyau, ce qui prévient les obstructions et les queues de renard.

## L'uniformité de la distribution est la base de l'irrigation localisée

Divers essais de réalisation des perforations :

- avec une aiguille, à froid : CV # 0,4 à 0,6 mm
- avec une aiguille, à chaud : amélioration du CV de 0,1 mais ne permet pas de faire de trous 

  ✓ 0,4 mm d'où rampes courtes et risques d'obstruction élevés.
- avec un laser, on peut descendre à Q # 0,1 mm, avec une uniformité satisfaisante.

En théorie, il faut maintenir l'humidité du sol à un niveau optimal :

- grâce au bon choix : a- de l'espacement b- de la fréquence des arrosages
- bon choix réalisé en fonction :
  - . du sol et de la culture pour a
  - . des conditions climatiques pour b

## En pratique:

- Espacement des rampes : (0,5 m en sol léger jusqu'à 1,8 m en sol lourd pour obtenir une humidification totale du sous-sol.
- En verger, la pose à 0,5, 0,7 m de l'axe des troncs entraîne des risques de pourriture du collet d'où pose au milieu des interlignes.
- Profondeur des rampes: 0,4 à 0,5 m en culture annuelle. 0,5 à 0,8 en verger.
- Conduite des arrosages : il faut des arrosages très faibles, mais fréquents, pour éviter des poches d'hydromorphie et des pertes d'engrais en profondeur.

Le succès dépend de la précision et de la fiabilité des appareils de contrôle.

N.D.T.: Le système présenté offre certaines analogies avec le système italien Tournon de Turin (1968) qui utilise des fentes longitudinales pratiquées dans des tuyaux de PVC plastifié ou de copolymère élastique.

Budapest 34 L'irrigation souterraine en Hongrie: développement, champ d'application, pratique (Development, fields of application and practice of subsurface irrigation in Hungary) par Horanszky, Université d'Horticulture à Budapest (Hongrie).

L'obstacle essentiel à la généralisation de l'irrigation souterraine réside dans la pénétration des racines dans les rampes par les orifices des distributeurs (obstruction). Une 2ème difficulté est un mauvais pilotage en sol sableux où l'eau, percolant rapidement, entraîne en profondeur les engrais et les colloïdes du sol (lessivage).

On s'est efforcé d'éliminer ces obstacles, et de résoudre le problème de la pose mécanique des rampes :

- La pénétration des racines a été éliminée en effectuant une vidange très rapide des rampes après chaque arrosage, ce qui fait que les racines ne sont plus incitées à y pénétrer. On dimensionne les orifices de vidange de manière à améliorer le CU et à faire des réseaux de grandes dimensions.

- On réduit la perméabilité des sols sableux en disposant sous les rampes des bandes de plastique de 0,6 m de largeur à 0,5 ou 0,6 m de profondeur pour créer des micro réserves, et en réduisant les arrosages au remplissage de ces micro réserves.
- La pose des rampes et des bandes de plastique se fait mécaniquement, donc sur de vastes surfaces, avec un coût d'investissement global inférieur de 15 à 20 % au goutte à goutte classique. On peut également équiper un goutte à goutte classique de tuyaux verticaux conduisant l'eau directement dans les micro réserves : on combine alors les avantages du goutte à goutte classique et de l'irrigation souterraine, tout en améliorant la partie utile des précipitations naturelles et en éliminant toute pollution (du sol, de la nappe et de l'environnement).

Ce procédé serait utilisé couramment en Hongrie sur les sols sableux plats en parcelles de vastes dimensions, sur des cultures telles que le houblon, la vigne, les pommiers et les fruits rouges. Des essais à grande échelle seraient aussi conduits en grande culture (maîs, pomme de terre, maraîchage).

Budapest 41 Conduite et réponse de la tomate de conserve irriguée en g à g souterrain (Management and responses of subsurface drip irrigated tomatoes) par Phéné et al, chercheurs du Ministère de l'Agriculture, Fresno, Californie, E.U.

On fait environ 100 000 ha de tomate de conserve chaque année en Californie.

Auparavant irriguée à la raie ou en aspersion, la tomate a fait l'objet d'essais en g à g depuis 1982, aux USA et en France, essais qui montrent son intérêt sous réserve d'un bon pilotage, pour augmenter quantité et qualité. L'excès d'eau réduit les rendements.

Le goutte à goutte sur tomate de conserve se développe rapidement: il permet d'augmenter le rendement de 4 à 8 t/ha par rapport à la raie, tout en limitant la consommation d'eau à 600, 750 mm. Cependant les échecs dus à une mauvaise conception du réseau ou à un mauvais pilotage peuvent être un frein. La pose et la dépose d'un réseau de rampes en surface posent de gros problèmes, d'où des essais, couronnés de succès, d'installation de réseaux enterrés (à 45 cm). Le rapport présente les résultats d'un essai comparatif de surface, enterré, avec influence de la fréquence des arrosages et de l'arrêt de l'irrigation avant récolte.

Le même sujet a été traité au Congrès de Fresno (S.10 et U.2) mais l'essai ici relaté a été réalisé un an plus tard (1985 et non 1984). Nous indiquons donc les différences dans les résultats obtenus :

Bloc randomisé, 4 répétitions et 3 traitements, sur des parcelles composées de 10 planches, de 91 m de long sur 1,63 m de large (2 rangs jumelés par planche).

Une rampe au milieu de chaque planche, munie de goutteurs de 4 l/h tous les 0,91 m. 3 traitements :

Tl: g à g enterré haute fréquence

T2: g à g de surface haute fréquence (plusieurs arrosages/jour)

T3: g à g de surface basse fréquence (un arrosage tous les 2 à 3 jours).

Pilotage effectué en haute fréquence par un grand lysimètre pesable, à chaque mm d'ETR enregistré. En basse fréquence, même quantité totale d'eau en doses de 25 mm.

La seule différence de traitement entre 1984 et 1985 a été l'application de P et de Vapam (346 l/ha 30 jours avant semis) par les rampes g à g. 112 kg/ha d'engrais (0.11.48.) ont été appliqués en localisé sous les lignes de semis. Le reste (N et P) a été apporté tous les jours, conformément à la quantité absorbée par les racines, sous forme 12.12.0 et 17.0.0. Au total 272 kg/ha de N et 92 de P ont été apportés. Variété UC.82.B semée en 2 rangs par planche le 22 février, levée le 20 mars, récolte manuelle (pour déterminer le poids de tomates fraiches) du 31/7 au 2/8. Aspersion (107 mm) pour provoquer la levée. Irrigation de surface nécessaire en plus des pluies en irrigation souterraine pour lessiver les sels qui peuvent s'accumuler entre les rampes et la surface du sol.

24 jours avant récolte, réduction progressive des arrosages à 60 % des besoins afin d'augmenter la teneur en MS par ilots successifs de 25 m² et suppression totale dans les essais g à g de surface 24, 17, 10 et 3 jours avant la récolte.

Résultats 1985 : . 19 mm de pluie, 107 mm d'aspersion pour la levée et respectivement 649, 633 et 627 mm de micro-irrigation pour les traitements T1, T2, T3.

- rendements en récolte manuelle : les plus élevés jamais obtenus (170 t/ha en 1983 en Californie sur petites parcelles 7,6 x 12,2 m et chiffres analogues en Israël).
- résultats 85 en goutte à goutte enterré haute fréquence moins favorables qu'en 84, mais encore supérieurs au g à g en surface.

	Rendement en t/ha									
	Récolte manuelle	Récolte à la machine	en kg/m³							
TI	168*	139	22,4							
Т2	152*	119	20,4							
Т3	130*	112	18,0							

<sup>\*</sup> Grosses tomates seulement

L'arrêt de l'irrigation en g à g de surface n'a affecté sensiblement le tonnage que plus de 17 jours avant la récolte, brutalement pour le goutte à goutte haute fréquence, progressivement pour le goutte à goutte basse fréquence. 17 jours correspondent au taux maximal de MS pour le g à g basse fréquence (5,6 Brix au lieu de 4,9 pour le g à g haute fréquence). Le taux de MS à la récolte en g à g enterré haute fréquence, pour lequel l'irrigation n'a été arrêtée que 3 jours avant la récolte, est très inférieur (4,6 brix). Or le taux de MS à la récolte est, pour les industriels qui fabriquent des concentrés, un élément très important.

N.D.T. Si, en tomates à consommer en frais, le g à g haute fréquence (enterré ou non) apparaît donner des résultats supérieurs, par contre en tomate de conserve, le g à g basse fréquence (non enterré) semble préférable, si toutefois le prix producteur est fixé en fonction du taux de MS, car un arrêt des arrosages 15 jours environ avant la récolte améliore sensiblement la qualité, en ne réduisant que légèrement le tonnage récolté.



A. Precision des arrosages	34
B. Fréquence des arrosages	56
Synthèse	
- coton	
- vigne de table	
- pommier	
- tomate de conserve	
- piment sous serre en conteneurs	
C. Maîtrise du taux de rationnement	66
Synthèse	
- toutes cultures	
- cultures particulières	
D. Degré et mode de localisation	
de l'eau	74
D1 - Influence de la localisation	
sur le système racinaire	74
D2 - Influence de la localisation	
sur le rendement de la culture	83

## A. PRECISION DES ARROSAGES

5 rapports, tous présentés à Fresno, traitent de ce sujet.

## Synthèse

C'est l'un des avantages essentiels de la micro-irrigation que de délivrer des quantités d'eau précises, en fonction des besoins exacts des plantes considérées.

- Dans le cas, habituel, de cultures agricoles homogènes (sols et variétés homogènes) on a affaire à des individus sensiblement identiques dont les besoins en eau sont les mêmes. L'irrigation doit alors, elle aussi, être la plus homogène possible (même nombre de distributeurs par plant, débits des distributeurs aussi identiques que possible). Le CV (coefficient de variation) global mesuré à la parcelle doit être aussi faible que possible, ce qui dépend à la fois du CV hydraulique du réseau mais surtout du CV technologique, c'est-à-dire de l'homogénéité de fabrication des distributeurs. On peut même arriver à supprimer toute percolation, donc toute perte en profondeur, grâce à une bonne maîtrise du pilotage.
- Mais il se peut que l'on ait affaire à des plantations hétérogènes, ce qui peut provenir, soit d'une variabilité génétique (vergers), soit d'accidents, de maladies, etc..., ou bien résulte du fait que les plantes sont d'espèces (ou d'âges) différentes (cas des jardins botaniques, ou tout simplement des espaces verts où l'architecture paysagère consiste à moduler les formes et les couleurs).

Dans ce cas, la précision des apports consiste à adapter ceux-ci aux besoins de chaque végétal, en fonction de son espèce, son âge, son ensoleillement, sa situation par rapport aux vents, etc... Il est parfois possible de rassembler sur le même poste tous les individus dont les besoins en eau sont identiques, ou bien utiliser le même réseau et jouer ou sur le nombre ou sur le débit des distributeurs.

Cette modulation, qui est essentielle pour éviter les sur- ou sous-irrigations, n'est possible qu'avec des distributeurs de qualité, donnant un débit précis sous une pression déterminée. Ce qui montre l'importance des essais technologiques et de leur suivi.

- Enfin s'il faut rechercher des mini-diffuseurs homogènes quant à leur débit global, il n'est pas utile de rechercher une parfaite uniformité de répartition sur la surface humidifiée par un appareil, car, sauf excès de dose pouvant conduire à des percolations locales, les arbres commencent par s'alimenter dans les zones les plus arrosées où l'eau est la plus "libre", comme cela se passe d'ailleurs pour un arbre alimenté par plusieurs goutteurs. La disuniformité de répartition en surface n'est donc que temporaire et n'a d'importance que si les doses sont trop élevées par rapport à la capacité utile de rétention de la zone racinaire.

Dans le cas de cultures homogènes, on a estimé l'influence de l'uniformité d'arrosage sur le coût global de l'irrigation. Dans le cas considéré (vigne dans la vallée du San Joaquin en Californie, taux d'inflation de 5 %/an) l'uniformité optimale, pour une durée de vie du réseau de 20 ans, a été trouvée égale à 94 % qui est le CUkk théorique c'est-à-dire le coefficient d'uniformité calculé au stade du projet selon la formule proposée par Keller et Karmeli, et qui correspond au rapport de la moyenne du quart le moins arrosé à la moyenne générale.

$$CU_{kk th} = 100 (1 - 1.27 \frac{CVf}{e} \frac{\overline{Qmin}}{\overline{Q}})$$

CVf : coefficient de variation du fabricant

e : nombre de goutteurs par plante (au dessus de 1)

Qmin et Q débits minimal et moyen calculés d'après le projet

# Analyse des communications présentées

Fresno L.3 Le g à g sur espaces verts (Drip irrigation in landscaping) par S. Tobey et R. Swearengin de la Sté Salco, Hawthorne, Californie, E.U.

Rapport intéressant bien que très général.

Les paramètres qui permettent d'évaluer la qualité d'une installation d'irrigation ne sont pas les mêmes en espaces verts qu'en agriculture. Car il ne s'agit pas de cultures homogènes et en ligne, et il y a de grandes variations d'une plante à la suivante, quant à leur taille, leur espacement, leurs besoins (eau et engrais) etc...

Un arrosage uniforme comme l'aspersion ne peut donc convenir car il apporterait de l'eau là où il n'en faut pas et ne couvrirait pas les besoins des plantes les plus exigeantes en eau. Le g à g peut être utilisé seul ou en complément, en certains points particuliers, à une aspersion uniforme. Chaque plante peut alors recevoir, et par le même réseau, la quantité exacte d'eau qu'il lui faut. De plus, on peut modifier les apports dans le temps, en ajoutant des goutteurs supplémentaires.

# En espaces verts le g à g a certains avantages sur l'aspersion :

- -plus grande sécurité (l'eau n'est pas projetée dans le milieu environnant)
- -plus longue durée d'utilisation (24 h sur 24) qui permet de réserver à l'aspersion les heures favorables, et de réduire le diamètre des canalisations (cas des golfs)
- -moindre prise au vandalisme, au vol, et aux autres atteintes physiques (vulnérabilité des asperseurs perchés au dessus du sol) donc plus grande durabilité du réseau
- -utilisation d'eau usée (épurée)
- -meilleure adaptation aux terrains en pente (jusqu'à 3 à 4 m de hauteur pour 1 de base)
- -pas de projection d'eau sur les façades entièrement vitrées de certains immeubles modernes (problème d'entretien des surfaces extérieures). De même sur les terrasses plantées, les excès d'eau sont plus faciles à éviter et les modifications plus aisées à faire.

Le g à g sur espaces verts présente de grands avantages mais il ne faut pas oublier que tous les intervenants doivent faire correctement leur travail (conception, exécution, pilotage, maintenance) et que la robustesse d'une chaîne se limite à celle du maillon le moins résistant.

Fresno P.5 Conduite efficace des arrosages g·à g avec des eaux salées (Efficient drip irrigation management with water of different salinities) par Jacob Peretz, Avraham Meiri et Joseph Shalhevet, Institut Volcani, Bet Dagan, Israël.

Seul figure le résumé et je n'ai reçu aucune réponse à ma demande de renseignements complémentaires.

Il s'agissait, sur tomate de conserve, de tester une technique de conduite des arrosages en zone aride (Negev) évitant tout lessivage. Le sol, sec au départ, était humidifié jusqu'à 0,5 m de profondeur pendant la germination, puis le bulbe progressait pour atteindre 1 m, 4 mois plus tard. Il y avait une rampe par rang au lieu d'une rampe pour deux rangs jumelés. C'est le rationnement et la fréquence des arrosages qui ont permis d'éviter toute percolation, donc tout lessivage des sels apportés par l'eau.

N.D.T.: Malheureusement aucun résultat chiffré ne permet de comparer les rendements obtenus.

Fresno T.1 Uniformité d'apport en surface et en profondeur résultant d'une irrigation par mini-diffuseurs (Low volume sprinkler surface and subsurface distribution uniformity) par D.A. Goldhamer, R. Kjélgreen, J.M. Moore et J. Lane, Université de Californie, Centre agricole de Kearney, Parlier, Californie, E.U.

Les auteurs, partant du principe que la qualité essentielle d'une irrigation est l'uniformité d'apport, estiment que les minidiffuseurs ne sont ni des goutteurs où l'infiltration se fait par points isolés, ni des asperseurs où l'on recherche l'uniformité la meilleure possible. Ils se posent donc la question de l'uniformité de l'apport réalisé par un minidiffuseur sur la surface qu'il arrose, de l'importance de la redistribution latérale à partir des zones les plus arrosées, et comment le prélèvement d'eau fait par les cultures modifie cette redistribution.

Ils ont donc, dans un essai de terrain réalisé en septembre 1984, essayé de répondre à ces divers problèmes. Il s'agissait d'un verger de pistachiers (5,2 x 5,2 m) équipés sur chaque rang de "Fanjets" Bowsmith de 38,6 1/s sous 1,38 bar, placés à mi-distance entre les arbres. L'uniformité a été appréciée :

- -en surface par des pluviomètres tous les 76 cm,
- en profondeur par une sonde à neutron pouvant descendre à 1,37 m suivant la même grille que les pluviomètres.

Ils ont observé une grande hétérogénéité de la pluviométrie en surface (CU Christiansen = 0,15), pour les zones recevant de l'eau, ce qui n'est pas étonnant du fait que la surface d'impact du jet du minidiffuseur est crantée, ce qui détermine 11 jets fixes distincts répartis sur 330°

Mais cette hétérogénéité ne se retrouve pas en profondeur, surtout 48 heures après l'arrosage, et le facteur d'homogénéisation essentiel est l'absorption par les racines qui est très rapide dans les zones où l'eau est plus "libre".

Il y a donc une amélioration considérable de l'uniformité une fois l'eau infiltrée dans le sol et la disuniformité de surface présente d'autant moins d'importance que les arrosages sont fréquents et légers. En cas d'arrosages moins fréquents et donc plus abondants, une mauvaise répartition en surface peut éventuellement provoquer des pertes par percolation.

Fresno T.2 Influence de l'uniformité d'arrosage sur le coût global de l'irrigation (Life cycle costs resulting from various design emission uniformities) par R.J. Kunde, Ingénieur à la "Superior Farming Company", Bakersfield, Californie, E.U.

Avant de calculer un réseau, on choisit souvent un CU "théorique" CUth qui suppose une uniformité parfaite des distributeurs. Pour un distributeur donné, ce CUth correspond à une certaine variation de pression acceptable  $\Delta$  Hth sur chaque unité d'arrosage (sous-poste). Plus CUth est faible, plus  $\Delta$  Hth est grand, ce qui permet de réduire les diamètres des rampes et porte-rampes. Par contre, il faut tolérer des pertes par percolation sur les zones les plus arrosées, si l'on veut satisfaire les besoins des plantes les plus mal arrosées, ainsi qu'une hauteur de pompage plus grande.

Il existe donc un CUth optimal qui minimise la somme "investissement + fonctionnement actualisé".

L'étude faite a consisté à établir divers projets avec des CUth différents.

Dans les conditions particulières de l'étude, le CUth optimal pour une durée de vie de 20 ans du réseau est de 94 %.

Fresno T.4 Simulation sur ordinateur du coefficient global de variation du débit (Computer simulation of total emitter flow variation) par I.P. Wu, K.Y. Yabusaki, et J.M. Irudayaraj, Université d'Honolulu, Hawaî, E.U.

Le CV total du débit des distributeurs d'un réseau DT indique le degré d'uniformité qui est un facteur déterminant du rendement de l'irrigation à la parcelle. Il dépend principalement de 4 facteurs :

- le calcul hydraulique du réseau (CVh)
- le CV de fabrication du distributeur ou CV technologique (CVf)
- les variations de température (influence faible)
- l'obstruction (dépend des mesures de maintenance)

Les auteurs ne retiennent donc que les 2 premiers facteurs et observent que :

- -Le calcul hydraulique d'une rampe est conduit d'après un Qvar de 10 ou
- 20 % qui correspond à un CVh de 3 ou 6 %  $[Q_{var} = \frac{Qmax Qmin}{Q}]$
- Le CV technologique du distributeur CVf peut varier de 0,05 à 0,20.

Donc CVf a une importance plus grande que CVh. Mais il faut connaître CVg, le coefficient global de variation, dans les divers cas possibles.

La variation technologique peut être considérée comme aléatoire et normalement distribuée. Par contre la variation hydraulique, qui suit un profil de perte de charge défini, n'est pas normalement distribuée. Cependant la variation globale est normalement distribuée comme sa composante principale, la variation technologique.

Un modèle a permis d'appliquer d'abord la variation hydraulique, puis la variation technologique, et de tracer plus de 700 profils de variation pour différentes combinaisons des variations technologique et hydraulique. Pour chaque profil on a obtenu CVh, CVf et CVg, et on a pu exprimer pour diverses valeurs de CVf, le CVg en fonction du CVh. Les courbes de régression obtenues suivent la relation : CVg² = CVh² + CVf², de façon très serrée pour le minimum admis (0,05) et de façon d'autant plus lâche que CVf se rapproche du maximum admis (0,20). Pour CVf = 0,10, la relation CVg = CVh + CVf peut être considérée comme une courbe enveloppe et utilisée à titre de sécurité pour un CVh  $\langle$  0,10.

## B. FREQUENCE DES ARROSAGES

12 rapports ont été présentés sur ce thème, 10 à Fresno, 2 à Budapest.

## Synthèse

La fréquence d'arrosage est directement liée à la dose d'arrosage, donc au volume du bulbe (ou de l'ensemble des bulbes), donc au pourcentage de sol humidifié P, donc au volume actif du système racinaire de la plante (qui ne correspond au volume total qu'en région désertique).

Faut-il avoir peu de racines actives, donc de petits bulbes arrosés très souvent et une faible valeur de P, ou, au contraire, l'inverse, c'est-à-dire une valeur de P élevée (gros bulbes arrosés moins souvent) ce qui correspondrait à la théorie classique de Keller-Karmeli ?

Il n'est pas simple de répondre de façon catégorique et les conclusions des auteurs de rapports sont parfois opposées, selon telle ou telle culture (ce qui peut se comprendre), mais aussi, dans certains cas, pour la même culture.

La nouvelle théorie, (petits bulbes donc peu de racines) se fonde, selon les Israéliens, sur une expérimentation réalisée par Shifroni et al en 1980, et qui a consisté, dans une plantation normale de coton, à remplacer certains plants en place par des plants en conteneurs, de façon à limiter à 50 l/m² le volume exploré par les racines, toutes choses restant égales par ailleurs, (c'est-à-dire surtout alimentation hydrique et minérale continue par goutteurs, et maintien de la tension sol-eau à 20 cbar). Le résultat fut étonnant, puisque les pieds à volume racinaire réduit ont donné en moyenne 980 g/m² de coton au lieu de 600, soit une augmentation du rendement de 6 à 9,8 t/ha (plus de 60 % en plus !).

Le problème est de savoir si cette augmentation de rendement est due à ce seul facteur (volume de sol humidifié), et par ailleurs correspond bien à une loi générale (on sait que le coton réagit bien au stress hydrique). Voyons donc les expérimentations où l'on a fait varier l'importance de la dose (en modifiant la fréquence des apports) mais sans changer le volume total d'eau apporté (même niveau de rationnement).

### - D'abord sur coton :

. S.4 (Israël): les auteurs ont cherché en 1984 à recréer, en pleine terre cette fois, des conditions similaires de réduction du volume de sol exploré par les racines des plants de coton. Ils ont placé des tensiomètres à 2 distances du goutteur afin d'obtenir des arrosages automatiques fréquents que l'on comparait à des arrosages espacés (une fois par semaine). Résultats décevants, car tous les traitements ont donné des rendements comparables, un peu meilleurs toutefois pour les bulbes les plus petits (6,3 t/ha). Les auteurs disent que le bulbe était bien petit mais que l'humidité était constamment trop élevée. Or d'après un autre auteur (S.2), un stress hydrique variable serait favorable à une bonne induction florale. Il aurait donc fallu que la tension ne soit pas constamment à 20 cbar, mais évolue en dents de scie (cas des arrosages classiques plus espacés). On aurait pu, par exemple, supprimer un ordre d'arrosage sur n, ou élever le seuil de 20 cbar, ou encore rapprocher davantage le tensiomètre du goutteur, de façon à créer cette tension variable.

Quoi qu'il en soit, l'objectif n'a pas été atteint. On peut espérer que l'essai de 1984 aura été poursuivi et que le prochain Congrès International permettra de constater que l'on s'en est rapproché.

- . P.4 (Californie) trouve, en 2 ans d'essai, pour du coton irrigué sur nappe salée et avec de l'eau salée, que la culture a prélevé sur la nappe (à 14 d S/m) des quantités d'eau appréciables sans effet négatif sur les rendements, que les apports aient lieu tous les jours ou tous les 3-4 jours. Donc là aussi les résultats ne confirment guère la nouvelle théorie.
  - . 47 (Israël), signale que le g à g sur coton en sols peu épais de la vallée du Jourdain, nécessite de fréquents arrosages (sans autre précision).

Remarque: Un essai réalisé en Israël sur coton en g à g (avec des eaux usées traitées) "Response of cotton to treated domestic wastewater applied through trickle irrigation" de G. Oron (Californie) et J. De Malach (Israël), paru dans Irrigation Science 1987 p. 291 à 300, apporte quelques éléments intéressants dans la mesure où il a été réalisé scientifiquement, en blocs randomisés, sur 2 années successives (1982: 6 répétitions, 1983: 4 répétitions). En voici les données principales:

	Ecartement	Espacements	Espacement	Récolte
Traitement	rangs	goutteurs	arrosages	coton
	m	m	jours	T/ha
1982				
A1	0,96	1 x 1,92	1	5,34
A2	0,96	1 x 1,92	3,5	6,02
A3	0,96	1 x 1,92	7	4,80
A4	0,96	1 x 0,96	10 à 12	5,37
A5*	0,96	1 x 0,96	1	6,04
A6*	0,96	1 x 0,96	7	6,05
1983	·			
B1*	0,96	1 x 0,96	7 '	5,93
B2*	0,96	1 x 0,96	3,5	7,06
B3*	1,92	1 x 1,92	3,5	5,35
B4	0,96	1 x 1,92	3,5	6,55

<sup>\* :</sup> rangs jumelés (espacés entre eux de 0,30 m)

L'espacement des arrosages (c'est-à-dire leur fréquence) ne suffit pas à caractériser la dose apportée à chaque arrosage. Car, le niveau d'arrosage par m² étant le même, plus il y a de rampes, donc de goutteurs, plus la dose par goutteur est réduite. Si d est la dose la plus faible apportée sur l'ensemble des traitements, c'est-à-dire celle de A5, on peut exprimer la dose de chaque traitement en fonction de d.

Αl	:			2	d	В1	7	d	Le graphique qui suit exprime la récolte de
A2	:			7	d	B2	3,5	бd	chaque traitement en fonction de d (considérée
Α3	:			14	d	В3	7	d	comme une dose unitaire), c'est-à-dire en
A4	:	10	à	12	d	B4	7	d	fonction du volume des bulbes.
Α5	:				d				
Α6	:			7	d				

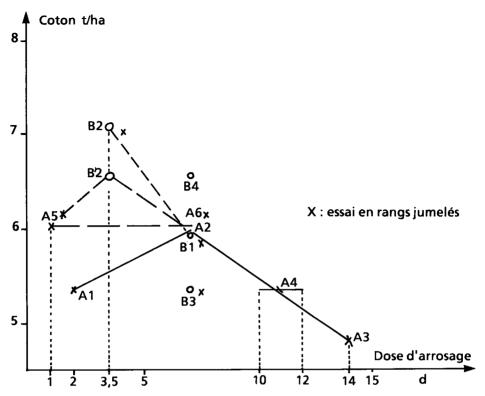


Figure 3 - Rendement du coton en tonnes/ha en fonction de la dose d'arrosage (volume du bulbe d'arrosage) Source : M. DECROIX

Interprétation: les 2 années différent légèrement, puisque B4, identique à A2 en traitement, a un rendement en coton un peu supérieur (0,53 t/ha). Tous les points B devraient être descendus de 0,53 t/ha, par ex. B2 en B'2.

### 1982:

- A1, A2 et A3 ne diffèrent que par la dose, qui est localisée (et légèrement enterrée) au milieu des interlignes, 1 rang sur 2, donc avec un investissement rampes réduit. La fréquence d'arrosage optimale est entre 1 et 7 jours, puisque A2 (3,5 jours) est nettement supérieur à A1 (1 jour) et surtout à A3 (7 jours). "Tous les 7 jours" conduit à des doses trop fortes (et loin des rangs), d'où pertes par percolation, "tous les jours" à des doses trop faibles (bulbes petits et exposés à l'insolation, d'où pertes par évaporation). Entre les 2, il doit y avoir une utilisation meilleure de l'eau, avec une somme des pertes (par percolation et par évaporation) minimale. Les doses plus importantes qu'en A1 permettent de loger l'eau en profondeur, à l'abri de l'évaporation, sans toutefois excéder la capacité de rétention du bulbe.
- . A5 et A6 sont comparables entre eux, seule la fréquence d'arrosage diffère, mais ne se traduit par aucune différence de récolte. Les rampes situées entre les rangs jumelés semblent conduire à une utilisation plus efficace de l'eau, car les doses ne semblent pas entraîner trop de percolation pour A6, et pas trop d'évaporation pour A5 (la zone mouillée est protégée de l'insolation par le feuillage des 2 rangs jumelés). Cependant des arrosages peu fréquents suffisent (A6).

. Sur l'ensemble des traitements A, A2 est le plus intéressant car, pour une récolte identique à des rangs jumelés, il nécessite 2 fois moins de rampes à l'hectare, et des rangs simples. C'est d'ailleurs, d'après S.4, le traitement utilisé en pratique courante. Cependant il est plus sensible à une variation du volume du bulbe que les rangs jumelés.

1983. Ici nous n'avons que 2 volumes de bulbe, 3,5 d pour B2 et 7d pour B1, B3 et B4. C'est le plus petit volume de bulbe qui conduit au meilleur rendement. Le traitement B2 est semblable à A5 et A6, et même en défalquant la différence interannuelle de 0,53 t/ha (soit le point B'2), il conduit à un rendement supérieur de 0,5 t/ha à A5 et A6. On peut donc supposer qu'en rangs jumelés, la dose 3,5d est préférable à la dose plus faible 1d, et à la dose plus forte 7d.

Dans le sol considéré, il semble donc que, pour les rangs simples aussi bien que les rangs jumelés, les auteurs aient réussi à encadrer la fréquence optimale, puisque les courbes (A1, A2, A4, A3) et (A5, B'2, A6) ont chacune un maximum.

Ce maximum a lieu, en rangs jumelés, pour des bulbes plus petits que pour les rangs simples, mais du fait que le nombre de rampes est double, il correspond toujours à une rampe pour 2 rangs et 2 arrosages par semaine. Le supplément de récolte en rangs jumelés (0,5 t/ha environ), est compensé par l'investissement supplémentaire (nombre de rangs et de rampes doublé).

- Sur Vigne de table: F.4 (Arizona) trouve, en 4 ans d'essais, que l'on a 10 % de plus de rendement avec 2 goutteurs par cep au lieu d'un, mais qu'une fréquence d'apport de plusieurs jours (3 ou 6) semble plus favorable que la fréquence journalière. Le résultat est donc en faveur des gros bulbes (P important), donc de la théorie classique (à condition qu'il n'y ait pas de percolations excessives).
- Sur Pommier: F.7 (Etat de Washington, EU). Le résultat de 2 essais de longue durée (débuts: 1973 et 1976) en région aride (196 mm/an), semble très favorable à la nouvelle théorie puisque les auteurs estiment que la solution de l'irrigation en vergers réside dans une maîtrise complète du rationnement en eau, ainsi que dans une réduction du système racinaire que l'on ne peut obtenir que dans des régimes d'arrosages fréquents. On note que les arrosages sont journaliers, avec un seul point de localisation par arbre (augmentation du nombre des goutteurs au fur et à mesure de la croissance des arbres, mais toujours au même endroit de la rampe, à 50-60 cm du tronc, vers l'amont). Dans ces conditions, on ne peut pas comparer, à niveau égal de rationnement, plusieurs fréquences d'arrosage, ce qui rend l'affirmation des auteurs moins convaincante en ce qui concerne le volume du bulbe.
- Sur Tomate de conserve: S.7, S.10, U.2 et 41 relatent la même expérimentation conduite à Fresno en 1984, puis 1985. En plus du facteur position de la rampe (enterrée ou non), il y avait variation importante de la dose (1 ou 25 mm) donc de la fréquence d'arrosage dans le traitement "rampe non enterrée" (niveau de rationnement identique), et par conséquent du volume racinaire actif. Or on constate peu de différences dans les rendements et, si la grande fréquence (6 à 10 fois par jour) a donné des résultats supérieurs à la faible fréquence (tous les 2 ou 3 jours), l'arrêt (progressif, ou surtout brutal) de l'arrosage 14 ou 17 jours (suivant l'année) a permis au traitement conduisant à un bulbe important d'améliorer nettement ses performances, notamment en ce qui concerne l'extrait sec (degrés Brix). L'utilisation meilleure de la RFU de ce sol profond par des arrosages plus espacés, n'était donc pas absurde, bien que les arrosages fussent sans doute un peu trop copieux (la percolation semble prouvée par une diminution de la teneur en sels du sol pour les arrosages les plus espacés).

On peut donc supposer que des arrosages un peu moins abondants auraient donné des tonnages comparables (et peut-être meilleurs) à ceux qu'ont donnés les arrosages ultra-fréquents, qui posent, en dehors des problèmes de pilotage, des problèmes de vidange préférentielle des rampes en certains points des rampes, ce qui réduit le coefficient d'uniformité (CU).

- Sur piment sous serre en conteneurs : Q.5 (R.F.A) estime qu'en irrigation rationnée, on doit réduire le stress hydrique, en optimisant non seulement le volume d'eau délivré, mais aussi la fréquence des arrosages.

## Que peut-on conclure ?

Il est certain que la réduction du système racinaire actif rend la plante plus sensible au rationnement que l'on cherche à lui imposer, que, par ailleurs, certaines espèces comme le coton ont besoin d'un rationnement pour freiner un développement végétatif excessif et favoriser une floraison plus précoce et plus abondante. Cependant les cultures maraîchères n'ont pas besoin d'une phase de rationnement en eau aussi marquée (il est connu que pour la tomate un certain rationnement, en eau et surtout en azote, est favorable jusqu'à l'apparition du ler bouquet).

Par ailleurs la réduction du système racinaire rend la culture plus sensible aux pannes, au manque d'eau [E.1 (Australie)] de certaines années ou à une élévation brutale de l'évapotranspiration et conduit à une sophistification souvent inutile du réseau, ainsi qu'à une réduction du CU, ce qui s'inscrit en négatif dans le bilan.

Mais seules des expérimentations très précises restent à effectuer pendant plusieurs années, sur plusieurs cultures, avec des répétitions suffisantes, pour faire des progrès dans cette recherche de la fréquence optimale d'arrosage qui est très certainement liée à la RU du sol ainsi qu'à ses qualités de diffusivité latérale, paramètres que les auteurs des rapports n'ont pas souvent indiqués.

## Analyse des communications présentées :

Fresno E.1 Irrigation g à g. Une expérience australienne (Drip irrigation. An Australian experience) par Keith A. Watson, Peter M. Shalz, John Morley et Donald C. Lester-Loxton, Australie du Sud.

Bon rapport, avec de nombreuses données chiffrées sur l'importance de la vigne dans les divers Etats de la Confédération. En Australie, on fait de la vigne surtout pour le vin ou le raisin sec, un peu pour le raisin de table.

Sur 64 527 ha de vigne, 70 % sont irrigués, ce qui représente 3 % de la superficie totale irriguée. Il y avait en 1984 5.853 ha en g à g, et 10 443 ha en minidiffuseurs, soit 110 % de plus qu'en 1981. Le rendement de l'irrigation est de 33 % à la raie ou en aspersion sur frondaison, 43 % en aspersion sous frondaison, 68 % en minidiffuseurs, 98 % en g à g.

Le ler réseau g à g a été installé en 1975 sur 25 ha de raisin de table :

#### Pour:

- . contrôle précis des doses et uniformité de l'arrosage,
- . diminution des maladies cryptogamiques,
- . établissement plus rapide des jeunes vignes, facilité d'installation,
- possibilité d'utiliser de l'eau plus salée sans réduction de quantité et/ou de qualité de la récolte etc...

#### Contre:

- . fonctionnement des goutteurs moins facile à vérifier que celui des asperseurs,
- . normes de filtration non encore définies, le sol sec des interlignes provoque un dépôt de poussière sur les grappes,
- enfin la partie utile du système racinaire est réduite, ce qui rend la vigne plus sensible à la sécheresse lorsque, par manque d'eau, on ne peut irriguer une année donnée.

Les installations sur vigne à vin en sol accidenté ont montré l'efficacité de l'irrigation g à g dans le cas de ressources en eau limitées.

N.D.T.: En supprimant les 2 principales périodes de stress (surtout de la floraison à 6 semaines après la nouaison, et en second lieu de la véraison à la récolte), on obtient 750 kg de raisin en plus à l'ha par apport de 25 mm, ce qui représente une efficience de 3 kg de raisin par m³ d'eau. Qualité et quantité sont toutes deux augmentées.

Fresno F.4 Conduite du DT pour la production de raisin de table (Trickle irrigation management for grape production) par D.A. Bucks, O.F. French, F.S. Nakayama (de Phoenix, Arizona) et D.D. Fangmeier (de Tucson, Arizona) E.U.

Selon la CIID, la vigne est, après les arbres fruitiers, la 2ème culture irriguée en g à g (39 430 ha en 1981), car ce mode d'irrigation lui convient parfaitement.

Les auteurs rendent compte d'une expérimentation de 4 ans entreprise pour dégager les critères de conduite de l'irrigation à la raie et au g à g sur vigne de table adulte (variété Perlette plantée à 3,3 x 2,1 m).

Avec 1 goutteur par cep, le rendement est le même qu'à la raie, avec 2 goutteurs, on a un supplément de 10 %. Une fréquence d'apport de plusieurs jours (3 ou 6 jours) parait plus favorable qu'un apport journalier.

Les goutteurs se sont obstrués la 2ème année et ont nécessité un traitement de choc eau de javel et acide, puis un traitement d'entretien.

Fresno F.7 Réponse de pommiers Red Delicious au DT (Response of red delicious apples to trickle irrigation) par Robert G. Evans et E.L. Proebsting Jr. du Centre de recherches et de vulgarisation de l'Université d'Etat de Prosser, Washington\*, E.U.

Cet excellent rapport, très long et détaillé, porte sur 2 essais d'irrigation en zone aride, scientifiquement conduits sur des vergers établis en micro-irrigation, l'un en 1973, l'autre en 1976, dont les objectifs initiaux ont été modifiés et précisés au fil des ans. Je me bornerai à donner les conclusions des auteurs.

"La fabrication des matériels d'irrigation a ouvert des horizons totalement nouveaux pour la conduite des arrosages sur vergers et vignes. Les progrès réalisés en matière d'automatisation et de mode d'application de l'eau ont accru les possibilités de maîtrise de la croissance et de la production des arbres fruitiers en jouant sur les relations plante-eau.

<sup>\*</sup> Il s'agit ici non de la capitale des E.U., mais de l'Etat de Washington, situé au NO du pays, sur la côte pacifique.

Les essais réalisés montrent que la technique d'irrigation peut influer sur l'architecture des arbres, leur taux de croissance végétative et leur production de fruits (quantité et qualité), qui sont les caractéristiques fondamentales que l'arboriculteur doit s'efforcer de maîtriser. Les résultats montrent que la solution n'est pas dans la réduction du déficit hydrique des arbres, mais au contraire dans un accroissement de ce déficit, ainsi que dans une réduction du système racinaire actif, objectif que l'on ne peut obtenir que dans des régimes d'arrosages très fréquents.

Les résultats obtenus nous ont montré qu'une fois acquise la compréhension des réactions de la plante à des déficits prolongés, il sera possible, dans les régions arides, d'utiliser une irrigation automatique, étroitement contrôlée, pour améliorer la production des pommes, et celle des autres fruits. De plus, les avantages de l'irrigation très fréquente ne sont pas réservés à la micro-irrigation, mais peuvent également être obtenus en aspersion et en irrigation de surface, bien que ce soit plus difficile.

Ce sont là des perspectives fantastiques de mise au point de nouvelles façons d'intégrer la gestion de l'eau à la gestion globale du verger. Il convient cependant de poursuivre les recherches pour définir, dans chaque cas, comment, quand et de combien il faut modifier les pratiques actuelles d'irrigation."

N.D.T: Pour être plus clair, il résulte de l'étude que par la seule conduite de l'irrigation (apports réduits et fréquents), avec augmentation du déficit hydrique, on peut, sans le secours de la taille, transformer un arbre à port érigé en un arbre à port plus buissonnant, produisant moins de bois mais plus de fruits et de façon plus précoce. La maîtrise de l'alimentation en eau oriente la photosynthèse vers la production de fruits plus que vers la croissance végétative. Il est aisé d'augmenter la précocité de l à 2 ans, ce qui a été montré aussi par d'autres chercheurs.

Fresno P.4 Répartition du sel sous coton irrigué en g à g avec de l'eau salée (Salt distribution under cotton trickle irrigated with saline water) par J.E. Ayars, R.B. Hutmacher, R.A. Shoeneman, S.S. Vail, S.H. Patton et D. Felleke, USDA Fresno, Californie, E.U.

L'objectif de l'étude était de voir si l'on pouvait utiliser l'eau salée de la nappe comme ressource en eau et ainsi réduire le drainage de la vallée du San Joaquin.

L'essai a duré 2 ans sur une parcelle de 26 ha. L'eau d'irigation, provenant d'un réseau de drainage, avait une salinité de 5 à 11 dS/m.

N.D.T.: Le coton est une culture très résistante à la salinité (rendements comparables entre irrigation avec eau salée ou douce, entre rampes espacées de 1,5 ou 2,3 m. De plus, le bilan hydrique a montré que la culture avait extrait de la nappe salée (à 14 dS/m) des quantités d'eau non négligeables, ceci sans effets négatifs sur les rendements, pendant 2 années consécutives, que les apports soient faits tous les jours ou tous les 3 à 4 jours.

Fresno Q.5 Effets du système d'irrigation sur la répartition dans le sol du sel et des racines (Effect of irrigation system on salt and root distribution) par N. Moshrefi et F. Beese, Goettingen, RFA.

Voir rapport PI des mêmes auteurs sur le même essai.

Les plantes peuvent s'adapter à divers régimes - hydrique et salin - de variation du milieu sol. Mais leurs prélèvements modifient la répartition des sels dans le sol et leur lessivage éventuel.

Les auteurs ont conduit des essais sur piment en serre, avec des arrosages fréquents (tous les 2 à 3 jours) en g à g (3 goutteurs au m²) et en aspersion avec les niveaux de rationnement suivants :

- -g à g 40, 70 ou 110 % de Ebac serre
- -aspersion 70, 110 ou 140 % de Ebac serre.

#### Observations:

- Si l'eau est apportée sur toute la surface, les sels et les racines se concentrent parallèlement à cette surface, et la zone d'accumulation du sel augmente avec les volumes d'eau apportés.
- Si l'eau est apportée de façon localisée, le sel s'accumule circulairement autour des points d'apport, avec une épaisseur plus grande de sol humidifié (bulbe) et le développement racinaire est alors limité à l'intérieur du bulbe, sous le goutteur.

Cependant, en dépit de ces différences de localisation, la densité moyenne des racines en fonction de la profondeur ne change pas fondamentalement et, dans les 2 méthodes d'irrigation, le système racinaire est d'autant plus profond que la dose est plus forte.

La masse totale des racines, par unité de surface est plus importante en localisé, augmente avec la dose dans les deux méthodes, mais en g à g il y a relativement plus de racines pour un même poids de rameaux (1/3 en plus).

Dans les deux cas, le rationnement conduit à une situation où seule une très petite fraction du sol est explorée par les racines, et ceci est d'autant plus accusé que la répartition superficielle (par unité de surface) est plus uniforme. On arrive alors à un système très rigide. Le sol est très mal exploré, et un faible changement dans l'apport d'eau peut induire des stress très sévères. Pour réduire ce stress, on doit optimiser la dose et la fréquence des arrosages, en tenant compte des propriétés hydrodynamiques du sol considéré.

Fresno S.2 Calibrage de l'indice électrostatique d'une culture de coton irriguée par g à g (Field calibration of the phytogram index of water status in drip irrigated cotton) par G. Gensler, président de "Agricultural Electronics Corporation, professeur à l'Université de Tucson, Arizona, E.U.

L'auteur utilise des électrophytogrammes qui représentent la variation dans le temps de la différence de potentiel électrique entre le sol et la sève de la tige principale, qui est fonction de l'état hydrique de la plante.

Chaque électrophytogramme journalier peut être résumé dans un indice ("phytogram index") qui est l'augmentation moyenne sur 24 h du potentiel de base mesuré entre 5 et 6 h du matin. Les mesures sont enregistrées et l'indice calculé toutes les 14 minutes, grâce à une pile solaire. Des mesures du diamètre de la tige sont effectuées en même temps. Le calibrage de cet indice, qui fait l'objet du rapport, a été effectué sur 5 parcelles, 2 en irrigation à la raie, 2 en irrigation g à g en surface, 1 en irrigation g à g enterrée.

#### Observations:

- -+ 60 correspond à une appréciation par l'agriculteur que la culture ne souffre pas, mais la croissance est trop rapide.
- -entre + 60 et + 25 : état hydrique satisfaisant
- en dessous de + 25 : début de stress
- -+ 10 : il faut arroser immédiatement

N.D.T: L'indice électrostatique ne doit pas être constamment trop élevé. Une courbe en dents de scie est préférable pour la production de capsules, car elle indique une situation de stress hydrique favorable à la fructification.

Fresno S.4 Positionnement des tensiomètres en commande automatique de l'irrigation g à g sur coton (Tensiometers location in controlled automatic drip irrigation of cotton) par Israël Levin, Shmuel Sarig et Moshe Meron, Institut du sol et de l'eau, Bet Dagan,

40 % de la surface en coton (24 000 ha) ont été irrigués en g à g en 1984. La meilleure efficience de l'eau et des engrais ainsi que l'accroissement des rendements l'emportent sur l'investissement supplémentaire.

Les auteurs se sont basés sur un essai réalisé en 1980 où, dans une plantation, on a remplacé les plants de coton existants par des plants en conteneurs de façon à réduire le volume exploré par les racines à 50 l/m², et à maintenir en permanence la tension sol-eau à 20 Cbars. Le résultat a été une augmentation spectaculaire du rendement (980 g au lieu de 600 g/m² c'est-à-dire 9,8 au lieu de 6 t/ha).

Ils ont donc cherché à recréer les mêmes conditions dans toute la parcelle, le g à g permettant de réduire le volume de sol exploré, par des arrosages très fréquents (plusieurs par jour) commandés par des électrotensiomètres placés à diverses distances horizontales et profondeurs par rapport au goutteur. On a cherché à optimiser la tension sol-eau, ainsi que la distance et la profondeur des électrotensiomètres par un essai en Haute Galilée, en sol vertique (argile 59 %, limon 29 %), l rampe/rang, fertilisation proportionnelle à l'eau apportée, avec les 4 traitements suivants répétés 5 fois:

- T1 et T2: 1 arrosage/semaine . T1 -0.8 Ebac classe A (en pointe)
  - . T2 -arrosages suivant sonde à neutrons pour remplir la réserve sur 0,60 m de profondeur, 40 % de la surface étant humidifiée
- T3 et T4: pilotage par 4 électrotensiomètres enterrés à 20 cm, déclenchant l'arrosage lorsque 3 d'entre eux dépassent le seuil de 20 cbar.
  - . T3 électrotensiomètres placés à 24 cm du goutteur en perpendiculaire à la rampe
  - . T4 électrotensiomètres à 24 cm de la rampe et à 55 cm du goutteur.

#### Observations:

- Consommation d'eau : peu de différence entre T1 et T2. T3 consomme un peu moins et T4 beaucoup plus (puisque les électrotensiomètres étaient placés en zone plus sèche).
- -Rendement: peu de différence entre les traitements (6,3 pour T3 et 5,9 pour T4, contre 6,1 et 6,2 pour T1 et T2)
- Efficience de l'eau : maximale pour T3, minimale pour T4 (0,155 contre 0,079 kg de coton/m3 d'eau).

Ceci montre l'importance de la distance des électrotensiomètres aux goutteurs : plus celle-ci était faible, plus le bulbe était petit, mais plus aussi il est resté à une humidité élevée, ce qui n'a pas permis des rendements vraiment plus importants que les arrosages traditionnels deux fois par semaine.

Le but fixé, qui était d'obtenir en plein champ un rendement cultural et une efficience très élevés, n'a donc pas été atteint, bien qu'une amélioration sensible ait été obtenue.

N.D.T.: Il est probable qu'en créant des conditions de stress plus sévères que 20 cbar au moment critique de l'induction florale, le nombre de capsules aurait été supérieur, (ce qui rejoint les conclusions du rapport S2 sur l'intérêt d'une alimentation "en dents de scie", c'est-à-dire favorable à la création de stress hydriques).

Fresno S.7: voir page 40

Fresno S.10: voir page 41

Fresno U.2: voir page 43

Budapest 41.: voir page 49

Budapest 47 La révolution agricole due à l'introduction du g à g dans la vallée du Jourdain (Field and crop revolution in the Jordan Valley following introduction of drip irrigation) par Uri, Netafim, Israël.

Le remplacement de la submersion par le goutte à goutte sur 800 ha de bananiers dans la vallée du Jourdain a permis, du fait des économies d'eau, d'irriguer une surface double en coton, tout en augmentant les rendements en bananes (de 30 à 40 t/ha).

A noter une expérimentation faite en 1971 qui a montré une plus grande précocité de floraison (15 jours) avec le g à g qu'avec l'aspersion, et de récolte, ce qui est important puisque cette région située de 200 à 300 m au dessous du niveau de la mer, est déjà l'une des plus favorables par sa précocité (ET max = 18 mm/j).

Le choix du g à g pour le coton a été dicté par la nature du sol, relativement peu épais (0,2 à 1,2 m) et nécessitant donc de fréquents arrosages.

La délivrance de l'eau aux diverses parcelles, ainsi que le pompage et la filtration sont réalisés par un ordinateur. Chaque agriculteur peut demander par télécommande les quantités d'eau (et d'engrais) qu'il désire. Une technique de culture de sol minimale avec enfouissement des résidus de récolte a été mise au point pour éviter de rencontrer des blocs de rocher. L'expérimentation a montré que la réduction du système racinaire obtenue par des apports fréquents était favorable à une augmentation des rendements (5,4 t de coton brut, 1,85 t de fibres comme rendements maximaux obtenus).

L'auteur indique dans sa conclusion que la topographie accidentée a nécessité l'utilisation de goutteurs autorégulants et qu'une technique nouvelle de filtration permettant d'éviter l'obstruction des goutteurs a été utilisée\*.

<sup>\*</sup> Il doit s'agir d'un système de fonctionnement par pulsions, provoquées au niveau des électro-vannes de commande des postes d'arrosage (système Plastro-Gvat), ce qui provoque des purges fréquentes des goutteurs et évite ainsi une obstruction de ceux-ci pendant une partie de la durée totale de l'arrosage. Ce système, à l'essai depuis 2 à 3 ans, n'est pas encore commercialisé.

### C. MAITRISE DU TAUX DE RATIONNEMENT

17 rapports dont 16 de Fresno abordent cet aspect, qui est très lié à la fréquence et à la localisation des arrosages, comme nous l'avons fait remarquer plus haut.

## Synthèse

- 2 rapports sont très généraux et s'appliquent à toutes les cultures
  - . B.3 (Nouveau Mexique et Hawaî) propose une méthode pour calculer le niveau économiquement optimal d'uniformité d'arrosage en g à g, en fonction de l'homogénéité de fabrication des goutteurs, qui est le principal facteur de disuniformité.

Si, par exemple, on apporte à une parcelle une dose correspondant exactement à ses besoins maximaux (ETM) 50 % des goutteurs donneront plus, et 50% moins. CVg étant le coefficient de variation global des goutteurs on a, pour :

CVg=10%, un	rendement	de	l'irrigation	de	96%	et	donc	une	perte	d'eau	de	4%
20%			-		92%							8%
30%					88%						]	12%
50%					80%						2	20%

On est alors tenté d'augmenter le pourcentage des goutteurs qui recoivent autant ou plus que ETM, et de passer par exemple à 90 % au lieu de 50 % de plantes bien alimentées. On a, alors, pour :

CVg=10% un	rendement d	e	l'irrigation	de	86%	et	donc	une	perte	d'eau	de	14%
20%			_		73%				-			27%
30%					60%							40%
50%					33%							67%

La perte supplémentaire d'eau, raisonnable pour les CVg faibles, devient considérable pour les CVg élevés.

On voit l'intérêt de disposer de goutteurs de bonne qualité, dont le CVg est inférieur à 10 %, ou même à 5 % (il en existe) car, quand l'eau est rare et/ou chère, il faut l'utiliser le mieux possible, et éviter les pertes. Cependant, une solution possible pour minimiser les pertes d'eau est de ne plus irriguer à l'ETM tout le long du cycle végétatif de la culture et, au moins en dehors des stades critiques, de rationner la culture. On peut alors, même avec un rendement de l'irrigation médiocre, obtenir une efficience satisfaisante, et arriver à supprimer les pertes (le rationnement de la culture étant alors variable spatialement).

• M.8 (Californie), réalisé par un conseiller en gestion de réseaux d'irrigation, donne des conseils de prudence pour obtenir une gestion efficace : ne pas sous-irriguer avant la période de pointe, car on ne pourra pas faire face aux pointes de besoins avec une réserve vide, regarnir également la réserve après une période de rationnement destinée à déclencher l'induction florale (pour le coton par exemple, ou la luzerne à graînes, etc...) afin d'obtenir un développement optimal des ébauches florales, en fleurs, puis en fruits.

#### TABLEAU III

Valeurs du rapport I/ETM, du déficit relatif d'évapotranspiration (ETM-ETR)/ETM, et du rendement de l'irrigation à la parcelle Rp en . du pourcentage de plantes irriguées à 100 % (p) fonction . du coefficient (global) de variation du débit des distributeurs (CV) Source: FRESNO B 3

CV %	Р%	99	95	90	85	80	75	70	65	60	55
10	I/ETM (ETM-ETR)/ETM % Rp %	1,45 0 69	1,20 0,2 83	1,15 0,5 86	1,11 0,8 88	1,09 1,2 90	1,07 1,6 92	1,05 2,1 93	1,04 2,5 94	1,02 2,9 95	1,01 3,5 96
20	I/ETM (ETM-ETR)/ETM % Rp %	2,63 0 38	1,49 0,5 66	1,35 1,3 73	1,26 1,9 78	1,20 2,7 81	1,16 3,5 83	1,12 4,3 86	1,08 5,1 87	1,05 6,1 89	1,03 7,0 91
30	I/ETM (ETM-ETR)/ETM % Rp %		1,98 1,3 49	1,63 2,3 60	1,45 3,4 66	1,34 4,5 71	1,26 5,6 75	1,19 6,8 78	1,13 8,1 81	1,08 9,3 84	1,03 11 87
40	I/ETM (ETM-ETR)/ETM % Rp %			2,05 3,9 46	1,71 5,3 55	1,51 6,8 62	1,34 8,2 67	1,26 9,7 71	1,18 11 75	1,11 13 78	1,05 14 81
50	I/ETM (ETM-ETR)/ETM % Rp %			2,80 6,7 33	2,49 9,8 36	1,73 9,8 52	1,51 11 59	1,35 12 65	1,24 15 69	1,14 16 73	1,06 18 77

CV %	Р %	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5
10	I/ETM	1,0	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92	0,91	0,89	0,85
	(ETM-ETR)/ETM %	4,0	4,6	5,2	6,0	6,8	7,7	8,8	10,1	12,3	14
	Rp %	96	97	98	98	99	99	99	100	100	100
20	I/ETM	1,0	0,97	0,95	0,93	0,90	0,88	0,86	0,83	0,83	0,75
	(ETM-ETR)/ETM %	8,1	9,1	10	12	13	15	16	19	21	25
	Rp %	92	93	94	95	96	97	98	98	99	100
30	I/ETM	1,0	0,97	0,93	0,90	0,86	0,83	0,80	0,76	0,72	0,67
	(ETM-ETR)/ETM %	12	13	15	17	19	21	23	26	29	34
	Rp %	88	89	91	93	94	95	96	98	99	100
40	I/ETM	1,0	0,95	0,91	0,87	0,83	0,79	0,75	0,71	0,66	0,58
	(ETM-ETR)/ETM %	16	18	20	22	24	26	28	32	35	42
	Rp %	84	86	88	90	92	94	96	97	98	100
50	I/ETM (ETM-ETR)/ETM % Rp %	1,0 20 80	0,94 22 83	0,89 24 86	0,84 26 88	0,79 28 91	0,75 31 92	0,70 34 94	0,63 40 96	0,6 41 98	

<sup>=</sup> irrigation, ETM = ET maximale, ETR = ET réelle = coefficient de variation (global) du débit des distributeurs (%) CV eau utile

Rp = rendement de l'irrigation à la parcelle ( · eau utilisée

- Les autres rapports parlent d'une culture particulière :
  - Coton : c'est une plante que l'on a particulièrement intérêt à rationner (pour l'induction florale) par rapport à ses besoins potentiels (ETM), selon S.4 (Israël) qui confirme que lorsqu'on dépasse un certain pourcentage de ETM, on a des plantes plus vigoureuses (plus hautes, plus de matière sèche) mais pas plus productives en coton. Le rapport 9 de Budapest (Israël) signale même qu'une surdose par rapport à ETopt\* augmente la taille des plantes mais n'augmente pas le tonnage de fibres, et réduit leur qualité.

Enfin, M.9 (Israël) ne trouve d'intérêt aux rampes enterrées que si l'on rationne la culture.

D'autres pays également parlent du coton : M.5 (Inde) estime qu'à 75 % ETM on a le rendement (en coton) maximal, et à 50 % ETM l'efficience maximale de l'irrigation. S.2 (Arizona) trouve que l'indice électrostatique (proportionnel à la satisfaction des besoins) doit varier en dents de scie (probablement pour favoriser l'induction florale qui doit se faire en plusieurs phases).

- . Tomate à conserve : S.10 (Californie) et U.2 (Californie) relatifs au même essai, estiment que mieux vaut un rationnement léger qu'une sur-irrigation qui risque de provoquer hydromorphie, perte d'engrais et réduction de récolte. De même un rationnement programmé en période de maturation, ou même un arrêt total des arrosages (mais pas plus de 14 à 17 jours avant la récolte) permet à la fois d'augmenter le rendement et la qualité (degré Brix à l'usine) de la récolte ainsi que l'efficience de l'irrigation, par consommation de la réserve hydrique des bulbes.
- . Piment: P.1 (R.F.A) et F.2 (Nouveau Mexique et Irak). Il est sensible à la fois à la sur- et à la sous-irrigation. Il réagit au rationnement en réduisant la taille de ses organes (même comportement que la vigne d'après une étude conduite par la CNABRL en 1970, au Mas d'Asport, avec la participation de l'INRA et du CEMAGREF).
- . Arbres fruitiers: le rapport le plus intéressant est F.7 (Washington-E.U) qui montre que, par un rationnement maîtrisé (arrosages fréquents et volume racinaire limité), on peut transformer le port d'un arbre fruitier (qui passe d'érigé à buissonnant). S.9 (Italie) montre sur agrumes qu'un rationnement en début de campagne permet un éclaircissage naturel des fruits qui deviennent plus gros. La récolte est réduite en quantité (de 20 %) mais l'efficience de l'irrigation est améliorée (de 20 % également). S.8 (Californie), sur pistachier, conclut que cette espèce supporte un rationnement de 0,75 ETM mais qu'au-delà, les pistaches restent fermées et la valeur marchande est très réduite.
- Vigne: M.1 (Californie) décrit un protocole d'essai destiné à essayer d'obtenir, par un rationnement programmé, un plus grand développement de la rafle d'un cépage dont la grappe est trop compacte, donc sujette à la pourriture grise.
  - E.1 (Australie) estime que l'effet de l'irrigation sur la vigne est très bénéfique, mais que la plante doit pouvoir s'adapter à des rationnements variables, selon la pluviosité de l'année et le degré de remplissage des réservoirs.

<sup>\*</sup> Evapotranspiration optimale (sur le plan économique en particulier)

. Espaces verts : L.5 (Australie) décrit la conception rationnelle des espaces verts d'une ville nouvelle en région aride, par zones concentriques dont le rationnement augmente du centre vers la périphérie, ce qui réduit l'effet d'oasis (advection) et permet une meilleure efficience de l'irrigation de l'ensemble.

# Analyse des communications présentées

Fresno B.3 Effets, sur le rendement des cultures, de la conception du réseau et de sa gestion (Crop Yield as effected by irrigation design and management) par T.W. Sammis, Université d'Etat du Nouveau Mexique et I.P. Wu, Université de Hawaî, E.U.

Rapport intéressant. Il expose une méthode qui permet de calculer le rendement de l'irrigation en fonction du niveau de satisfaction des besoins en eau (ou du déficit hydrique par rapport à ETM), et de l'uniformité d'arrosage d'où le niveau de rendement de la culture si l'on connaît la courbe de réponse au déficit hydrique. Le tableau 3, p. 24, qui donne, soit la perte de récolte dans des conditions données, soit le niveau de satisfaction des besoins en eau économiquement optimal, est reproduit page 67.

Fresno E.1.: voir page 60

Fresno F.2 Tension optimale eau-sol en g à g sur piment (Optimum soil water tension for trickle irrigated chile peppers) par P.J. Wierenga (Nouveau Mexique, E.U.) et M.H. Saddiq (Iraq).

Avec les progrès réalisés dans les diverses méthodes pour la précision et l'uniformité des apports d'eau, notamment en micro-irrigation, on a besoin de mieux connaître, pour chaque culture, la tension optimale eau-sol, ou la plage de tension qui entraîne une production optimale, surtout qu'avec les progrès faits en automatisation on a maintenant les moyens de maintenir dans cette plage la tension réelle par des apports d'eau réduits et fréquents. Or le travail fait dans les années soixante par Taylor sur les tensions optimales s'appliquait à une irrigation par submersion, et non à une irrigation localisée.

Aussi l'étude vise-t-elle à déterminer la plage optimale de tension en irrigation localisée dans le cas du piment vert (Çapsicum annuum). Sur 3 ha du domaine de l'Université d'Etat du Nouveau Mexique, on a utilisé des gaines doubles espacées de 1 m, enterrées à 0,05 m, avec des orifices distants de 0,3 m 3 arrosages/semaine. Niveaux d'irrigation: 0,6, 0,8, 1, 1,2 et 1,4 fois la dose de la parcelle témoin, irriguée sur la base de K ETbac, K étant fonction de l'indice foliaire.

Les tensiomètres, placés près de la gaine, à 0,15, 0,30 ou 0,5 m de profondeur, ont, sauf pour le niveau 1,4, indiqué des tensions croissantes tout en restant inférieures à 1 bar (dans les traitements rationnés, le piment s'adapte en réduisant la taille de ses feuilles, d'où réduction de récolte). La courbe rendement-tension, montre un maximum dans la plage de tension de 1,5 à 2,5 m d'eau (soit 15 à 25 cbars).

Le piment est donc sensible à la fois à la sur et à la sous irrigation. Mais la plage obtenue se situe au dessus des tensions recommandées par la FAO (manuel de Doorenbos et Pruitt: 0,3 à 1,5 m d'eau) et qui résultaient d'études en irrigation par submersion.

Fresno F.7.: voir page 61

Fresno L.5 Le g à g sur espaces verts en zone aride d'Australie (Drip irrigation for arid zone landscaping in South Australia) par A.O. Beal, Australie.

L'auteur expose comment ont été conçus, et irrigués, les espaces verts d'une ville nouvelle (2 400 habitants), en remplacement de la ville ancienne (900 habitants) destinée à l'exploitation d'une mine de charbon située dans le Nord de l'Etat d'Australie du Sud, à climat continental aride (ETbac classe A = 3 m/an, pluie 0,2 m/an, vents violents 40 m/s), à sols sableux en surface, très calcaires (pH 8,1 à 10), salés (6,5 à 56,5 dS/m) et souvent sodiques, d'où imperméabilisation et érodabilité. L'eau provenait initialement d'un barrage réservoir construit en 1955, dont la capacité était passée de 7 500 m³ à 5 000 pour tomber à 3 500 vers 1990. Les pertes atteignent 75 % (50 % par évaporation, 25 % par percolation) ce qui laisse 25 % d'eau utilisable. En 1970 un forage dans la nappe locale donna une eau salée (1,3 à 9,06 dS/m) qu'il a fallu dessaler par osmose inverse pour abaisser à 0,88 dS/m la conductivité électrique CE. Cette eau coûte au total 4,9 dollars australiens/m³ contre 0,53 pour l'eau du barrage. Toute l'eau est traitée par javellisation et l'on s'efforce de maintenir CE en dessous de 1,1 dS/m. Elle sert aux besoins de la mine, ainsi que des habitants de la ville auxquels elle est fournie gratuitement.

La vieille cité jouissait d'un environnement agréable, grâce à de nombreux arbres irrigués par aspersion ou submersion, avec beaucoup de pertes en eau. La cité nouvelle devait jouir d'un cadre comparable, frais et ombragé, ce qui a nécessité la plantation de 250 000 arbres, arbustes, plantes de couverture et plantes grimpantes qu'il fallait irriguer avec le moins d'eau possible. D'où:

- sélection d'espèces tolérantes à la sécheresse et à la salinité, comme le Kikuyu pour le gazon,
- utilisation exclusive du g à g dans les espaces verts publics (# 100 000 plants), et fortement recommandée dans les espaces verts privés,
- utilisation généralisée de mulch (galets de 20 à 70 mm de diamètre et copeaux de bois) afin de réduire l'évaporation, augmenter les quantités d'eau infiltrées, éliminer les mauvaises herbes et réduire la salinisation du sol en surface,
- établissement de programmes spéciaux de besoins en eau, en fonction de la présence ou non de mulch, de l'espèce et de sa densité de plantation, du type de sol etc..., et remise aux habitants de guides pour l'utilisation de réseaux g à g et l'arrosage de pelouses privées,
- arrosage automatique la nuit des pelouses dont l'importance a été réduite (maximum 100 m²/famille).
- formation continue et information des usagers,
- utilisation de toutes les eaux usées pour irriguer les espaces verts.

# 5 zones concentriques ont été réalisées :

- I. A l'extérieur, une zone de protection très peu irriguée, avec des arbres particulièrement résistants, protégés par un mulch plastique de PE noir 100μ de 1 x 1 m. Une rampe Ø 13 mm enterrée alimente par des tubes conducteurs Ø 4 mm des goutteurs (Keyclip ou Turbokey) disposés en hauteur sur des piquets plastiques afin de faciliter le contrôle visuel. Pendant 2 ans un goutteur au pied, ensuite deux goutteurs à 0,75 m de part et d'autre du tronc afin d'assurer une meilleure résistance au vent.
- 2 Puis une zone de 20 ha mulchée de galets sur 10 cm d'épaisseur comprenant en plus des arbres plus décoratifs, irrigués.
- 3. Puis 5 parcs publics traités comme la zone précédente.
- 4. Le centre de la ville, avec des arbres encore plus décoratifs et plus irrigués.
- 5. Enfin les jardins domestiques, encore mieux traités (6 à 12 heures d'arrosage, 1 à 2 fois par semaine selon la saison, plus 4 arrosages de lessivage/an de durée double).

60 % de l'eau du réseau de la ville est utilisée pour l'irrigation. Malgré 267 % de population en plus et une extension des surfaces de loisir, la quantité totale d'eau consommée n'est que 69 % de celle qui était utilisée dans la vieille cité grâce au choix des essences, et à l'utilisation généralisée du g à g.

L'expérience a montré que le g à g est une technique économique et de maintenance facile pour l'irrigation d'espaces verts en zone aride.

Fresno M.I Le rationnement programmé. Ses effets sur la pourriture de la grappe et la physiologie des raisins de la variété chenin blanc, irriguée en g à g (Programmed moisture stress and its effects on bunch rot and physiology of drip irrigated chenin blanc grapes) par V.E. Petrucci, E.M. Norum, C.J. Muller, C.D. Clary, D. Pecchenino, D. Zoldoske et R. Holscher, Université de Californie, Fresno. E.U.

Le raisin de table est le fruit le plus cultivé au monde. Sur 747 000 acres en Californie, il y a 200 000 acres de cépages blancs et chenin blanc vient en 2ème rang (45 000 acres).

La grappe de ce cépage est très compacte, ce qui provoque souvent de la pourriture après éclatement des baies. Le ler objectif de l'étude est de chercher, par un rationnement programmé, à provoquer un plus grand développement de la rafle. Le 2ème objectif est de déterminer la corrélation entre le rationnement et le rendement x qualité de la récolte. Du fait de l'extension des racines, l'irrigation d'un rang influence les deux rangs voisins. D'où la nécessité d'espacer les traitements rationnés.

Le g à g permet de réaliser aisément un rationnement en eau, donc un stress hydrique plus ou moins accentué. L'essai réalisé à Fresno sur 12 000 acres d'une vigne de 15 ans (12 x 8 pieds) comprend 5 traitements et 2 répétitions : dans les 3 premiers, il y a arrêt de l'irrigation durant une période phénologique déterminée :

- T1: à partir de la nouaison, jusqu'à l'induction du dernier entrenoeud (entre 1 et 2 cm)
- T2: pendant tout le grossissement des baies
- T3: à la véraison, pendant 8 jours
- T4: rationnement progressif de 15 à 50 % de ET, en 7 stades de 7jours, à partir du ler juillet
- T5: témoin

Aucun résultat n'a été encore enregistré car l'essai a démarré en 1986.

Fresno M.5 g à g sur coton (Drip irrigation for cotton) par O. Padmakumari et R.K. Sivanappan, Université de Coimbatore, Tamil Nadu. Inde.

Pour germer, le coton exige des arrosages fréquents et copieux. Le traitement à 75 % de ETM a donné le rendement maximal, celui à 50 % l'efficience maximale de l'irrigation.

Fresno M.8 Gestion de l'eau en cultures industrielles irriguées au g à g (Water management on drip irrigated row crops) par J.C. Bryner, conseiller en irrigation, Fresno, Californie, E.U.

On ne parle en général que des rendements élevés, jamais des rendements médiocres. On ne peut éviter les échecs en irrigation g à g et réussir qu'à la condition de suivre certaines règles de gestion permettant de maximiser les succès et minimiser les échecs.

L'expert n'est appelé que lorsque le réseau est déjà en place : il doit donc non seulement tenir compte des conditions de sol, climat, culture, mais aussi des possibilités du réseau d'irrigation existant.

#### Attention:

- à ne pas sous-irriguer avant la pointe des besoins car on vide la réserve hydrique du sol avant que la plante en ait vraiment besoin.
- Lorsque, pour le coton, on crée un stress hydrique pour réduire la croissance végétative et favoriser la floraison, il faut penser, dans les jours qui suivent, à regarnir la réserve vide, sinon la plante continue à demeurer dans une situation de stress, et la récolte peut être réduite.

Fresno M.9.: voir page 37

Fresno P.1 Réaction physiologique du piment au stress hydrique et salin (Physiological reaction of chile pepper to water and salt stress) par F. Beese et N. Moshrofi, Science du sol, Goettingen, RFA.

Les auteurs concluent qu'en irrigation "fréquente" (aspersion et g à g tous les 2 à 3 jours) les plantes réagissent au déficit hydrique en réduisant leur croissance végétative, donc leurs besoins. Le potentiel foliaire ne paraît pas être un paramètre sensible à ce stress.

N.D.T.: L'expression "surface irrigation" utilisée dans le rapport signifie "aspersion sur toute la surface" par opposition au g à g qui localise l'eau sur une partie seulement.

Fresno S.2: voir p 63

Fresno S.4: voir p 64

Fresno S.8 Pilotage de l'irrigation g à g sur pistachier (Irrigation scheduling of drip irrigated pistachios) par R.C. Phéné, J. Menezes, D.A. Goldhamer, G.J. Aitkens, R. Beede et R. Kjelgren, Coopérative de développement de l'Université de Californie, E.U.

Il s'agit d'un essai conduit sur une plantation de 63,1 ha dans le sud de la vallée du San Joaquin, de Pistacia vera (variété Kerman) sur Pistacia atlantica espacé de 4,3 x 4,3. Une rampe par rang, goutteurs en ligne espacés de 1,29 m, arrosages pendant 3 à 6 jours par semaine après un remplissage de 86 mm fin mars 1984.

A côté du témoin irrigué à 1 ETM, 3 traitements rationnés à 0,25, 0,50, 0,75 et ETM en fin de campagne (20 jours seulement avant récolte).

Récoltes sensiblement identiques pour 0,75 et 1 ETM, mais réduction importante pour 0,25 et 0,50 ETM, avec une forte proportion de pistaches fermées restant sur les arbres.

Fresno S.9 Pilotage de l'irrigation g à g sur orangers adultes (Scheduling irrigation of orange trees) par C. Germana, V.I. Sardo et L. Cutore-Catane, Italie.

Essai conduit depuis 1975 dans l'est de la Sicile sur des orangers plantés en 1964 en 5 x 5m, irrigués par un goutteur de 8 l/h tous les mètres, pour étudier l'effet d'un rationnement en fonction de son intensité et du stade végétatif.

- On peut améliorer l'efficience de l'irrigation de 20 % si l'on accepte une réduction de 6 à 7 % sur le rendement total et le poids unitaire des fruits. Si l'on désire conserver la taille des fruits, un retard dans le début de la campagne d'irrigation provoque une chute des fruits qui réduira la récolte totale de 11 %, tout en améliorant l'efficience de 20 %, mais accroîtra, au lieu de le réduire, le poids unitaire de 7 % par rapport à une parcelle conduite à l'ETM.
- Il convient évidemment de doser soigneusement le stress ainsi recherché pour ne pas avoir une chute de fruits trop importante, et le gain de volume maximal doit rester inférieur à 45 cm³.
- Si l'eau d'irrigation est salée, on doit tenir compte du stress supplémentaire dû à l'augmentation de la pression osmotique.

Fresno S. 10: voir page 41

Fresno U.2: voir page 43

Budapest 9. Influence, sur le coton irrigué en g à g, de l'espacement des rangs et de l'ondulation du couvert végétal (Narrow row and ripple canopy effects in drip irrigated cotton) par Meron et al, Institut des sols et de l'eau ,Israël.

Voir aussi Fresno I.9 (1980) et S.4 (1984).

Expérimentation réalisée en 1985 dans le sud de la Galilée (vallée de la Hula) afin de tester l'effet de l'écartement entre rangs, de l'écartement entre rampes et du régime d'apport de l'eau, sur la forme du couvert végétal, le rendement et la qualité des fibres.

#### - Protocole:

- 300 kg/ha d'N, 50 de P, 300 de K ont été apportés par le g à g.
- 2 écartements entre rangs : normal (0,925 m) réduit (0,725 m)
- Pour chaque écartement entre rangs, 3 formes de couvert végétal :
  - . uniforme
  - . ondulé 1 : 1 rampe pour 3 rangs et interlignes variés
  - ondulé 2 : interlignes variés et l rang sur 3 nanifié par un régulateur de croissance.
- 2 régimes d'irrigation :
  - . normal (2 fois/semaine), 0,8 Ebac (360 mm)
  - . surirrigué = normal + 20 % (410 mm)

Au total 2 x 2 x 3 = 12 traitements répétés 3 fois.

Résultats au bout d'un an : ils sont déjà très intéressants :

Les espacements étroits (avec même nombre total de plants/ha) ont entraîné une augmentation de rendement de 20 %, l'accroissement des doses a augmenté la taille des plantes de 20 % mais a réduit la qualité des fibres sans augmenter le rendement. La création de relief d'un rang à l'autre n'a apporté aucun avantage.

## D. DEGRE ET MODE DE LOCALISATION DE L'EAU

22 rapports dont 20 présentés à Fresno et 3 à Budapest.

Une moitié traite de l'influence de la localisation de l'eau sur le système racinaire (contexture, étendue, densité, efficacité), l'autre moitié sur le rendement de la culture.

- 2 rapports israéliens Fresno S.4 et Budapest 47, relient les 2 aspects en indíquant que le rendement optimal semble être obtenu par des arrosages fréquents et des volumes de bulbe réduits. D'après ce qui précède, on peut y voir 2 raisons possibles :
  - -On réduit beaucoup le poids des racines, qui représente une part non négligeable de la M.S. photosynthétisée par la culture. Cette M.S. se retrouve alors dans le poids des organes aériens, ce qui augmente le rendement de la récolte.
  - -Ces racines restent toutes actives en permanence, et le débit d'eau et de sels transmis à la partie aérienne de la plante est toujours maximal, ce qui favorise la photosynthèse. Lorsque, en pleine sécheresse, une partie du sol se dessèche au delà du point de flétrissement, les racines qui s'y trouvent entrent en dormance et, lors d'une réhumectation par une pluie, mettent un certain temps à se réactiver. On s'en est aperçu en France, car après une pluie abondante, le bulbe continue à se dessécher aussi rapidement et devient vite beaucoup plus sec que le sol voisin.

## D.1 : Influence de la localisation sur le système racinaire

## Synthèse

- Presque tous les auteurs sont d'accord pour estimer que la localisation n'a que peu d'influence, en cultures pérennes, sur le système racinaire des arbres adultes mais que, pratiquée dès la plantation, elle influe fortement sur le développement du système racinaire des jeunes arbres, comme en culture annuelle.

## En cultures pérennes :

- -en irrigation de complément (précipitation 1250 à 1400 mm/an) sur agrumes adultes en sol sableux, un rapport américain (F.5) estime que les mini-diffuseurs donnent de meilleurs résultats que les goutteurs dans les sols à faible réserve (en g à g, P = 28 à 51 % donne de meilleurs résultats que P =~5 ou 10 %), et que la production est sensiblement proportionnelle au pourcentage humidifié de la surface couverte (par la frondaison). Cependant une certaine localisation est bénéfique (80 % serait un optimum pour les mini-diffuseurs) car, en humidifiant 100 % de la surface couverte (aspersion classique), on a de moins bons résultats.
- -en irrigation obligatoire, un autre chercheur américain (I.8) estime lui aussi que les mini-asperseurs sont préférables car ils permettent une plus grande extension du système racinaire.

Mais un chercheur israélien (1.7) déclare que la valeur du pourcentage de sol humidifié n'a pas d'effet nuisible sur le rendement et la qualité des pommes.

D'après un rapport californien (Q.1), la variabilité de la pluviométrie des miniasperseurs a peu d'influence sur le système racinaire des avocatiers. Un chercheur hongrois (Q.4) parle des aptitudes de la vigne à explorer le sol très loin de la souche. On n'a donc pas besoin de mettre un goutteur à chaque cep, et une rampe permet d'irriguer 2 rangs au moins (la CNABRL avait trouvé en 1970 que l'optimum économique à Nîmes était de 3 rangs par rampe). Pas d'influence sur le système radiculaire des vignes âgées.

-Dans l'Ile Maurice (Q.2), on estime que pour la canne à sucre, la position des rampes est un facteur déterminant de son développement racinaire. Pour un niveau d'arrosage donné, une rampe par rang serait plus favorable qu'une rampe pour 2 rangs jumelés car 1 ETM suffit au lieu de 1,5 ETM. Ceci est évident pour nous qui avons vu précédemment qu'on ne doit pas dépasser par point de gouttage la dose maximale emmagasinable sans pertes par percolation. Or, avec une rampe pour 2 rangs jumelés et fréquence d'arrosage inchangée, la dose est doublée par rapport à une rampe par rang, ce qui doit dépasser la dose maximale du sol considéré.

#### - En cultures annuelles

-sur coton un rapport américain (N.5) a montré qu'une rampe pour 3 rangs rapprochés (rampes espacées de 2,3 m) donnait d'excellents résultats, alors qu'avec un espacement de 3 m, ils étaient nettement inférieurs (965 kg de fibres/ha contre 1410 kg). Les résultats étaient également meilleurs qu'avec une rampe pour 1 ou 2 rangs (1380 et 1320 kg).

L'explication des auteurs serait que l'ondulation provoquée par l'hétérogénéité de l'arrosage entre les rangs est favorable à un meilleur piégeage de l'énergie solaire incidente. Cependant nous avons vu que cette explication n'avait pas été corroborée par l'essai ultérieur. Aussi je préfère l'explication suivante, conforme à la théorie de la dose maximale exposée plus haut : la fréquence d'apport étant journalière, on peut supposer que la dose apportée correspondait à un bulbe plus important avec un espacement de rampes de 2,3 m qu'avec un espacement moindre, d'où réduction des pertes par évaporation, sans toutefois (trop) augmenter les pertes par percolation. Mais, en passant à 3 m, la dose par point de gouttage est trop importante, provoque des pertes par percolation, ce qui entraîne une réduction de la consommation de la culture, donc une chute du rendement en coton.

- -sur tomate de serre, un rapport anglais (Q.3) a étudié le profil racinaire dans 2 essais, l'un à fréquence constante, l'autre à débit constant. Dans les 2 essais, même répartition des racines dans les profils (plus de 65 % dans les 30 premiers cm) et même volume de racines quelle que soit la fréquence. Cependant, la densité racinaire serait proportionnelle au débit d'apport, conclusion que l'on retrouve en N.10 sur orangers (cf ci-dessous).
- Le rapport américain N.10, dans un essai sur orangers (4,9 x 6,7 m) irrigués depuis 12 ans en planches (2 600 mm/an), a étudié, avec la planche comme témoin, l'influence de 4 systèmes, plus ou moins localisés, sur le système racinaire.

Dans ce verger adulte, on s'attendrait à ce que l'effet soit négligeable. Mais les essais précédents ont eu lieu essentiellement en irrigation de complément et nous sommes ici en zone typiquement aride (Arizona), où pratiquement toute l'eau consommée provient de l'irrigation. Et, dans ce cas, les auteurs ont observé, au bout de 4 ans seulement, des modifications fondamentales, que traduit bien la figure 4 p.78.79.

. Pour vivre, les arbres ont dû s'adapter à leur nouveau mode d'alimentation en eau, et développer un système racinaire nouveau pour prendre l'eau là où elle se trouvait.

La conclusion la plus intéressante est que, plus les taux de localisation, dans le temps et dans l'espace, sont importants, plus le système racinaire est profond et dense. En donnant aux 4 classes retenues sur les profils les valeurs 2, 6, 10 et 16, j'ai évalué les poids de racines (en % du poids obtenu dans le cas de l'irrigation par bassin) à 75 % pour le g à g, 73 % pour les mini-diffuseurs et à 86 % pour l'aspersion, ce dernier chiffre étant probablement surévalué, enfin à 49 % pour la planche.

## Enfin, d'autres rapports arrivent à des résultats généralisables sur la localisation :

- -Un rapport américian (R.2), relate un essai sur plantes annuelles en Israël au sud de la Mer Morte: dans le sol, les zones de croissance optimale sont à un niveau de saturation en eau de 0,69 (quelle que soit l'espèce). Les plantes développent leurs racines dans ces zones préférentielles, quel que soit leur éloignement, ce qui fait que leur aspect extérieur ne révèle pas l'hétérogénéité du sol au point de vue racinaire. L'essai a été réalisé, comme pour N.10, dans un milieu désertique, où l'irrigation était la seule ressource en eau, ce qui explique que le système racinaire dépendait seulement de la diffusion de l'eau à partir des points de gouttage. Ceci ne se retrouve pas dans les zones où, chaque année, les pluies viennent reconstituer une réserve hydrique dans l'ensemble de la zone qui peut être explorée par les racines, et explique que, pour les cultures pérennes, le sol finisse par être entièrement exploré par les racines : à ce moment-là (verger adulte par exemple), la localisation a un effet beaucoup plus réduit sur le système racinaire, qui reste simplement toujours actif dans les zones alimentées fréquemment par l'irrigation.
- -2 rapports de R.F.A. (P.1 et Q.5) qui font état d'études sous serre, donc dans un environnement sans pluie, signalent aussi que le système racinaire est d'autant plus profond que la dose est plus forte et que la masse totale des racines, plus importante en localisé, augmente avec la dose. De plus, il y aurait, par rapport à l'aspersion, 1/3 de poids de racines en plus, pour un même poids de matière sèche aérienne.

## Analyse des communications présentées :

Fresno F.5 DT sur agrumes en sol sableux et irrigation de complément (Trickle irrigation on citrus on sandy soils in a humid region) par R.C.J. Koo et A.G. Smajstrla. Université de Floride. Gainesville. E.U.

Dans les régions d'irrigation de complément comme la Floride, le système racinaire des agrumes a tendance à occuper l'ensemble du volume de sol disponible, et l'apport d'eau localisée n'entraîne pas une densité plus grande des racines sous les goutteurs.

Fresno I.7 Réponse du pommier au g à g et à la fertigation (Apple response to drip irrigation and fertigation treatments) par Israël Levin, Raphaël Assaf et Ben Ami Bravdo, Institut Volcani à Bet Dagan, Israël.

Seul figure le résumé et ma demande pour obtenir le rapport complet est restée sans réponse. Voici les conclusions des auteurs :

"Le volume de sol humidifié n'a pas un effet notable sur le rendement et la qualité des fruits, dans la plage des essais réalisés (goutteur de 2,4 ou 8 l/h) avec 1 ou 2 rampes par rang. Des arrosages fractionnés (1 heure toutes les 2 heures) ont donné quelques avantages par rapport à un arrosage journalier non fractionné, surtout en sol

relativement sec. On a pu, avec une sonde à neutrons, déterminer les besoins journaliers moyens sur la semaine et ajuster les coefficients K applicables à Ébac classe A. Des apports d'N en avril, mai et juin ont accru les rendements et la vigueur des arbres sans nuire à la qualité des fruits".

Fresno I.8 Réponse de l'amandier à des doses variables d'azote apportées par mini-asperseurs (Almond tree response to variable nitrogen fertilisation rates through low volume sprinklers) par Roger Kjelgren, David A. Goldhamer, K. Uriu et Steven A. Weinbaum, Université d'Etat de Davis, Californie, E.U.

Les auteurs estiment que le développement des mini-asperseurs ou brumiseurs, qui s'observe actuellement en Californie au détriment des goutteurs, se justifie par un plus grand volume de sol humidifié, et aussi par leur fonctionnement visible de loin qui permet de déceler plus aisément les obstructions et facilite donc la maintenance. Les 2 systèmes permettent d'apporter aisément des engrais, notamment N qui est le facteur limitant le plus répandu. Son insuffisance réduit la floraison et la fructification, ainsi que le rapport amandon/coque. Un essai en 1983/84 avec 4 niveaux d'N a montré qu'un manque d'N par rapport aux besoins se traduisait par une coque plus lourde et un amandon plus léger, d'où réduction sensible du rapport amandon/coque qui s'avère être un critère plus pratique pour l'agriculteur que le dosage d'N dans les feuilles.

Fresno N.5 Comparaison de réseaux DT et de raies en bassins horizontaux pour la culture du coton (Trickle and level-basin irrigation management for cotton production) par Orrin F. French, Dale A. Bucks, Robert L. Roth et Bryant R. Gardner, Phoenix et Yuma, Arizona, E.U.

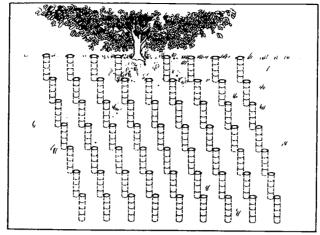
Les essais ont été réalisés en 1983-84.

- -Bien conduites, les deux techniques donnent de bons rendements en coton et une bonne efficience de l'eau en sol à faible capacité de rétention. En 1986 le rendement maximal a été atteint avec une rampe pour 2 rangs à interligne normal de 1 m (les interlignes plus étroits n'ont pas présenté d'avantages). Intérêt des arrosages fréquents lorsque l'uniformité de répartition de l'eau était bonne. Cependant 1 rampe pour 3 rangs à interlignes plus étroits (espacement des rampes 2,3 m) a donné de très bons résultats, alors qu'à 3 m les résultats étaient mauvais en raison de la texture grossière du sol qui réduisait la diffusivité latérale.
- Certaines variétés nouvelles semblent avoir des besoins en eau moins élevés que les variétés plus anciennes de 10 ans et sont mieux adaptées aux arrosages fréquents.

Fresno N.10 Distribution racinaire d'orangers adultes irrigués par différentes techniques (Root distribution of mature orange trees irrigated by pressurized systems) par Robert L. Roth et Bryant R. Gardner, Université de Yuma, Arizona, E.U.

Les auteurs ont comparé la répartition des racines "actives" (entre  $\emptyset$  0,5 et 2 mm) d'orangers adultes (6,7 x 4,9 m), pour les 5 systèmes suivants :

- 1. Planche: utilisé depuis 12 ans. 20 arrosages. 2 600 mm/an
- 2. Goutte à goutte : 6 goutteurs/arbre de débit total 23 l/h. I arrosage/jour.
- 3 Ajutages : 1 bubbler de 228 l/h débitant dans un bassin carré autour de chaque arbre. 1 arrosage/semaine.
- 4 Minidiffuseurs: 2 spitters de débit total 66 l/h donnant un jet en éventail de 165° de chaque côté du tronc (75 % de la surface de la frondaison humidifiée). l arrosage/semaine.



Echantillonnage pour l'étude de la distribution racinaire

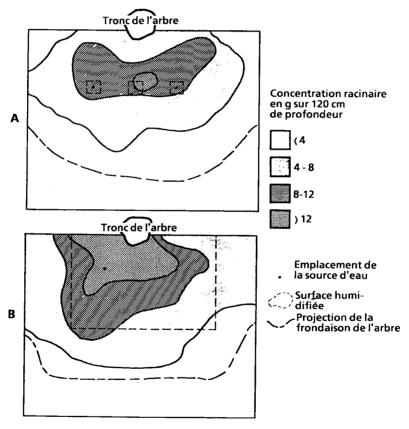


Figure 4 - Système racinaire induit par 5 systèmes d'irrigation différents Source : FRESNO N 10

A.6 goutteurs B. 1 ajutage q total 23 l/h q total 228 l/h tous les jours toutes les semaines

Apport par l'irrigation 1800 mm/an

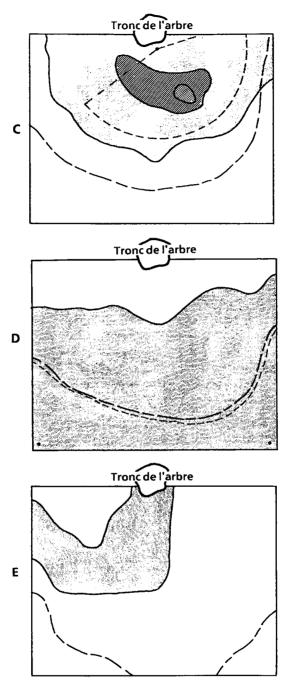


Figure 4 (suite) - Système racinaire induit par 5 systèmes d'irrigation différents

C. 2 mini-diffuseurs D. 4 mini-asperseurs E. témoin (planche) q total 66 l/h q total 114 l/h toutes les semaines toutes les semaines 20 arrosages/an Apport par l'irrigation 1800 mm/an 2600 mm/an 5 Aspersion: tourniquet à 0,45 m au dessus du sol, 114 l/h/arbre au milieu des interlignes et à égale distance des arbres. 1 arrosage par semaine.

Résultats au bout de 4 ans (carotages tous les 0,6 m): les arbres s'adaptent à chaque système en développant leurs racines là où l'eau est appliquée.

- . la planche donne la plus grande surface pauvre en racines, le bassin la plus grande riche en racines,
- . en aspersion, les racines se développent loin du tronc,
- · la concentration diminue avec la profondeur dans le cas du minidiffuseur, de l'asperseur et de la planche, alors qu'avec le g à g et le bassin (systèmes localisés) elle est plus importante de 0 à 0,3 m et de 0,6 à 0,9 m,
- · les racines descendent plus profondément (au delà de 1,2 m) dans le cas du g à g, du minidiffuseur et surtout du bassin.

#### Fresno P.1.: voir page 72

Fresno Q.1 Répartition des racines de l'avocatier irrigué par mini-diffuseurs et mini-asperseurs (Avocado root distribution with mini sprinklers) par J.L. Meyer et Don Peck, Université de Riverside, Californie, E.U.

Beaucoup d'arboriculteurs du sud de la Californie sont passés des goutteurs aux minidiffuseurs et mini-asperseurs en raison du moindre nombre de distributeurs et du moindre risque d'obstruction. Cependant la pluviométrie apparait mal répartie.

Les auteurs ont cherché par des tranchées à déterminer la répartition des racines résultant de l'irrigation, d'avocatiers de 8 ans, avec des mini-asperseurs de 28 l/h.

La grande variabilité de la pluviométrie des mini-asperseurs a relativement peu d'influence sur le système racinaire des arbres étudiés.

Fresno Q.2 Développement des racines de la canne à sucre en g à g (Root development of drip irrigated sugar cane) par G.C. Soopramanien (Ile Maurice), C.H. Batchelor et J.P. Bell, Wellingford, Grande Bretagne.

L'application localisée de l'eau et des engrais crée dans le sol des gradients de disponibilité pour les racines. 3 essais sur 10 ha ont été réalisés sur une canne plantée en 1983 dans l'Ile Maurice (climat tropical l'été et subtropical l'hiver, pluie 1432 mm/an, sol basaltique, riche en argile et perméable (plus de 1 m/jour dans les 30 premiers centimètres).

Le rapport, qui ne concerne que l'un des essais, comprend 14 traitements dans un bloc randomisé à 3 répétitions, avec 2 témoins non irrigués, 2 positions de rampe, 3 niveaux d'irrigation (0,5, 1 et 1,5 ETM), le tout splitté suivant 2 espacements de rangs (uniforme à 1,62 m et rangs jumelés 2,26 x 0,97 m). Arrosages quotidiens par gaines Chapin débitant 1,2 l/h/orifice.

Parmi les facteurs agissant sur le développement racinaire de la canne (variété, profondeur, texture et fertilité du sol, température, vent, pratiques culturales), l'humidité du sol est le plus important. Sur les 3 paramètres étudiés, la position des rampes apparaît prépondérante car il y a, pour la rampe au milieu de l'interligne, un différentiel de croissance en fonction de la distance à la rampe. Pour un niveau d'irrigation donné, la croissance des tiges est moindre en rangs jumelés qu'avec une

rampe en dessous du rang, dispositif plus favorable à l'utilisation de l'eau. En effet l ETM suffit pour une rampe par rang pour atteindre la croissance maximale alors qu'il faut 1,5 ETM avec une rampe pour 2 rangs jumelés, ce qui indique qu'il y a, dans le 2ème cas, des pertes par drainage.

On retrouve cependant des racines dans la totalité du sol, car la plantation s'est faite sur sol humide et il y a eu une pluie importante en cours de végétation.

Les auteurs reconnaissent que si, dans le sol considéré, la saturation (provisoire) du sol lors d'un arrosage n'a pas d'effet néfaste lorsque la rampe est très proche de la canne, il n'en serait peut-être pas de même dans un sol moins perméable.

Fresno Q.3 Contrôle du développement des racines en g à g (Monitoring root development under trickle irrigation) par A. Al Amoud et M.G. Kay, Silsoe College, Grande Bretagne.

Pour étudier le développement racinaire, on peut utiliser dans le sol des rhizotrons (surfaces vitrées planes) ou des minirhizotrons (tubes de verre). Cette 2ème technique a été utilisée sur tomate de serre en g à g, ce qui a priori était déconseillé. Les minirhizotrons ont été installés à 45° d'inclinaison à travers la tranchée humide constituée par les bulbes successifs.

La technique du minirhizotron s'est montrée efficace et pratique pour observer le développement des racines, malgré quelques difficultés (notamment l'inclinaison du tube ne supprime pas le développement préférentiel des racines dans l'interface verre-terre).

Il y a eu deux essais successifs, sur tomate de serre (1 x 0,5 m) avec le même niveau d'arrosage :

- Divers débits (0,5 1 et 2 1/h) mais une seule fréquence (tous les jours).
- Même débit (1,6 l/h) mais diverses fréquences d'apport : 1 7 et 14 jours.

Dans les deux essais, on a observé dans les profils la même répartition racinaire (plus de 65 % dans les 30 premiers cm du sol), mais une plus grande densité de racines pour le débit le plus important notamment dans la couche supérieure du sol. Par contre, très peu de différence de volume de racines en fonction de la fréquence d'arrosage, malgré l'écart (1 à 14 jours).

Fresno Q.4 Effets du g à g sur l'absorption de l'eau et l'enracinement de porte-greffes de vigne (Drip irrigation effects on vinestock water uptake and root position) par F. Ligetvari, Hongrie.

Il arrive en Hongrie que la vigne souffre de la sécheresse d'hiver ou d'été, notamment sur sols sableux ou pentus, et le g à g se développe lentement mais sûrement, car c'est un mode d'irrigation très bien adapté à la vigne.

Au début du printemps, on doit parfois apporter 40 à 50 mm d'eau pour humidifier le sous-sol et constituer une réserve hydrique, surtout en sols limoneux ou argileux, car la vigne peut exploiter le sol à plusieurs mètres de distance, horizontalement et verticalement.

Des essais (1977-79) sur un chasselas de 10 ans ont permis de le vérifier car les rangs non irrigués ont produit autant que les rangs irrigués. Il suffit donc d'irriguer un rang sur deux dans les vignes adultes. Par ailleurs l'irrigation de vignes âgées ne modifie pas le système racinaire alors que, sur vignes jeunes, la majorité des racines se développent autour du bulbe.

Fresno R.2 Choix du débit et de la position des goutteurs pour maîtriser la répartition des racines (Selecting dripper discharge and location to control root distribution) par Uri Shani, Université de Logan, Utah, E.U.

La forme du bulbe dépend des propriétés hydrodynamiques du sol et de l'absorption racinaire, mais aussi du débit des goutteurs et de la fréquence des arrosages. Par ailleurs le système racinaire ne peut, en zone aride, se développer que dans le bulbe.

#### Protocole:

D'où un essai conduit en Israël sur 2 sols différents, tous les 2 sableux (83 et 94 % de sable), de la vallée de l'Arava (Sud de la Mer Morte). Dans chaque sol, 4 sites choisis au hasard, et dans chaque site 4 à 6 répétitions:

- ler sol, 3 espèces (poivron, coton, melon) et 2 débits de goutteurs (1,5 et 5,4 1/h).
- 2ème sol, 1 espèce (piment), 1 débit (8 1/h) et 3 niveaux de salinité de l'eau (1,86, 3,6 et 6,2 dS/m).

Goutteurs espacés de 1,5 m pour minimiser les interactions entre goutteurs voisins. Plantes semées en croix autour de chaque goutteur. 20 goutteurs pour chaque débit en dispositif randomisé. 1 arrosage/jour à 0,8 Ebac classe A, avec fertigation continue.

#### Observations:

-En g à g, il y a un maximum de croissance racinaire à une certaine distance du point de gouttage, l'aération étant insuffisante en deçà et l'humidité insuffisante au delà (dans les essais, 5 à 18 cm). Ce maximum est d'autant plus éloigné et large que le débit de goutteur est important, et d'autant plus proche et pointu que la conductivité hydraulique est grande.

Cependant le rendement de chaque plant s'étant avéré indépendant de la distance au goutteur, on peut penser qu'une plante située dans une zone de faible densité racinaire a développé son système racinaire dans une zone plus favorable.

- -Les différences de concentration en sel dans le bulbe n'ont induit aucune différence de croissance racinaire (sauf une réduction pour le melon semé très près du goutteur), malgré des répercussions sensibles sur les rendements.
- -La zone de croissance racinaire optimale correspond à une saturation relative du sol en eau de 0,69, quelle que soit l'espèce cultivée (3 familles différentes dans les essais). La courbe de croissance racinaire relative suit une loi log. normale en fonction de la saturation relative.

On peut donc en g à g calculer la répercussion (dans un sol donné), sur la croissance racinaire et le rendement, de la position de la culture par rapport au point d'apport de l'eau.

Fresno S. 4: voir page 64

Budapest 47: voir page 65

## D.2 : Influence de la localisation sur le rendement de la culture

## Synthèse

- 2 rapports israéliens (N.6 et N.7) tous deux sur agrumes (pomélo ou oranger), sont relatifs à l'influence de une ou deux rampes par rang d'arbres.
  - . N.6 conclut à l'avantage économique d'une seule rampe de goutteurs/rang, avec fréquence double, les rendements étant les mêmes qu'avec 2 rampes et les fruits de meilleure qualité.
  - . N.7, qui compare des mini-diffuseurs à deux taux de localisation (35 et 90 % de surface mouillée), ajoute que le rendement (en tonnes de fruits) du traitement le plus localisé réagit plus à une augmentation de la dose et moins à une diminution de celle-ci.

Je pense que dans le cas du traitement le plus localisé, la capacité de rétention de l'eau dans le bulbe devait être telle que les pertes par percolation restaient négligeables, ou tout au moins inférieures à l'augmentation des pertes par évaporation du traitement le moins localisé.

- Un autre rapport israélien (P.2), signale un inconvénient d'une trop grande localisation dans le cas de l'arachide, car les gonophores, qui portent les fleurs fécondées, ne peuvent s'enfoncer que dans un sol humide, donc dans le bulbe. D'où une réduction de récolte possible en g à g.
- Un rapport espagnol (F.1) signale que le g à g sur coton a l'avantage, sur la raie, d'une plus grande précocité, ce qui n'est pas sans intérêt à la limite Nord de cette culture, car on peut échapper aux pluies de début novembre. Et les rendements y sont très honorables dans des sols très salés, avec nappe salée et irrigués avec de l'eau salée (1,2 d S/m), par des goutteurs 2 l/h tous les 0,4 m.

Des deux niveaux d'irrigation essayés, le plus rationné 75 % contre 100 % ET a donné les meilleurs résultats, en rendement et surtout en précocité puisque le rendement maximal était obtenu dès le 31 octobre au lieu du 4 décembre. Sur les deux densités de rampe essayées, la plus économique (une rampe pour 2 rangs) s'est avérée non différente statistiquement de la plus onéreuse (une rampe par rang). Or, avec le traitement le plus rationné, le bulbe, où l'eau se trouvait à un taux de salinité acceptable pour la croissance normale du coton, était sensiblement plus petit, ce qui serait conforme à la nouvelle théorie.

Dans cet essai, il est certain que la salinité du sol a joué un rôle favorable en réduisant la partie utile de la zone racinaire.

- Enfin un rapport américain (T.4) fait ressortir que l'uniformité des distributeurs est la composante principale de l'uniformité d'arrosage. Une localisation uniforme, qui permet d'augmenter l'efficience d'une ressource en eau limitée, ne peut donc être obtenue qu'avec des distributeurs de très bonne qualité technologique (CV  $\langle 0,05\rangle$ ).
- N.B.: Le rapport 15 (Yougoslavie) parle aussi de localisation mais offre peu d'intérêt car, en sol pierreux, peu diffusif, cultivé en vigne, il conclut que l'aspersion donne de meilleurs résultats que le g à g du fait du trop faible diamètre des bulbes et des pertes importantes par percolation. Il est regrettable que des mini-diffuseurs, qui auraient donné a priori de bien meilleurs résultats, n'aient pas été essayés.

## Analyse des communications présentées

Fresno F.1 g à g sur coton dans le Sud de l'Espagne (Drip irrigation of cotton in Southern Spain) par E. Fereres, R. Cuevas et F. Orgas. Université de Cordoue. Andalousie. Espagne.

Malgré certaines limites climatiques (températures basses en début et fin de saison, risques de pluies en fin de saison), on peut cultiver le coton en Andalousie avec des rendements honorables (4 t/ha). Par manque de mécanisation, la surface totale en coton a baissé progressivement pour atteindre 40 000 ha en 1983. Depuis, des machines à récolter ont été introduites, et le gouvernement envisage de porter la culture à 100 000 ha en 1988.

L'intérêt du g à g est ici de réduire la durée du cycle végétatif, et de maîtriser le stress hydrique nécessaire à l'induction florale. Aussi 2 essais, en 1983 et 84, ont été entrepris sur la partie basse (sol argileux avec nappe salée peu profonde) d'un périmètre de 50 000 ha (Las Marismas). Les rendements en g à g ont été excellents (4 à 5,7 t/ha de capsules) par rapport à la raie (2,5 t/ha avec 11 arrosages). Il n'y a pas eu de différence apparente en fonction du niveau des apports (75 et 100 % ET) et de la densité des rampes (1 pour 1 ou 2 rangs, espacés de 0,8 m, mais le traitement le moins arrosé a été de beaucoup le plus précoce (récolte avant le 1/11, date à laquelle le risque de pluie augmente sérieusement).

En sols défavorables, il y a donc supériorité indéniable, non seulement technique, mais aussi économique, du g à g sur la raie. En sols favorables, les résultats seraient sensiblement équivalents et l'étude doit être poursuivie dans ce type de sol pour tester l'intérêt du g à g.

Fresno N.6 Humidification, salinité et système racinaire sur pomelo en g à g (Moisture, salinity and root distribution of drip irrigated grapefruit) par H. Bielorai, Institut Volcani, Bet Dagan, Israël.

En 1976-77, l'auteur a testé dans le Nord du Negev (230 mm de pluie, uniquement en hiver) l'influence, en arrosages hebdomadaires, de une ou deux rampes par rangée d'arbres (6 x 6 m): sur la surface mouillée (11 et 18 m² sur 36), sur l'évapotranspiration réelle (3,5 et 4 mm/j venant du bulbe contre 1 mm/j venant du reste du sol), sur la salinité (pour la rampe unique sol plus salé en surface et moins salé en profondeur), sur le système racinaire (de plus en plus dense dans les bulbes d'année en année, et restant identique ailleurs), sur les rendements (58 et 70 t/ha en 1976, 65 et 74 en 1977).

Malgré l'augmentation des rendements en rampe double, la rampe unique est plus économique en arrosages hebdomadaires. De plus, si l'on augmente la fréquence d'arrosage (tous les 2 à 3 jours) les rendements sont sensiblement égaux pour les deux traitements. Enfin la qualité apparait meilleure (fruit plus sucré et plus acide) avec une seule rampe. En fait, le nombre des fruits est le même, mais ceux-ci sont plus gros (plus gorgés d'eau) avec deux rampes par rang.

Fresno N.7 Effets à long terme de la localisation de l'eau sur agrumes (Long-term effects of partial wetting in a citrus orchard) par H. Bielorai, S. Dasberg et Y. Erner, Institut Volcani, Bet Dagan, Israël.

L'essai rapporté a été réalisé immédiatement après l'essai précédent et porte sur l'effet d'une localisation plus ou moins grande de l'eau, c'est-à-dire la comparaison goutteurs-minidiffuseurs. Résultats de 6 ans -1978-1984) sur un verger de 16 ans

variété Shamouti planté en 6 x 4 m, irrigué d'avril à novembre, situé plus près de la Méditerranée (moyenne 550 mm de pluie entre novembre et mars). On a comparé ici :

- 2 niveaux de localisation : L1 : 35 % de surface mouillée (1 miniasperseur Ein Tal 70 l/h/arbre) L2 : 90 % de surface mouillée

(I asperseur Naan 140 I/h/2arbres)

- 3 niveaux d'irrigation : 575, 765 et 900 mm soit 45 %, 60 % et 72 % de Ebac.

L'eau pénètre d'autant plus profondément dans le sol que la localisation et la dose sont plus élevées, ce qui apparait évident. Cependant les conclusions des auteurs sont intéressantes :

Dans le traitement le plus localisé, la réponse à une augmentation de la dose est plus nette alors que dans le traitement le moins localisé, la réponse à une réduction de la dose est plus accusée. Autrement dit, la localisation (de l'eau et de l'engrais) entraîne une réaction favorable des arbres. La différence de rendement résulte du nombre et non du poids des fruits. Le rendement en kg/arbre varie (moyenne sur 6 ans) de 154 à 197 pour L1 et de 145 à 182 pour L2.

. L'effet négatif à court terme de la conversion en localisé est nul, les arbres s'adaptant en moins d'un an à une localisation plus grande des apports d'eau (alors que pour les agrumes on a prétendu longtemps le contraire, en Israël du moins).

Fresno P.2 Fertigation d'arachides cultivées en sol sableux et irriguées en g à g avec de l'eau salée (Fertigation of peanuts grown in sandy dunes and irrigated by trickling with saline water) par M. Silberbush, J. Ben Asher, U. Kafkafi et S.H. Lips, Beersheva et Bet Dagan, Israël.

Peut-on réduire les inconvénients de la salinité de l'eau par une meilleure fertilisation ?

- -Il semble que oui, tout au moins dans une certaine gamme de concentrations.
- -L'effet principal de la salinité est une interaction Na-K
- -Sur arachide, il y a un problème spécifique, qui résulte de l'inhibition de la pénétration des gonophores dans le sol en limite du bulbe, ce qui limite le développement des gousses à la fraction centrale du bulbe, sous le goutteur.

Fresno S.4.: voir page 64

Fresno T.4.: voir page 55

Budapest 15. Aspersion et micro-irrigation sur vignoble en sol pierreux (Sprinkler VS trickle irrigation in a vineyard on a Skeletal soil) par Vucic, Novisad, Yougoslavie.

Sol pierreux : 20 à 30 % de terre fine ( $\phi$  2 mm) Climat méditerranéen humide : 1 000 à 3 000 mm/an mais surtout en hiver.

Dans ces conditions l'aspersion a donné de meilleurs résultats.

N.D.T.: La conclusion est évidente, mais il aurait fallu tester aussi les minidiffuseurs qui réalisent une aspersion localisée.

Budapest 47. : voir page 65



# INFLUENCE DES FACTEURS EAU ET SOL

3



A. Qualité de l'eau	88
A1 - Eau salée	88
A2 - Eau sale - les obstructions	96
A3 - Eau sale - la filtration	98
A4 - Eau sale - les traitements	102
B. Qualité du sol	105

## A. QUALITE DE L'EAU

Ce facteur, essentiel en micro-irrigation, est vu sous deux aspects :

- -la salinité de l'eau qui provoque surtout la salinisation des sols et nappes,
- -les impuretés diverses contenues dans l'eau, qui provoquent surtout une obstruction des distributeurs.

#### A.l Eau salée

Ce sujet n'est traité qu'à Fresno (11 rapports).

## **Synthèse**

Dès 1969, les expérimentations faites en Israël par Goldberg et Shmueli ont montré que le g à g permettait, par rapport à l'aspersion ou à la raie, des augmentations de récolte de 30 % ou plus avec des volumes égaux d'eau de bonne qualité (c'est-à-dire contenant moins de 0,5g/l de sel), et, avec des eaux saumâtres, des récoltes encore élevées alors qu'elles étaient réduites à néant avec les deux autres méthodes.

En 1970 et 1971, les chercheurs américains Bernstein et François du laboratoire de recherche sur la salinité, Ministère de l'Agriculture des USA, Riverside, Californie, ont voulu vérifier et préciser les résultats israéliens, d'une façon aussi scientifique que possible. Voici les conclusions de leurs recherches parues en 1973 dans Soil Science (p. 73 à 85) dans un article intitulé "Comparisons of drip, furrow, and sprinkler irrigation" ("Comparaison entre l'irrigation g à g, l'irrigation à la raie et l'irrigation par aspersion") (voir figure 5 p. 89).

<sup>&</sup>quot;En appliquant par les 3 méthodes la même quantité d'eau, si elle est peu salée (soit 0,45 g/l de sels), on obtient en g à g un supplément de récolte d'environ 50 %. Si elle est fortement salée (2,45 g/l de sels), on observe en g à g une réduction de récolte de 14 % seulement, alors que cette réduction atteint 54 et 94 % pour la raie et l'aspersion.

<sup>-</sup>On pouvait cependant reprocher aux résultats précédents, acquis en 1970, un trop grand espacement des arrosages et des doses insuffisantes pour la raie et l'aspersion (7 jours contre 1 jour pour le g à g).

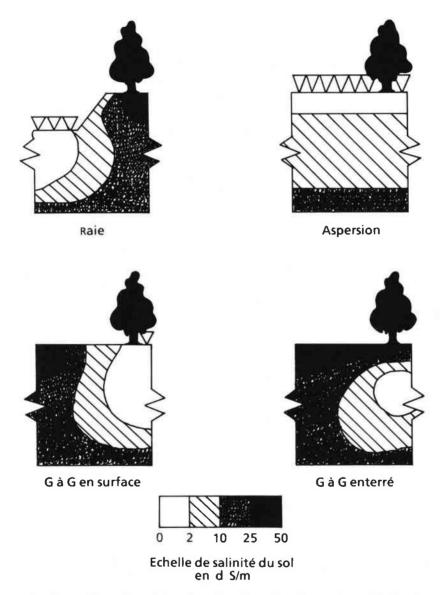


Figure 5 - Répartition du sel dans le sol en fonction du système d'irrigation utilisé (Source : California Agriculture, octobre 1984)

 avec l'aspersion, répartition horizontale uniforme et augmentation de la salinité avec la profondeur

 avec la raie ou le g à g en surface, la salinité est faible sous la zone d'apport d'eau, augmente avec la profondeur et est maximale en surface entre les zones d'apports. Mais en g à g la plante se trouve dans la zone de plus faible salinité, au contraire de la raie

- avec le g à g enterré, la salinité est élevée en surface, même au-dessus de la zone d'apport.

-Aussi en 1971, l'espacement des arrosages fut réduit à 5 jours et les doses augmentées de façon à tenir compte de pertes supérieures. Résultats : les différences de rendement se sont très fortement réduites avec l'eau peu salée, mais, avec l'eau fortement salée, elles sont restées importantes (- 18 % pour la raie, - 59 % pour l'aspersion). Les mauvais résultats obtenus en aspersion avec eau salée sont attribués à l'augmentation brutale de la pression osmotique résultant de l'entrainement en profondeur, lors des arrosages, des sels accumulés par évaporation à la surface du sol entre les arrosages, plutôt qu'à l'absorption d'ions nocifs par les feuilles.

En g à g les sels s'accumulent en surface au milieu des intervalles entre les rampes, et en limite extérieure des bulbes. Cette accumulation n'est nocive que si la pluie entraîne en profondeur les sels accumulés. Une grande partie des radicelles des plantes irriguées en g à g se développe dans la couche de surface (2,5 cm d'épaisseur) sauf si l'accumulation des sels y empêche le développement racinaire.

En 1971, le g à g a demandé environ 1/3 d'eau en moins que l'irrigation à la raie pour arriver au rendement maximal du poivron. Cette économie d'eau est intervenue essentiellement dans les premiers stades de la culture. Mais toutes les précautions avaient été prises pendant l'essai pour réduire les pertes résultant d'une disuniformité des apports, donc augmenter le rendement hydraulique de l'irrigation à la raie ou par aspersion. Dans la pratique, avec des rendements hydrauliques normaux, les économies d'eau auraient été plus importantes. Pour des cultures ayant atteint le stade adulte (100 % de couverture du sol), les besoins en eau sont similaires pour les 3 méthodes et l'économie d'eau résulte essentiellement du faible rendement de la méthode que remplace le g à g".

#### - Piment

- . P.1 et Q.5 (R.F.A.) montrent, en serre, qu'avec l'aspersion le sel s'accumule parallèlement à la surface du sol et que la zone d'accumulation augmente avec les volumes d'eau apportés, alors qu'en g à g, le sel s'accumule circulairement autour des points d'apport, ce qui limite le développement des racines à la zone située sous le goutteur [même observation qu'en plein air à Abu Dabi (voir E.6) sur arbres forestiers].
- . R.2 (Israël) montre, en plein air, que les différences de salinité de l'eau dans le bulbe n'induisent aucune différence de croissance racinaire malgré des répercussions sensibles sur les rendements.
- Tomate de conserve S.10 (Californie) note que l'on peut, en irrigation fréquente, économiser l'eau douce en la remplaçant par de l'eau salée pompée dans la nappe, sans nuire au rendement.
- Coton P.4 (Californie) relate un essai sur coton pour voir si l'eau salée (5 à 11 dS/m) du drainage de la vallée du San Joaquin pouvait être utilisée. Essai concluant, pas de différence significative entre eau douce et eau salée, quels que soient l'écartement des rampes et la fréquence des arrosages.

Le coton parait bien être extrêmement résistant à la salinité.

<sup>-</sup> Pomme de terre - E.5 (Californie). Eau salée (4,5 g/l). Le rendement cultural et l'efficience de l'eau sont nettement améliorés par un mulch plastique qui empêche le sel de remonter en surface. V.11 (Israël) a montré que la pomme de terre était plus sensible au sel dans la lère moitié de son cycle végétatif.

- Arbres fruitiers M.4 (Espagne) sur avocatier et S.9 (Italie) sur oranger montrent qu'en irrigation fréquente, on peut utiliser de l'eau salée, à condition d'augmenter les doses pour provoquer un lessivage continu.
- Espaces verts E.6 (Abu Dabi) et L.5 (Australie) montrent qu'à condition de choisir des essences résistantes au sel, on peut faire pousser des arbres en g à g avec de l'eau très salée. Un mulch (copeaux de bois ou simplement galets) permet de réduire l'évaporation du sol, la croissance des mauvaises herbes et la remontée du sel. Rappelons aussi qu'en Israël on a pu faire pousser des arbustes halophytes en les irriguant (très fréquemment) avec de l'eau de mer (à Eilat la salinité de la Mer Rouge est supérieure à 40 g/l).
- U.5 (Israël) relate un essai de 1983 destiné à étudier, entre autres facteurs, la salinité de l'eau (1-2-3-5 ou 10 d S/m). Mais aucun résultat ne figure dans le court résumé fourni et ma demande de complément est restée sans réponse.

## Analyse des communications présentées

Fresno E.5 G à g et production agricole en zone aride (Drip irrigation and crop production in arid regions) par Farouk A. Hassan. Fresno- Californie. E.U.

L'auteur signale un développement constant du g à g en zone aride pour mieux valoriser les rares ressources en eau, augmenter l'efficience de l'eau et des engrais, et pouvoir utiliser des eaux salées.

Il relate une expérimentation au Koweit, en saison froide, comparant à la raie divers procédés g à g, sur deux sols sableux de texture uniforme jusqu'à 2 m de profondeur. Mulch plastique noir sur la moitié de chaque parcelle élémentaire. Pilotage par tensiomètres et contrôle des températures dans le sol.

#### 2 cultures:

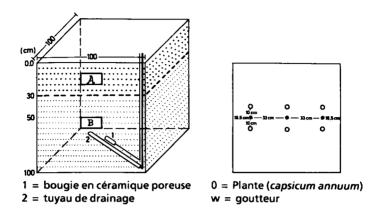
- Pomme de terre: 0,6 x 0,3 m. Eau très salée (4,5 g/l de sels totaux). 3 répétitions de 3 procédés (en plus de la raie): goutteurs en ligne montés sur tubes conducteurs, gaines simples perforées, gaines plates cousues. Plage des tensions de pilotage: 6 à 9 cm de mercure soit 8,2 à 12,2 cb.
- Courge: 1,2 x 0,75 m. Eau "douce" (0,75 g/l de sels totaux). 3 répétitions de 2 procédés (en plus de la raie): capillaire, gaine viaflo. Parcelles en sol nu ou mulché (mulch plastique noir sur toute la surface des parcelles mulchées). Plage de pilotage des tensions: 7,5 à 11 cm de mercure soit 10,2 à 15 cb.

#### Résultats:

Nette efficacité, sur le rendement/ha, du mulch et du mode d'irrigation pour la pomme de terre. Par contre aucun effet pour la courge (l'augmentation de température en période chaude a du annuler l'effet favorable sur la conservation de l'humidité).

Pour la pomme de terre, la raie provoque une sur-irrigation, la gaine cousue une sous-irrigation, les 2 autres procédés une humidité optimale du sol.

Pour la même dose d'irrigation, le mulch donne 30 à 60 % de rendement en plus (ce que l'on peut expliquer par son effet favorable sur la température, l'humidité et la teneur en sel du sol).



Dispositif expérimental

# I. Aspersion

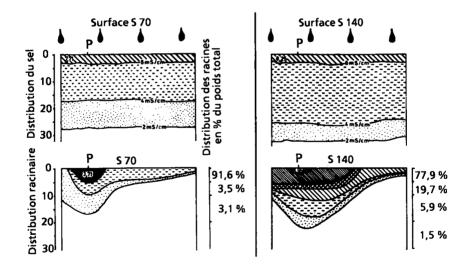
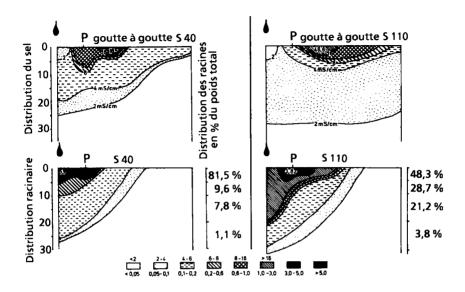


Figure 6 - Répartition dans le sol du sel (en milli Siemens) et des racines (en % du poids total) et matière sèche totale dans le cas d'apports d'eau généralisés (aspersion sur toute la surface) ou localisés (6 goutteurs/m2) et de diverses valeurs de rationnement par rapport à Ebac, sur culture de piment source : FRESNO Q.5

## II. Goutte à goutte



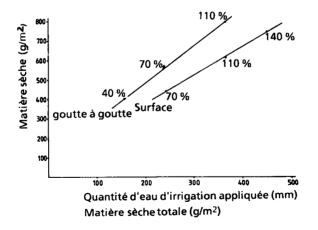


Figure 6 - Répartition dans le sol du sel (en milli Siemens) et des racines (en % du poids total) et matière sèche totale dans le cas d'apports d'eau généralisés (aspersion sur toute la surface) ou localisés (6 goutteurs/m2) et de diverses valeurs de rationnement par rapport à Ebac, sur culture de piment . (suite)

. L'efficience (kg/m³ d'eau) est supérieure pour les 2 cultures avec le mulch (20 à 56 % de plus suivant la culture et le mode d'irrigation).

On a donc les classements suivants, pour le rendement par hectare :

```
    P. de terre
    avec mulch: goutteurs > gaines perforée > raie > gaine cousue
    avec mulch: goutteurs > raie > gaine cousue > gaine perforée
    sans mulch: goutteurs > gaine viaflo et raie
    avec mulch: gaine viaflo et goutteurs > raie
```

L'efficience (kg/m³ d'eau) est, en zone aride, le meilleur critère de classement des techniques d'irrigation.

Fresno E.6 Le g à g dans les Emirats Arabes Unis (Drip irrigation in the United Arab Emirates) par Omar Baqi, de James Hardie - Amman - Jordanie.

L'auteur relate la création d'une forêt irriguée pour fixer les dunes de sable autour de la route Abu Dhabi- El Ain, soit 160 km.

En 1968, la Sogreah (à Grenoble) dresse le projet d'ensemble : 650 ha de plantations forestières  $5 \times 5$  m avec irrigation par des goutteurs australiens Iplex en ligne (type Netafim mais démontables) sur 125 m de part et d'autre de la route.

Il y a maintenant dans l'émirat d'Abu Dhabi en irrigation g à g 45 000 ha de forêts, 1 000 ha de palmiers dattiers et beaucoup de cultures maraîchères (serres ou plein air). Pour les forêts, la distance de plantation est passée à 7 x 7 m. L'eau utilisée a une teneur en sel importante mais variant de 1,7 à 17 g/l (moitié de la teneur en sel de l'eau de mer) près de la côte. La hauteur des arbres est inversement proportionnelle à la teneur en sel : 10 m (max.) à 8 ans pour des Eucalyptus irrigués avec de l'eau à 2 g/l, 2,5 m (max.) à 7 ans pour des filaos (Casuarina) irrigués à 12 g/l, 1,5 à 2 m pour des tamaris irrigués à 17 g/l. Les arrosages se font tous les 3 jours (300 l/arbre semaine les 4 premières années, puis 450 l).

Le sel s'est déposé autour des goutteurs ce qui ne les a pas empêchés de fonctionner depuis 1969. Aussi la forêt a-t-elle pu se constituer, stabiliser les dunes et permettre, aux espèces végétales indigènes de se réinstaller grâce notamment aux oiseaux, et à l'homme de reconstituer la faune (gazelle, onyx). Enfin cette utilisation a encouragé la plantation de palmiers et de légumes, sous serre ou en plein air.

Grâce au g à g, la région désertique a pu se transformer et retrouver la vie.

Fresno L.5.: voir page 70

Fresno M.4 Croissance de l'avocatier irrigué avec de l'eau salée à Murcie (Avacado growing and use of saline water in Murcia) par D. Leoncio Beloqui et D. José Fernandez, IRYDA, Murcie, Espagne.

Dans le S.E. de l'Espagne (Murcie, Alicante, Almeria) on peut irriguer plus de 150 000 ha de bons sols grâce à des pompages dans la nappe ainsi qu'à un canal de 33 m³/s, long de 283 km, qui relie les rivières Tage et Segura. On peut y faire des cultures subtropicales, comme l'avocatier, pour exporter dans le Marché Commun, mais l'eau est salée et peu abondante, ce qui oblige à utiliser l'irrigation localisée et à effectuer un lessivage pour repousser le sel le plus loin possible des racines.

Le climat est très sec (200 mm/an en moyenne) sur 80 % de l'année, les sols sont des limons alcalins, riches en calcaire actif (ce qui bloque les ions Fe et Zn), pauvres en humus et azote.

Des essais d'irrigation par gaine perforée ont été entrepris en 1977 avec un réseau de drainage à ciel ouvert. Les arbres commencent à fructifier mais 5 années sont encore nécessaires pour juger des rendements.

Il est donc possible de cultiver l'avocatier, même avec des eaux légèrement salées et sodiques et sur des sols limoneux calcaires, à condition d'augmenter les doses pour éviter une défoliation prématurée et obtenir un microclimat favorable à la nouaison. Il faut utiliser des arrosages localisés suffisamment fiables (risques de cristallisation des sels). Enfin il ne faut pas adopter de pressions trop basses qui favoriseraient le colmatage des rampes. Certains porte-greffes et certaines variétés sont recommandés.

Fresno	P.I.: voir page	72
Fresno	P.4.: voir page	62
Fresno	Q.5. : voir page	62
Fresno	R.2.: voir page	82
Fresno	<b>S.9.</b> : voir page	72
Fresno	S.10.: voir page	41
Fresno	U.5. : voir page	45

Fresno V.11 Utilisation en g à g d'eaux de différentes qualités (Managing multisource water of different qualities under drip irrigation) par A. Meiri, J. Shalhevet et B. Sagiv, Institut Volcani, Bet Dagan, Israël.

Même observation que pour P.5. Le résumé, très court, indique qu'il s'agissait de tester la sensibilité au sel de la pomme de terre soumise à 4 traitements :

- 1. Mélange des eaux dans le réseau d'amenée
- 2. Changement de qualité à chaque arrosage
- 3. Utilisation d'eau salée dans la lère moitié de la campagne
- 4. Utilisation d'eau salée dans la 2ème moitié de la campagne.

Dans chaque traitement on a testé plusieurs niveaux de salinité. Pour un niveau déterminé de salinité moyenne, les résultats sur le rendement sont les mêmes, sauf pour le traitement 3 qui a été plus fortement pénalisé.

#### Eau sale

12 rapports traitent de ce sujet essentiel. 8 ont été présentés à Fresno, 4 à Budapest.

Les uns parlent plutôt des problèmes que posent les obstructions, d'autres insistent sur les remèdes : la filtration dans tous les cas, et parfois des traitements chimiques, qui s'avèrent indispensables, du moins si l'on désire atteindre pour le réseau une durée de vie raisonnable.

## A.2. : Eau sale - Les obstructions

## Synthèse

- V.12 (Inde), de même que 35 (Tchécoslovaquie), rappelle que les obstructions constituent toujours, dans certains pays, le problème majeur du g à g et que les ajutages sont plus résistants que les goutteurs. Ces obstructions sont en majorité le fruit de micro-organismes ou de précipitations chimiques dues à des variations de pression, de température et de pH de l'eau.- Pour B.2 (Hawaī), sur canne à sucre, les gaines perforées (orifices # 0,5 mm) sont sensibles aux obstructions et de nombreuses précautions sont prises pour limiter à 5 % le nombre des orifices bouchés à partir duquel le rendement commence à baisser de façon appréciable. Mais c'est la Floride (rapport 6 de Budapest) qui est l'Etat des E.U. le plus gâté à cet égard, qu'il s'agisse d'eau de surface ou de nappe, avec des interférences entre les obstructions d'origine bactérienne, chimique et physique, les filaments collants des bactéries ferrugineuses qui oxydent le fer ferreux soluble en fer ferrique insoluble, captant aisément toutes les particules solides du milieu, ce qui provoque rapidement l'obstruction des goutteurs et même des rampes, par "l'ocre", matière rougeâtre bien connue en drainage dans certains sols..

# Analyse des communications présentées

## Fresno B.2: voir page 31

Fresno V.12 Etude de l'obstruction dans les réseaux g à g (Study on clogging of emitters in drip systems) par O. Padmakuri et R.K. Sivanappan, Water Technology Centre. Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, Inde.

L'obstruction reste le problème majeur en irrigation g à g, qu'elle soit physique, chimique ou biologique. Les variations de température et de pH, qui déplacent les équilibres chimiques, constituent un facteur essentiel de l'obstruction par des dépôts chimiques. Il en résulte une réduction de l'uniformité de la répartition de l'eau à la parcelle. D'où l'étude entreprise en Inde (Etat de Tamil-Nadu) sur des cas concrets.

Dans 4 parcelles en service depuis 3 ans, avec 3 cultures (coton, banane, tomate) et 3 types de goutteurs (capillaire Q 1 mm 4 l/h, goutteur orifice 1 mm avec tissu filtrant 5 l/h, ajutage 10 l/h), les auteurs ont suivi 10 emplacements proches du début des rampes et 10 proches de leur extrémité. Les contrôles ont eu lieu tous les 15 jours sur des

goutteurs choisis au hasard sur ces 20 parcelles avec mesure de la pression, de la température et du pH. Les essais de désosbtruction ont été réalisés avec 3 produits (CIONa, SO4 Cu et CIH) et 2 concentrations (0,5 et 2 % en volume).

#### Ils ont observé:

- -Les obstructions sont dues en majeure partie aux micro-organismes, dans certains cas à des précipités chimiques (variations de température et de pH).
- En moyenne 20 à 25 % d'obstruction dans les ajutages, 34 % dans les capillaires, 40 % dans les goutteurs-orifices, avec des CU Christiansen respectifs de 78 à 80 %, 70 et 62 %.
- -L'injection d'engrais à base d'ammoniaque augmente le pH et provoque la précipitation de carbonates de Ca et Mg, mais l'injection d'urée semble également accroître l'obstruction des goutteurs par les carbonates.

Le rinçage du réseau à l'acide est d'autant plus efficace pour augmenter le débit des goutteurs que l'on utilise de l'acide plus concentré, et à plus grande pression. Cependant des 3 produits chimiques essayés, l'eau de javel (CIO Na) est sensiblement plus efficace que ClH, et surtout que SO4 Cu (augmentations respectives de débit par goutteurs 1,1 l/h (sur 2,6 l/h au début du traitement) contre 0,8 et 0,3 l/h.

Les mesures préventives (filtration, purge des rampes, rinçage après fertigation) sont préférables aux mesures curatives (injection de produits chimiques). L'évaluation fréquente de l'uniformité des débits aide à prendre à temps les mesures de maintenance utiles à la pérennité des débits. Cependant un traitement de choc avec CIO Na à 500 ppm permet d'améliorer le débit des goutteurs partiellement obstrués (son effet sur la culture reste à tester pour chaque espèce).

Budapest 6 Problèmes de qualité de l'eau utilisée en Floride pour la micro-irrigation (Water quality problems for micro-irrigation in Florida) par Haman D et al (Floride), E.U.

En Floride l'eau contient souvent Fe ou S et, en plus d'une filtration physique, doit subir des traitements chimiques, destinés à éliminer ces éléments ou à détruire les bactéries qui les oxydent et provoquent des gels bactériens.

Le phénomène d'obstruction s'accélère dès qu'il apparaît et il est difficile de savoir à l'avance le risque que l'on prend en utilisant une eau de qualité donnée. Si le pH est inférieur à 7,5 et si l'eau ne contient pas de SH², on peut craindre des incrustations de carbonates.

#### Origine de l'eau :

- eau de surface : souvent utilisée en raison du coût élevé de l'eau souterraine (nappe profonde). Les cellules d'algues et les résidus organiques passent à travers les filtres à sable et s'aggrègent dans le réseau goutte à goutte (rampes et distributeurs) en résidus qui peuvent fixer le fer et servir de support au développement des bactéries ferrugineuses, ceci même si l'eau ne contient que 0,1 ppm de fer. Donc risques d'obstruction physique et biologique.
- eau de nappe : elle a une teneur élevée en fer, Fe, SFe et Mn et parfois des particules minérales. Donc risques d'obstruction complexe d'ordre physique, chimique, et biologique.

#### Remèdes

- obstruction physique : filtres de toutes natures + purges fréquentes du réseau
- obstruction chimique : provoquée souvent par l'injection d'engrais et un pH trop élevé d'où injection d'acide
- obstruction biologique : (algues, actinomycètes, champignons, bactéries)
- -le SH2 des nappes profondes peut protéger des précipitations de Ca et des proliférations de bactéries ferrugineuses, à condition qu'il n'y ait pas d'entrée d'air. Alors une injection d'eau de javel en fin d'arrosage est suffisante.
- -Fe entraîne les difficultés les plus graves : la bactérie ferrugineuse peut s'accrocher aux parois en PE et produit de l'ocre et des gels filamenteux, avec des teneurs en fer de 0,3 à 0,5 ppm seulement. L'eau de javel est utilisée pour oxyder le fer ferreux et une filtration sur sable retient 66 à 87 % du fer ferrique précipité.

S'abstenir d'utiliser une eau contenant plus de 3,5 ppm de fer (pH  $\langle$  6,5) ou seulement 1,5 ppm (pH  $\rangle$  6,5). La solution la meilleure est une chloration continue ou une superchloration en fin d'arrosage, avec acidification pour abaisser le pH.

Conclusion : une analyse d'eau est nécessaire pour tenter de déceler les mesures préventives à prendre.

Budapest 35 Fiabilité de fonctionnement du g à g. Méthodes d'amélioration (Operational reliability of drip irrigation and methods for its improvement) par Huska et al, Université Agricole de Nitra, Tchécoslovaquie.

L'auteur parle des dangers d'obstruction et des mesures préventives à adopter.

#### A.3: Eau sale - La filtration

#### Synthèse

- D'après la Sté Claude Laval (rapport C.4), firme américaine d'origine française, filtration et traitement sont souvent complémentaires, la filtration étant indispensable dans tous les cas. On distingue les eaux selon leur origine : surface-nappe-recyclage. Le tableau 4 (voir p.101) décrit les divers filtres et donne des conseils pour leur utilisation dans tel ou tel cas, filtres à tamis, à disques, à sable, séparateurs de sable, décanteurs.
  - . Ne pas filtrer plus fin que nécessaire sinon on augmente les dépenses d'investissement et d'entretien (augmentation du nombre des nettoyages et du risque de colmatage du filtre).
  - . Le séparateur de sable sur aspiration des groupes immergés est une excellente solution qui réduit l'usure des turbines des pompes par le sable.
- Budapest 18 (Belgique) de la Société Lakos est l'homologue du rapport C.4. Il donne en particulier l'équivalence entre la finesse de filtration recherchée et le diamètre des particules de sable (seuls les 10 cm de surface sont réellement utiles et la

granulométrie de l'ensemble du média doit être uniforme). Le rapport reproduit un tableau de recommandations pour les filtres à tamis (complété par les mesures métriques) et un "guide de la filtration", qui est comparable au tableau correspondant de la Société Claude Laval (tableau XV p. 101).

- N.1 (Hawaĩ) donne à titre d'exemple les opérations de filtration réalisées sur des eaux de surface stockées en bassin, afin d'alimenter des rampes Biwall (tamis vertical grossier, tamis horizontal 100  $\mu$ , filtre à sable) pour l'irrigation d'une importante Compagnie Sucrière).

## Conseils pratiques:

- . ne jamais oublier de purger une rampe qui vient d'être réparée
- . faire des purges manuelles, plus efficaces que les purges automatiques.
- Enfin V.10 (Californie) propose la réalisation, pour chaque réseau, d'un programme systématique de mise en route, d'exploitation et de maintenance, avec indication écrite de chaque opération dès qu'elle est réalisée.

## Analyse des communications présentées

Fresno C.4 Théorie et pratique (Filtration analysis and application) par Douglas A. Bruce, vice président de Claude Laval Corporation. Lakos filtration systems division, Fresno, Californie E.U.

L'auteur expose que filtration et traitement chimique sont souvent complémentaires, la filtration seule ne suffisant pas. Il distingue 3 types d'eau:

- . l'eau de surface, souvent très contaminée et de façon variable.
- . l'eau de nappe, beaucoup moins polluée (sable, Fe, SH2...) et plus stable au cours de l'année
- · l'eau de recyclage (eau usée, de refroidissement, de colature, etc...), utilisée de plus en plus et posant chaque fois un problème particulier.

Il n'y a pas de "normes" de contamination. Pour les solides, les faibles teneurs vont de 6 à 50 ppm, les fortes teneurs de 50 à plus de 100 ppm. Même les faibles teneurs correspondent pour un débit continu à des poids élevés (34 kg en 100 h pour 68 m³/h à 5 ppm).

Il passe ensuite en revue les divers filtres :

- Filtres à cartouches ou à tamis (membrane poreuse rigide). Faibles débits d'où montage en parallèle. Pour le nettoyage il faut démonter. La plupart ont une surface de membrane supérieure à 4 fois la surface d'entrée. Utilisables pour de faibles débits (11,4 m³/h) et de faibles concentrations en solides (5 ppm), ou comme "assurance" en cas d'eau en principe propre.

Erreur : dans le tableau 2 relatif aux vides de maille en fonction du diamètre de l'orifice de passage, l'ordre des chiffres de la lère colonne est à inverser.

Il n'est pas recommandé de choisir un filtre trop fin en raison de l'augmentation des nettoyages et du risque de colmatage du filtre.

## - Filtres à tamis ou à disques empilés

Même principe de fonctionnement, mais vitesses de passage beaucoup plus élevées. On peut les nettoyer automatiquement par contre-courant, mais un démontage est cependant recommandé.

Utilisable également pour de faibles débits et des eaux peu chargées, comme "assurance" pour des eaux en principe propres, enfin après des séparateurs cyclones ou des filtres à sable.

## - Séparateurs et filtres à succion

Utilisés pour les eaux de surface ou de nappe avec des taux modérés de matière organique. Les séparateurs centrifuges fonctionnent jusqu'à des finesses de particules de 74  $\mu$  (200 mesh) pour des eaux de surface ou de nappe. Ils éliminent en particulier le sable de l'eau des forages , ce qui multiplie par 3 ou 4 la durée de vie des pompes immergées (s'ils sont placés sur l'aspiration).

Certains filtres fonctionnent à l'air libre et le nettoyage du tamis est assuré par des jets alimentés par un piquage sur le refoulement de la pompe.

## - Séparateurs-cyclones

Utilisables seulement pour des particules de densité > 1,5. Ils sont modulaires et leur perte de charge va de 3,5 à 7 m.C.E. Ils doivent fonctionner dans une plage de débit définie.

#### - Filtres à sable

C'est la solution universelle quels que soit le débit et la charge en particules solides. Leur perte de charge est faible s'ils sont propres (1 à 1,4 m) et on doit les nettoyer quand elle atteint 4,1 m. La plupart ont un système de nettoyage automatique par contre-courant. Risque d'encrassement progressif du média nécessitant son remplacement prématuré. Ils sont installés de façon modulaire. Difficultés pour laver correctement tout le média, sans l'entraîner à la décharge. Le débit d'entrée ne doit pas dépasser 20 à 25 gpm/square foot de la surface de média (soit 48 à 60 m³/h par m²). Le média doit avoir une granulométrie assez uniforme car ce sont les 10 % les plus fins qui restent en surface et constituent la partie filtrante efficace.

- Décanteurs : anciennement utilisés, encore en usage lorsque les eaux sont riches en argile colloîdale.

Le tableau 4 constitue un guide pour le choix des divers systèmes de filtration recommandés en fonction du débit et de la concentration en matériaux, organiques ou minéraux (voir page 101).

Fresno N.1: voir page 38

Fresno V.10 Mise en route, exploitation et maintenance des filtres en micro-irrigation (The start-up, operation and maintenance of filtration systems for micro-irrigation) par Michaël A. Pierce et Van E. Mancuso, de la firme Yardney Corporation, Riverside, Californie, E.U.

Les auteurs estiment indispensable d'assurer un programme d'exploitation correct des systèmes de filtration. Si un seul point du programme est mal (ou pas) fait, il peut y avoir des pannes, soit de la filtration, soit du réseau entier, et bien sûr, elles arrivent

Débit	Concentrations en particules		- Matériels	Code
Debit	Miné- rales	Orga- niques	wateriels	Code
(11,4 m <sup>3</sup> /h (50 gpm)	L L M M	L H 	A C+A ou B C+A ou B D+A C+D+A ou B C+D+A ou B	a) Concentration  L moins de 5 ppm M de 5 à 50 ppm H plus de 50 ppm  b) Matériels  A = filtre à tamis (ou à cartouche filtrante) B = filtre à disques C = filtre à tamis à nettoyage par aspiration
	H H H	L M H	D ou D+A C+D+A ou B C+D+B	
de 11,4 à 45,4 m³/h	L L	M H	B C+B	
	M M M	L' M H	D ou B ou <u>D + B</u> C + D ou F ou <u>D + F</u> C + F ou <u>C + D + F</u>	D = séparateur centrifuge E = filtre à tamis à l'air libre F = filtre à sable sous pression
	н н н	L M H	D+B ou F ou <u>D+F</u> C+D+F ou C+F ou <u>D+E</u> <u>C+D+F</u>	Les options soulignées indiquent que la pompe est
) 45,4 m³/h (200 gpm)	L L L	L M H	B C+Fou <u>E seul</u> C+Fou E <u>seul</u>	protégée de l'usure par abrasion
	M M M	L M H	D + B ou D + F ou E <u>seul</u> C + F ou C + D + F ou E <u>seul</u> C + B ou C + D + F ou <u>D + E</u>	
	H H H	L M H	D+B ou D+F C+D+F ou C+F ou <u>D+E</u> C+D+E	

quand on est en période de pointe d'irrigation. Surtout ne pas dépasser les maxima de pression et de débit indiqués par le constructeur et suivre ses recommandations pour la fréquence et la durée du nettoyage si celui-ci est commandé automatiquement.

Ils examinent les divers problèmes que l'on peut rencontrer dans la mise en route, l'exploitation et la maintenance des filtres à tamis et des filtres à sable. Les opérations de maintenance sont indiquées dans un tableau général avec la fréquence recommandée: après chaque opération, le responsable doit signer pour attester qu'il l'a bien exécutée à telle date.

Des recommandations sont également faites en ce qui concerne les revêtements anticorrosion (époxy), les lubrifiants (pour l'entretien des joints toriques en caoutchouc, utiliser des silicones de forte viscosité), les oxydants (eau de javel pour les filtres à sable par exemple).

Budapest 18 La filtration en micro-irrigation (Filtration for micro-irrigation) par Boivin Société Lakos, Belgique.

A comparer avec articles analogues du congrès de Fresno.

#### A.4: Eau sale - Les traitements

## Synthèse

On utilise, à titre curatif ou préventif :

- . un acide pour le Ca et le Fe
- . un oxydant pour les gels bactériens et les algues

Evidemment mieux vaut prévenir que guérir, mais il faut parfois guérir un réseau mal entretenu.

- A Hawaï divers traitements sont réalisés sur les eaux de surface stockées dans des réservoirs à l'air libre : après filtration, injection de chlore gazeux pour obtenir 10 ppm de chlore libre en bout de rampe pendant 1/2 heure au moins.

En cas d'obstructions par des micro-organismes, on préconise une superchloration à 100 ppm/l suivie de purges manuelles.

- En Floride, il faut prendre beaucoup de précautions pour les eaux de surface ou de nappe. On utilise l'eau de Javel (ClONa) pour oxyder le fer ferreux en fer ferrique insoluble dont les particules sont filtrées sur sable.

Il est déconseillé d'utiliser une eau à plus de 3,5 ppm de fer si pH 4 6,5 et à plus de 1,5 ppm seulement si pH 6,5.

On a le choix entre une chloration continue ou une super chloration en fin d'arrosage (avec acidification pour abaisser le pH).

- En Union Soviétique, on prône l'irrigation souterraine, procédé idéal pour recycler les eaux d'égoûts. Les rampes sont posées à la sous soleuse avec, si nécessaire, un film de PE horizontal placé en dessous. Les eaux d'égoûts sont utilisées après traitement. Peu

de détails techniques intéressants. C'est en fait un traitement par le sol de l'eau d'irrigation, réalisé également en Hongrie et essayé en Pologne.

- Enfin un chercheur américain du Michigan propose une oxydation du fer des nappes directement dans le puits ou le forage, grâce à un distributeur automatique de pastilles d'hypochlorite de calcium, qui est asservi au fonctionnement des pompes. Ce procédé m'a paru très intéressant en raison de sa logique (traitement de l'eau "à la source"), de sa simplicité (automaticité) et de son innocuité par rapport à l'utilisation d'eau de Javel en bonbonnes ou de chlore gazeux.

## Analyse des communications présentées

Fresno C.1 Nettoyage des réseaux g à g (Cleaning drip irrigation systems) par J.L. Meyer, spécialiste en pédologie et mise en valeur, Université de Californie, Riverside E.U.

L'auteur donne des indications très pratiques pour traiter l'eau dans les 2 cas classiques suivants :

- -Pour Ca (carbonates et phosphates) et Fe (ocre) il faut traiter par un acide (ClH ou S04 H2).
- -Pour les gels bactériens et les algues, il faut traiter par un oxydant (eau de javel par exemple).
- 1. Acide: Traitement curatif. On utilise de l'eau acidifiée jusqu'à pH 2 et on l'injecte dans le réseau après les filtres, en suivant un protocole très précis. On fait agir l'acide l heure, on rince le réseau, puis on recommence jusqu'à ce que l'eau de rinçage soit claire.
- 2. Oxydant: Chlore gazeux. (dangereux, mais moins cher, pour les grands réseaux), ou eau de javel (Cl ONa liquide) plus facile d'emploi dans les petits réseaux, ou encore Cl2O2 Ca solide. On traite de façon intermittente, sauf lorsqu'un traitement continu est indispensable. Il faut injecter avant les filtres, dès le début d'un arrosage, doser le chlore libre à la sortie des goutteurs avec un kit de terrain, et le cas échéant, corriger la dose (vérifier que le traitement arrive au goutteur le plus éloigné). Dose conseillée de chlore
  - . à titre préventif, 1 à 2 mg/l en continu
  - . à titre curatif, 20 à 30 mg/l pendant 30 à 60 minutes

Commencer par des traitements fréquents, puis espacer si c'est possible en fonction des résultats.

. pour dissoudre la matière organique qui réduit le débit des goutteurs, utiliser une superchloration à 500 mg/l et laisser mijoter 24 h en fermant le réseau.

#### Attention: (pour les réseaux collectifs surtout)

- l'eau traitée est impropre à la consommation humaine ou animale
- danger pour les autres utilisateurs, par retour dans le réseau collectif de l'eau traitée, d'où la nécessité d'un clapet anti-retour.
- pour l'addition d'acide, toujours mettre l'acide dans l'eau et non l'inverse.

Conclusion: Le traitement chimique permet d'utiliser des eaux considérées jusqu'ici comme inutilisables, et de conserver le débit des goutteurs. Mais il nécessite beaucoup de soin et d'assiduité.

Fresno C.3 Filtration et traitement de l'eau en micro-irrigation (Filtration and water treatment for micro- irrigation) par Stephen D. English, Sté James Hardie, Torrensville, Australie.

L'auteur qui se réfère au manuel .J. Hardie de I. Boswell (Micro-irrigation design manual 1984), examine les divers cas d'obstruction, et les traitements conseillés :

- décantation pour les eaux très chargées en fines particules
- -chloration pour empêcher la formation de gels bactériens (1 à 2 mg/l de Cl² résiduel en traitement continu ou 10 à 20 mg/l pendant 30 à 60 minutes de façon intermittente, et 500 mg/l en cas d'obstruction).
- -addition de S04 Cu dans les réservoirs à l'air libre où les algues se développent de façon intensive (eutrophisation de l'eau) : apports réguliers pour avoir en permanence 0,05 à 2 mg/l de SO4 Cu. Mais les algues se développent aussi dans les parties aériennes translucides du réseau (raccords par exemple). Dans ce cas il faut peindre les pièces avec une peinture bleue épaisse ou traiter à 10-20 mg/l de Cl² pendant 30 à 60 minutes.
- -si l'eau contient du Fe à l'état ferreux, une aération suivie de décantation ou une chloration préalable fait précipiter le fer. On peut aussi injecter de l'acide à titre préventif ou curatif.
- -chloration en cas de sulfure, acidification en cas d'eau entartrante.

L'auteur discute des cas où l'injection d'acide ou de chlore doit être continue ou discontinue.

Il conclut en signalant que depuis le début du g à g les agriculteurs ont tendance à sous équiper leurs installations en filtration mais que, quand toutes les précautions sont prises (analyses de l'eau, filtration correcte et traitement chimique s'il y a lieu), il ne doit plus y avoir de difficultés majeures d'obstruction des goutteurs.

Fresno N.1.: voir page 38

Fresno V.9 Elimination du fer des puits utilisés en g à g (Iron removal from drip irrigation wells) par S.J. Gamble. Great Lakes Irrigation LtD, Hart, Michigan, E.U.

Certains horticulteurs du Michigan, pompant dans des nappes profondes, ont constaté des dépôts bactériens d' "ocre". Les bactéries réductrices du fer existent dans tous les sols (surtout inondés) et réduisent le fer ferrique, insoluble, en fer ferreux soluble dans l'eau de la nappe. Si cette eau vient en contact avec l'air, l'oxydation provoque le phénomène inverse, d'où des dépôts d'hydroxyde ferrique ou "ocre", qui, s'ils résultent de phénomènes purement chimiques, ne collent pas aux parois comme les gels bactériens produits par certaines bactéries (Gallionella, Sphaerotilus, Leptothrix, Crenothrix), en même temps que des odeurs nauséabondes provenant des matières organiques de l'eau.

L'auteur propose donc une oxydation chimique dans les forages eux-mêmes sous forme de comprimés de (ClO)2 Ca que l'on injecte automatiquement dans le forage à l'aide d'un appareil doseur électrique fixé à la paroi du forage, qui ne fonctionne que lorsqu'il y a pompage.

L'oxyde de fer résultant de l'oxydation chimique n'est pas collant et peut aisément être arrêté par le système de filtration.

#### **Avantages**

- Pas de solution d'eau de javel à préparer à l'avance (elles "vieillissent")
- Sécurité totale du personnel
- Forage, pompe et réseau sont protégés.
- Installation simple, facile d'exploitation (automatique)
- L'eau de javel est produite avec une précision, dans le dosage, de + 0,25 %

Budapest 6.: voir page 97

#### B. QUALITE DU SOL

## Synthèse

- Le rapport américain D.3 traite de façon très concrète des relations sol-eau en g à g sur vergers. Il estime que les arboriculteurs ne se préoccupent pas suffisamment de ce qui se passe dans le sol, une fois que l'eau y a pénétré, et que le devenir de l'eau varie en fonction de sa texture, sa structure, sa profondeur, sa perméabilité, sa pente, etc...

Les arbres fruitiers sont aussi sensibles aux excès qu'aux manques d'eau, dans leur phase d'établissement surtout (nous avons vu que, si l'irrigation est pratiquée dès la plantation, le mode d'application de l'eau exerce une grande influence en toutes régions, même humides, sur le développement du système racinaire).

L'auteur décrit très bien l'accident classique qui se passe en Oklahoma dans des sols lourds sur jeunes sujets arrosés dès la lère année au g à g. Du fait de l'allègement de la structure dans le trou de plantation effectué avec une tarière sur tracteur (qui lisse les surfaces), la diffusion de l'eau ne se fait pas de la même façon dans le sol remué du trou de plantation et le sol environnant. La lère année le goutteur doit débiter dans le trou de plantation, sous peine de voir l'arbre se dessécher. Par contre, la 2ème année le goutteur doit débiter hors du trou, sinon, l'arbre risque de périr de soif dans un sol complètement saturé, c'est-à-dire les pieds dans l'eau (wet feet), si les doses appliquées sont trop fortes. C'est l'asphyxie. Or l'arboriculteur peut faire le raisonnement suivant : "La lère année la pousse a été faible parce que les arbres n'ont pas eu assez d'eau. Je vais donc rapprocher les goutteurs et augmenter les doses". Malheureusement, il ne fait que tomber de Charybde en Scylla et, croyant corriger une première erreur, en fait une seconde qui est fatale s'il ne pense pas à réduire les doses.

Il estime aussi que les arrosages quotidiens sont néfastes, dans ces sols argileux qui mettent un certain temps à se ressuyer. Cette observation a été faite en France depuis 1970 dans le S.O. où, dans les sols limoneux de "molasse", les praticiens préféraient irriguer 24 heures tous les 3 jours que 8 h tous les jours.

Toujours dans ces mêmes sols, il estime que le g à g souterrain présente des dangers d'hydromorphie par rapport à un g à g de surface, et recommande, si l'on désire protéger la rampe en l'enterrant, de conserver les points de gouttage en surface (utilisation de tubes conducteurs ou simplement de capillaires).

Je suis encore d'accord avec lui quand il estime préférable de se servir le moins possible des goutteurs autorégulants, dont la durabilité est insuffisante et la section de passage trop réduite, ce qui favorise les obstructions ou oblige à une filtration onéreuse (en investissement et en maintenance).

C'est l'un des rapports qui m'ont le plus intéressé, car il a été fait par un agronome qui connaît bien les problèmes pratiques que l'on rencontre sur le terrain.

- Le rapport américain 1.4 attire l'attention sur le danger que peut présenter, sur des sols à faible capacité de rétention ou fortement lessivés, l'utilisation d'une eau trop pure, c'est-à-dire trop peu chargée en ions. C'est là un risque absolument opposé au risque plus classique de salinité de l'eau, qui entraîne la salinisation du sol, donc un excès d'ions (Cl- et Na+).

Dans ce cas, c'est la disparition de l'ion Ca, dont l'effet favorable sur la floculation des argiles est bien connu, qui provoque une dispersion des colloïdes du sol et une imperméabilité en surface, avec acidification du sol, augmentation du flaquage et développement d'algues vertes. Dans ce cas, le réflexe classique de l'agriculteur est d'ajouter à l'eau du sulfate de cuivre, mais, comme le sol s'acidifie, le cuivre devient soluble, et peut provoquer des accidents de toxicité.

- Le rapport israélien R.6 montre que les conditionneurs chimiques de sol, trop chers pour améliorer l'ensemble d'un sol, peuvent être distribués de façon localisée dans toute la "tranchée humide" constituée le long d'une rampe, permettant ainsi d'élargir les bulbes en sol sableux, donc d'espacer les arrosages. Cet apport peut également se faire en aspersion, par des machines à irriguer, ce qui améliore notablement le sol en surface, donc la levée des semis en sol trop léger.
- Le rapport américain R.7 parle justement des sols sableux sans cohésion que seul le g à g permet de mettre en valeur. Il est certain que, dans ces sols, il serait intéressant d'utiliser les conditionneurs prônés par le rapport précédent, en créant une structure qui actuellement n'existe pas, et disparaît très rapidement après des travaux culturaux type sous-solage.
- Le rapport américain R.8 parle aussi des problèmes d'imperméabilisation locale du cavaillon que pose l'usage du g à g en cultures pérennes (vignes) et des essais réalisés pour y remédier (apport de matière organique ou de gypse, dont l'effet serait plus marqué mais moins durable). La simple utilisation des bois de taille et des feuilles, disposés sur le cavaillon, permettrait une certaine amélioration.

Ce problème se rencontre également en France (Roussillon) et, pour y remédier, j'avais préconisé des apports de marc de raisin sous les goutteurs.

## Analyse des communications présentées :

Fresno D.3 Relations sol-eau en g à g (Soil-water relationship as related to drip irrigation) par Scott Landgraf, agronome, spécialiste irrigation. Fondation Noble, Ardmore-Oklahoma, E.U.

#### Rapport pratique très intéressant.

La plupart des irrigants se désintéressent du devenir de l'eau qui pénètre dans le sol. Or cette eau peut être utile ou nuisible, en fonction des facteurs du sol (texture, structure, profondeur, perméabilité, pente).

<sup>\*</sup> bande de sol où sont plantés les arbres (ou les ceps) d'une rangée de verger (ou de vigne)

Les arbres fruitiers sont sensibles aux excès comme aux manques d'eau pendant leur période d'établissement. Et, près des arbres nouvellement mis en place, le g à g peut, du fait de la fréquence des apports, créer des zones de sol saturé artificiellement.

#### - Conséquences pratiques

Position des goutteurs. Quand on plante un arbre\*, le sol remué a une structure beaucoup plus aérée que celle du sol en place environnant, avec une surface lissée et compactée entre les 2, interrompant la circulation normale de l'eau. L'eau provenant du goutteur placé hors du trou de plantation ne peut pénétrer dans celui-ci, même si le sol en place atteint la capacité au champ. Le jeune arbre risque de mourir de soif s'il ne pleut pas ou s'il n'arrive pas à développer ses racines jusque dans le sol en place. Il faut donc à la lère feuille placer le goutteur dans le trou de plantation (voir figure 7 p. 108 et 109).

Par contre, la 2ème année, si l'on maintient le goutteur au dessus du trou de plantation (et si l'on augmente les doses, notamment en zone aride) le sol autour du tronc peut devenir saturé et ne maintient plus suffisamment l'arbre qui peut s'incliner à l'horizontale. Donc il faut, en début de 2ème feuille, déplacer le goutteur assez loin du tronc.

L'espacement des goutteurs doit être fonction de la diffusivité de l'eau dans le sol de façon à ce que les bulbes se rejoignent. Pour les pacaniers par exemple, l'auteur fait état des travaux de Daniel (1978) qui a trouve que le rendement augmentait avec le nombre de goutteurs par arbre et pouvait dépasser de 51 % le rendement des arbres en sec (85 au lieu de 60 kg/arbre), avec moins de 40 % du volume de sol humidifié).

Stone a trouvé, en 1976, qu'en irrigation à la raie, le rendement avec 1 raie pour 2 rangs était souvent plus élevé qu'avec 1 raie pour tous les rangs. Donc l'humidification à 100 % de la zone racinaire n'est pas nécessaire pour avoir la production maximale.

- Combien et quand arroser? Le sol en Oklahoma étant argileux, on a constaté une forte mortalité à la reprise en raison d'une sur-irrigation, les jeunes plants mourant de soif "les pieds dans l'eau" (saturation du trou de plantation qui constitue un récipient à parois étanches). Il faut donc espacer suffisamment les arrosages. Une bonne pratique consiste, à la plantation, à faire marcher le goutte à goutte 12 à 24 heures d'affilée, puis à attendre de 3 à 5 jours avant un nouvel arrosage. Les arrosages quotidiens sont néfastes pour les tout jeunes arbres, également pour les plus âgés qui sont cependant plus tolérants.
- . Choix et disposition des goutteurs. L'auteur estime que, dans les sols argileux considérés, le goutte à goutte en surface entraîne bien moins de mortalité que le goutte à goutte enterré et qu'une solution mixte à conseiller consiste à enterrer la rampe et la relier aux goutteurs en surface par des tubes conducteurs.

D'un essai comparatif réalisé in situ avec divers goutteurs, l'auteur estime que le goutteur ne doit pas avoir de pièces ni mobiles ni en caoutchouc, pour être d'une durabilité suffisante, et avoir une section de passage la plus large possible.

<sup>\*</sup> Avec une tarière sur tracteur sans doute qui, en sol argileux humide, provoque un lissage des parois du trou de plantation.

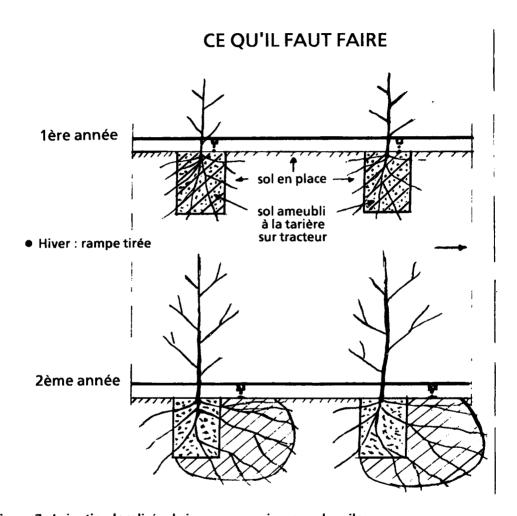


Figure 7 - Irrigation localisée de jeunes pommiers en sol argileux Source : inspiré de FRESNO D 3

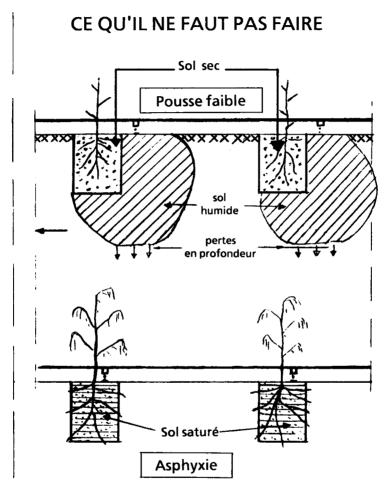


Figure 7 (suite) - Irrigation localisée de jeunes pommiers en sol argileux

La disposition des goutteurs en queue de cochon est théoriquement la meilleure mais oblige à déplacer les rampes secondaires à chaque opération culturale. Comme cette précaution est négligée, il en résulte de nombreuses coupures de ces rampes par les engins mécanisés. Et, de ce fait, la disposition des goutteurs sur une rampe proche de la rangée d'arbres est préférable pratiquement (moindre coût, facilité de lutte contre les adventices et rendement sensiblement égal).

L'auteur recommande de fixer, en extrémité de rampe, un capillaire fixé à un piquet et débitant à une certaine hauteur, de façon à voir de loin si l'extrémité de la rampe est bien alimentée en eau. Si le capillaire ne débite pas alors que la rampe est alimentée, c'est qu'il y a une fuite, qu'il faut immédiatement réparer.

- Donc, les caractéristiques du sol ont une grande importance pratique sur la position des goutteurs et l'espacement des arrosages (pour éviter la saturation du sol sur une longue période).

Fresno I.4 Fertigation et perméabilité du sol (Drip fertilization practices and soil permeability) par M.L. Bianchi, C.M. Burt et T.A. Ruehr, Université polytechnique de l'Etat de Californie, San Luis Obispo, E.U.

Sur des sols à texture fine et avec de l'eau très douce (eau de fonte des neiges de la Sierra Nevada dont la C.E. est  $\langle 0,2 \rangle$  d S/m), on observe, en fertigation g à g, une diminution de perméabilité de surface au cours de la saison d'arrosage, puis une certaine amélioration au printemps suivant.

Le sol, humidifié autour du goutteur, se recouvre d'une très fine peau (moins de 1 mm) constituée par de fines particules de sol reliées entre elles par des filaments bactériens ou fongiques. Puis il y a diminution du pH du sol, formation de croûtes en surface et, sous la surface, développement d'une couche vésiculeuse.

Après une expérimentation en 1982 dans une vigne de table du Comté de Tulare, les auteurs sont arrivés aux conclusions suivantes :

L'utilisation d'engrais NH4 et K dans une eau pauvre en ions provoque un lessivage des ions Ca++ et des problèmes de battance, dus à la prépondérance des ions monovalents NH4+ et K+ dans le complexe d'échange du sol. On peut y remédier en apportant des ions Ca++ de façon continue (nitrate de Ca complété par du Ca Cl2 pour ne pas apporter d'N en excès, mais en fait chaque cas doit être étudié pour trouver la réponse adéquate.

Attention: La couche qui se développe en surface autour du goutteur est envahie par des algues et devient verte, ce qui incite l'agriculteur à ajouter à l'eau du SO4 Cu. Mais la diminution du pH tend à rendre le Cu plus soluble et plus mobile, d'où risque de toxicité pour la culture.

Fresno R.6 Utilisation des conditionneurs de sol en g à g (Aplication of soils conditioners by drip irrigation) par Abraham Shaviv, Israela Ravina et Dan Zaslawski, Technion, Haîfa, Israël.

Les conditionneurs chimiques de sol peuvent être utiles dans le cas de sols battants et érodables en régions arides. Mais leur utilisation pratique par épandage et mélange mécanique freine leur emploi autant que leur prix. D'où l'idée des auteurs d'apporter ces conditionneurs par g à g ou aspersion comme s'il s'agissait d'engrais. Des essais en laboratoire sur des colonnes de sol ont montré que la chose était facile et que l'on pouvait stabiliser le sol sur 30 cm en apportant 0,5 à 1 g de produit par kg de sol, le

meilleur résultat étant obtenu avec une teneur en eau légèrement inférieure à la capacité au champ, et un flux de solution de 50 mm/h environ, flux que l'on peut réaliser en g à g. L'application localisée du produit en bandes correspondant aux rangées de culture permettrait d'espérer une économie supplémentaire.

Ces essais en laboratoire ont été confirmés par des essais au champ dans la vallée du Jourdain et dans l'Arava, sur poivron et carotte. 117 % d'augmentation de diamètre des agrégats stables à l'eau ont été obtenus contre 38% par la méthode traditionnelle dans le 1er essai, 385 et 240 % dans le 2ème essai pour les tranches de sol 0 à 3 cm et 3 à 7 cm. L'amélioration de la structure est donc nette. Ultérieurement les auteurs envisagent d'améliorer la méthode en apportant le conditionneur avant le semis, dans un sol à la capacité au champ homogénéisé par des passages de rotavator.

La levée des semis a été améliorée surout quand l'application du conditionneur de sol a été faite par aspersion.

L'application de conditionneurs de sol par g à g est donc non seulement plus efficace, mais aussi plus économique (pas de façons culturales pour mélanger le produit au sol et réduction de la surface traitée). L'utilisation de machines à irriguer est également possible.

On peut aussi envisager de stabiliser le sol autour des tuyaux de drainage en utilisant ceux-ci pour faire pénétrer le produit dans le sol situé autour des drains.

Fresno R.7 Réduction du système racinaire dans les sols sableux sans cohésion irrigués par gaines Biwall et par aspersion (Root restriction in new sandy fields with biwall and sprinkler) par F.E. Robinson, Université de Davis, Californie, E.U.

Dans de nombreuses régions du monde, il existe des sables fins sans cohésion que le vent façonne en dunes mouvantes. Ces sols, très perméables mais à très faible RFU, jusqu'ici non irrigables, peuvent être mis en valeur grâce aux techniques modernes d'irrigation fréquente.

Tel est le cas des sols du plateau situé à l'Est de la Vallée Impériale en Californie, restés stériles pendant 85 ans alors que les sols plus lourds de la vallée devenaient des terres très riches. Les difficultés de la mise en valeur sont essentiellement le manque de cohésion (effondrement des bords des tranchées, action mécanique du sable sur les cultures, forte perméabilité 0,15 à 0,5 m/h) et la faible capacité pour l'eau et les ions.

Essais: Après nivellement du site, le sol resta sans culture pendant 6 mois, pendant lesquels on installa le réseau d'irrigation. Avant culture, un disquage sur 25 cm fut réalisé pour incorporer les engrais et ameublir le sol. Coton, sorgho et betterave furent semés, et irrigués avec 1 ETbac, mais les carottages de sol montrèrent que les racines ne dépassaient pas 25 cm et devenaient horizontales à ce niveau, même dans les parties remblayées à 1,5 m. Sous la couche ameublie de 25 cm, le sable était tassé en couches successives comme s'il avait été mis en place hydrauliquement.

La 2ème culture fut semée après passage du chisel sur la moitié du sol (40 cm de profondeur tous les 1,7 m). L'enracinement sur le passage du chisel descendait à 42 cm mais resta à 25 cm environ à 30 cm de là.

Observation: Le sol, très meuble en surface, se tasse fortement en profondeur, obligeant les racines à faire un angle de 90° au niveau de la partie non ameublie. Les parois des trous de tarière tiennent dans le sol humide mais s'éboulent au fur et à

mesure de sa dessication. Un seul passage du chisel a une influence trop locale et il a fallu un triple passage du chisel équipé d'ailes triangulaires à la base pour rendre le sol explorable par les racines sur toute la profondeur ameublie. La fréquence des passages du chisel reste à déterminer.

Fresno R.8 Comment augmenter la perméabilité de surface dans les vignes de table irriguées (Infiltration management in drip irrigated grapes) par K. Hake, D.L. Luvisi et D.A. Goldhammer, Californie, E.U.

Le g à g permet un stress hydrique avant le développement des baies pour limiter la croissance végétative, puis assure une alimentation hydrique suffisante pendant la croissance des baies qui coîncide avec l'ET maximale. Dans les 2 cas, on a besoin d'une bonne perméabilité pour alimenter rapidement le bulbe.

Or le g à g entraîne une imperméabilisation du sol en surface, accentuée par la pratique courante (pas de façons culturales en été, ce qui laisse la croûte de surface intacte, et en hiver un labour qui, du fait des pluies, favorise la battance en surface). L'entraînement des ions basiques dû à la localisation de l'infiltration et l'utilisation d'eau peu salée (0,1 dS/m) contribuent également à aggraver le phénomène d'imperméabilisation du sol en surface. Pour y remédier on a préconisé un enherbement, des façons culturales adaptées, un apport de gypse ou de matière organique. L'efficacité de ces mesures a été testée pendant une période de 2 ans sur une vigne adulte de Thomson Seedless équipée d'une rampe suspendue à 50 cm du sol munie de 2 goutteurs de 4 l/h par cep. Cycle de 6 heures, dont 4 h d'irrigation, la fréquence des cycles étant déterminée par tensiomètres (à 46 et 120 cm de profondeur, entre les ceps).

Les traitements ont consisté en des apports d'amendements (gypse phosphaté et/ou fumier de bovins) incorporés sur une bande de 91 cm en deux doses. Les modalités d'apport (en surface ou par incorporation dans une couche de 7,6 cm) ont été combinées avec les traitements de base suivants : témoin, fumier seul, gypse seul, fumier + gypse. Le tout répété 6 fois. L'essai a duré deux campagnes d'irrigation.

Il y a réduction nette du flaquage, surtout quand on apporte du gypse en surface (mais cet apport est à renouveler tous les ans). Il est également possible de briser mécaniquement la croûte de battance en été ou de placer les bois de taille et les feuilles le long des rangs pour augmenter la porosité du sol.

# LE POINT SUR LES MATERIELS ET LES RESEAUX

4



A. Essais des matériels	114
B. Choix des matériels	119
C. Innovations	123
C.1 - Innovation en matière de distribution	123
C.2 - Innovation en matière de filtration	129
C.3 - Innovation en matière d'automatisation	130
D. Méthodes de calcul des réseaux	132

#### A. ESSAIS DES MATERIELS

8 rapports, 6 présentés à Fresno, 2 à Budapest, traitent de cette question importante pour le développement de la micro-irrigation, dont l'uniformité d'arrosage, dans l'espace et dans le temps, est une qualité essentielle.

# Synthèse

Des essais de mini-asperseurs, sans recouvrement des surfaces mouillées, ont été réalisés en Californie sur 6 modèles américains de débits compris entre 26 et 65 l/h. La répartition a été trouvée très mauvaise [CV # 0,4 et CU Christiansen 50] d'où des risques de percolation en sols légers et de ruissellement en sols fins ou battants.

Cependant, on a vu précédemment que, dans une grande mesure, l'absorption racinaire tamponnait fortement les variations de distribution en surface. Ceci évidemment ne supprime pas les risques de ruissellement en sols fins. Mais les mini-diffuseurs et mini-asperseurs sont surtout recommandés pour les sols grossiers.

N.B.: On se demande pourquoi ce rapport n'a pas été regroupé avec les rapports du chapitre H qui traitaient du même sujet.

La station d'essais officielle des E.U. a été créée récemment à Fresno (Californie) alors qu'en France les essais de distributeurs de micro-irrigation remontent à 1972, et sont réalisés par le CEMAGREF, dans sa station d'essais du Tholonet, près d'Aix-en-Provence.

Je retiendrais essentiellement la conclusion de la station américaine qui incite les agriculteurs à indiquer dans leurs appels d'offre les performances minimales que doivent accomplir les matériels proposés par les installateurs, ce qui est la seule façon d'améliorer la qualité de fonctionnement des réseaux.

Pour le détail, je renvoie aux analyses des rapports et surtout aux rapports eux-mêmes.

- -Un excellent rapport a été réalisé à Hawaï par les spécialistes américains des gaines doubles. Il décrit les dispositions prises pour améliorer sans cesse la qualité des fabrications, en faisant face aux problèmes spécifiques d'Hawaï (attaques par les fourmis) qui ont contribué fortement à enterrer légèrement les rampes et à ne pas les récupérer après la récolte des cannes (tous les 2 ans environ).
- 2 rapports (un américain et un autrichien) ont pour objectif principal la promotion d'un produit commercial précis.

- -Un rapport techécoslovaque donne les résultats d'essais des 2 goutteurs autorégulants utilisés dans le pays, en distinguant si le régime est laminaire ou turbulent.
- -Un rapport israélien, de l'Institut de Normalisation de Tel Aviv présente l'état actuel de la normalisation internationale de la micro-irrigation, qui est l'oeuvre d'un Sous-Comité de l'ISO. La France, grâce aux essais qu'elle a réalisés au CEMAGREF, possède également une grande expérience qui lui permet de participer activement à la discussion et à la mise au point des normes relatives aux divers matériels utilisés en irrigation, et en particulier en micro-irrigation.

Signalons enfin que le groupe de travail sur la micro-irrigation de la CIID a effectué en 1986 le recensement mondial des stations d'essai travaillant sur des matériels de micro-irrigation. Les renseignements collectés figurent, par pays, en annexe 3.

# Analyse des communications présentées :

Fresno G.5 Essais en laboratoire sans recouvrement de quelques mini-diffuseurs américains (Evaluation of non overlapping, low-flow sprinklers) par S.E.C. Post, D.E. Pock, R.A. Brundler, N.J. Sakovich et L. Maddel, Californie, E.U.

Ces essais ont porté sur les 6 mini-asperseurs ci-après, sous une pression de 1,38 bar :

	Débit I/h
Rain Bird Green Spinner	65
Solcoor Yellow Spinner	29,9
Single Arm Hardie	26,3
Double Arm Hardie	36,6
Single Arm Irridelco	38,5
Olson Blue Spinner	32,2

La répartition a été trouvée très mauvaise sur tous les modèles (CV > 0,4 et CU Christiansen # 50), d'où risques de percolation sur sols grossiers et de ruissellement en surface sur sols fins.

Fresno H.1 Caractéristiques de calcul des rampes des gaines perforées (Design characteristics of line source drip tube) par Michaël J. Boswell, de la Sté James Hardie, El Cajon, Californie, E.U.

Les gaines utilisées pour l'irrigation de certaines cultures industrielles (canne à sucre, tomate, fraise...) appartiennent sur le plan hydraulique à 2 catégories très différentes :

- -les gaines perforées, dont les orifices (Ø 0,25 à 0,65 mm selon le débit) sont forés, découpés à l'emporte-pièce ou brûlés au laser dans la ou les parois.
- -les gaines à capillaires, formées par chevauchement et double soudure des bords d'une bande plastique. Les capillaires ont une section de passage de 0,1 à 0,2 mm en hauteur, 0,7 à 2,5 mm en largeur, et 15 à 60 cm de longueur.

Le débit d'un orifice est parfaitement turbulent et insensible à la température. L'exposant x de la pression dans la formule du débit  $q=KH^X$ , est égal à 0,5. Par contre le débit d'un capillaire serait laminaire (x # 1) et dépend fortement de la température.

L'auteur démontre que, pour une tolérance donnée d'uniformité, la variation admissible de pression est pratiquement doublée pour les gaines perforées par rapport aux gaines à capillaires.

La gaine perforée est donc, d'après l'auteur, très supérieure à la gaine à capillaires.

N.D.T.: Ce rapport, rédigé par le directeur des Services Techniques de la firme qui fabrique une gaine perforée (Biwall), ressemble plus à un plaidoyer "pro domo" qu'à une analyse impartiale des avantages et inconvénients des 2 types de gaines. La gaine à capillaires vient d'ailleurs d'être fortement améliorée en transformant le cheminement rectiligne en un cheminement à chicanes beaucoup plus performant (gaine Turbo-Tape).

Fresno H.2 Normes de performance des réseaux DT (Drip irrigation systems components performance standards) par D.F. Zoldoske et E.M. Norum du Centre d'essais technologiques de l'Université de Californie à Fresno. E.U.

Les auteurs rappellent l'intérêt des essais de matériel, pour les concepteurs, les fabricants et les utilisateurs, ainsi que l'utilisation des normes (ISO internationale et ASAE américaine) qui permettent de juger de la qualité d'une installation.

Ils font ressortir que les formules de pertes de charge singulières dues à l'insertion des goutteurs, varient beaucoup en fonction du diamètre de rampe ainsi que de l'espacement des goutteurs. Pour les goutteurs latéraux intégrés, ils ont trouvé des pertes de charge très différentes suivant le sens du courant et il conviendrait donc, soit de prendre la perte de charge la plus élevée, soit de marquer sur les rampes le sens de l'écoulement.

Ils ont trouvé que le CV augmente avec la pression et proposent que la pression d'essais soit indiquée en même temps que la valeur du CV.

Le débit de purge à la mise en service des goutteurs autorégulants peut être si élevé (30 fois le débit nominal) que le régime permanent ne peut être atteint.

Il y a souvent une fuite à la tête de vipère d'un goutteur latéral monté sur une rampe et aucune norme ne parle de ce phénomène.

Aussi les auteurs recommandent aux agriculteurs d'introduire dans les marchés les performances minimales à atteindre, seule façon d'améliorer la qualité de tous les composants des installations.

Fresno H.3 Résultats d'essais des goutteurs autorégulants HB System avec la nouvelle norme ISO (Experiences with the new ISO-test method on pressure compensated HB system emitters) par M.A. Giay et R.F. Zelenka, membres respectivement des TC 23 et 138 de l'ISO, Autriche

Les auteurs se bornent à rappeler les spécifications de la norme ISO pour les goutteurs et à relater les essais effectués selon cette norme sur leur goutteur autorégulant (# 3 l/h de 5 à 50 m de C.E.). Ils recommandent aussi, sans expliquer pourquoi, d'utiliser pour les résultats d'essai des coordonnées arithmétiques alors que le CEMAGREF utilise, pour les non autorégulants, des coordonnées logarithmiques qui sont bien plus pratiques.

Fresno H.4 Essais en laboratoire des matériels DT en vue d'un meilleur calcul des réseaux (Laboratory evaluation of trickle irrigation equipment for field system design) par M. Decroix et A. Malaval, Ingénieurs de la division Irrigation du CEMAGREF d'Aix-en-Provence, France.

Depuis 1971 le CEMAGREF étudie des distributeurs de tous genres au fur et à mesure de leur apparition sur le marché mondial. Il a donc pu suivre les évolutions techniques

de ce type de matériel et a mis au point une procédure normalisée d'essais, grâce à laquelle les résultats obtenus sont significatifs et comparables entre eux (test d'uniformité, établissement de la loi débit-pression, test de colmatage physique).

Les auteurs décrivent 2 résultats originaux de ces recherches non publiées jusqu'alors :

- -La mise en évidence d'une loi liant la sensibilité du débit à la température et l'exposant x de la pression de la loi débit-pression ( $q = KH^X$ ).
- -La prise en compte des pertes de charge singulières occasionnées par l'insertion des goutteurs, selon une méthode rationnelle et précise.

Voir pour plus de précision le rapport de mission à Fresno publié en décembre 1985, ou l'article paru à ce sujet dans la revue Génie Rural début 86.

Fresno H.5 Evaluation des caractéristiques physiques et hydrauliques des gaines utilisées à Hawaī (Evaluation of physical and hydraulic characteristics of drip irrigation tubing used in Hawaī) par W. Bui et C.M. Kinoshita, de la station d'essais des planteurs de canne à sucre d'Hawaī, Hawaī, E.U.

Excellente communication, documentée et détaillée, qui complète bien le rapport D1 des mêmes auteurs. Etant donné le nombre des informations nous nous bornerons à donner ci-après le résumé puis les conclusions, qui traduisent une philosophie très proche de celle que nous avons développée en France pour l'ensemble des distributeurs, à l'exception des gaines.

- "Les caractéristiques physiques et hydrauliques de la gaine g à g (c'est-à- dire la configuration de la gaine elle-même et des orifices, sa durée de vie, sa pression d'éclatement, son débit nominal et son uniformité de fabrication) jouent un rôle capital dans le succès ou l'échec des installations g à g. L'industrie du sucre à Hawaî a donc, dès 1971, élaboré un programme d'établissement des spécifications que les fabricants pouvaient utiliser comme guide pour produire des matériels satisfaisant à ses exigences propres. Des gaines prototypes, puis nouvellement mises sur le marché, enfin et périodiquement des gaines déjà fabriquées, sont testées en fonction de ces spécifications. Les résultats des essais sont communiqués aux fabricants pour leur permettre d'améliorer la qualité de leurs fabrications, et aux propriétaires des domaines sucriers qui s'en servent comme base pour le choix de l'équipement de leurs parcelles.

Le présent rapport décrit : 1. Les spécifications physiques et hydrauliques mises au point par l'industrie sucrière d'Hawaî pour la fabrication des gaines, et les raisons de ces spécifications. 2. La procédure d'essai des gaines. 3. Les résultats expérimentaux les plus significatifs. 4. Les gaines utilisées".

- "Le g à g a joué un rôle important dans l'amélioration de l'irrigation pour la production de sucre de canne à Hawaĩ. La clé de la réussite de tout système g à g est la qualité des performances du matériel de distribution de l'eau. Les critères de choix établis par les industriels et la procédure d'essai décrite dans le rapport ont été établis afin d'assurer un fonctionnement satisfaisant des réseaux g à g. Jusqu'ici, les gaines qui ont satisfait à ces épreuves ont été adoptées par les usagers, que ce soit par les industriels sucriers d'Hawaĩ ou par d'autres utilisateurs.

Bien que les critères de base soient restés sensiblement les mêmes depuis plus de 10 ans, ils ont été constamment revus et améliorés afin de satisfaire les besoins toujours changeants de l'industrie. Celle-ci continuera à aider les fabricants à évaluer les fabrications nouvelles ou déjà sur le marché. En raison des améliorations technologiques constantes, les industriels sucriers d'Hawaî espèrent qu'un nombre croissant de fabricants de gaines et d'autres matériels g à g seront capables d'atteindre les normes qu'ils ont élaborées, et ce en réduisant les prix".

Budapest 25 Calcul hydraulique de réseaux d'irrigation g à g dans les conditions de la Tchécoslovaquie (Hydraulic design of drip irrigation systems in conditions of Czechoslovakia) par Kochanek et al, Prague, Tchécoslovaquie.

On utilise 2 types de goutteurs tous deux autorégulants : le type Eternomatic, importé d'Autriche, et un type fabriqué dans le pays (Zvolex).

Les auteurs donnent les formules trouvées en laboratoire pour les pertes de charge réparties ou locales (insertion d'un goutteur sur une rampe, d'une rampe sur un porterampes, etc...), en régime laminaire ou turbulent.

Budapest 46 La normalisation internationale en micro-irrigation (International standardization in micro-irrigation) par Silberstein, Institut de Normalisation, Tel Aviv, Israël.

Coordinateur du Sous-Comité 18 du Comité Technique 23 de l'ISO, l'auteur expose les résultats obtenus en micro-irrigation depuis sa création fin 1978.

L'ISO (International Organization for Standardization) regroupe 89 pays et son domaine de compétence est général à part le génie électrique et le génie électronique. Il s'exerce grâce à 2 400 Comités, Sous-Comités ou Groupes de Travail et plus de 20 000 experts (fin 1985, il y avait 164 Comités, 645 Sous-Comités et 1 554 Groupes de Travail). 6 068 normes ISO ont été publiées.

D'abord un projet de texte : Draft Proposal (DP) transmis pour observation à tous les membres. Puis après approbation par le Comité Technique compétent (TC), le DP devient progressivement un projet de norme ou DIS (Draft International Standard), qui, lorsqu'il est approuvé par au moins 75 % des votants, est présenté au Conseil de l'ISO pour devenir une Norme internationale (International Standard).

Les normes existantes sont revues tous les 5 ans et mises à jour si nécessaire.

L'ISO entretient des relations avec de nombreuses autres organisations et en particulier la CIID.

Le SC 18 comprend 11 membres participants (P members) et 19 observateurs (O members).

L'auteur décrit diverses normes de micro-irrigation :

- -ISO 7714 lère partie (Vannes volumétriques),
- -ISO 8026 Diffuseurs,
- -ISO DIS 9260 Goutteurs,
- -ISO DIS 9261 (Réseaux à rampes goutte à goutte),
- -ISO DIS 7714 2ème partie (Vannes hydrauliques),
- -ISO DIS 7714 3ème partie (Méthode de mesure des pertes de charge dans les vannes),
- -ISO DP 7714 4ème partie (Petites vannes manuelles en plastique),
- -ISO DP Filtres lère partie (Filtres à tamis),
- -ISO DTR (Draft Technical Report) 8059 sur les réseaux automatiques en irrigation,
- -ISO DIS 8779 Tubes PE pour rampes d'irrigation,
- -ISO DP Raccords mécaniques pour tubes PE.

#### B. CHOIX DES MATERIELS

11 rapports, 6 présentés à Fresno, 5 à Budapest.

# Synthèse

- En Nouvelle Zélande (E.4) la plupart des matériels sont importés, et sont très sophistiqués : programmation automatique des arrosages (le jour pour les cultures sensibles au stress hydrique, avec fractionnement de la dose, la nuit pour les brise-vent), nettoyage automatique des filtres, régulateurs de pression en tête des postes pour éviter l'influence des modifications de pression à la sortie des filtres en fonction de leur colmatage.

Des efforts sont entrepris pour tester les matériels disponibles et faciliter le choix des utilisateurs dont le niveau de compétence est élevé (compétition très vive). La vulgarisation des ET\* et des hauteurs de pluie est quotidienne, ce qui permet de mieux suivre les besoins réels des cultures. La fertigation est largement utilisée (pompes doseuses) en fonction d'analyses fréquentes du sol et des feuilles.

- Au Liban (N.4), sur palmier-dattier, on fait ressortir l'avantage de rusticité des ajutages par rapport aux goutteurs dans les PVD et un rapport californien (Q.1) sur avocatier, explique de la même façon le passage des goutteurs aux mini-diffuseurs et mini-asperseurs.
- A l'Ile Maurice (U.3) on estime que la rampe équipée de goutteurs est préférable à la gaine double perforée, car elle doit durer autant que la culture (10 ans) et les rendements sont plus élevés (17 au lieu de 14 t/ha de sucre), sans doute du fait d'obstructions moindres.
- 2 rapports l'un autrichien (23), l'autre italien (24) sont des plaidoyers, en faveur des goutteurs autorégulants pour le premier, des gaines doubles pour le second. Par contre un rapport israélien (47) indique que, dans la vallée du Jourdain, la topographie accidentée a nécessité l'utilisation de goutteurs autorégulants. De même un rapport de la R.F.A. (E.7) estime que les goutteurs autorégulants, indispensables pour les vignes en côteau orientées selon la plus grande pente, sont plus sensibles au colmatage.
- Un rapport tchèque (25) donne seulement des résultats techniques de mesures de laboratoire sur les 2 goutteurs utilisés, l'un importé (Eternomatic), l'autre de fabrication locale (Zvolex).
- Un rapport français du CEMAGREF (27) est le seul qui montre ce que l'usager doit faire pour choisir logiquement un distributeur parmi tous les autres. Le critère technique (performances et adaptation aux conditions d'emploi) doit être pris en compte avant le critère financier (prix), car il y a de très grandes différences techniques entre les goutteurs, alors que souvent le comportement de l'agriculteur est inverse; il a tendance à ne regarder que le montant de la facture et non l'ensemble des avantages et inconvénients des diverses solutions qui lui sont proposées.

<sup>\*</sup> Evapotranspiration: référence utilisée pour le calcul des besoins en eau des diverses cultures, aux divers stades de leur développement végétatif.

- Enfin dans l'Ile de Guam (J.2), on signale, parmi les nombreux facteurs négatifs, que le manque de matériel adéquat oblige à utiliser des matériels inadaptés (notamment raccords métalliques au lieu de raccords plastiques non corrodables, rampes prépercées pour le montage d'asperseurs, diamètres de rampes non supérieurs à 50 mm, ce qui entraîne des unités d'arrosage trop petites) ou à ne pas prendre les précautions élémentaires (pas de vannes anti-retour en fertigation alors que les installations sont branchées sur un réseau général d'eau potable). La création de coopératives d'approvisionnement est proposée pour remédier à cette situation.

N.D.T.: D'après mon expérience personnelle, telle est bien la situation que l'on rencontre dans de nombreux pays où l'on ne trouve pas les divers matériels spécialisés qui seraient nécessaires pour réaliser des installations correctes.

# Analyse des communications présentées

Fresno E.4 Micro-irrigation sur horticulture en Nouvelle Zélande (Micro-irrigation in New-Zealand horticulture) par Alastair M. Acland de James Hardie. Auckland, Nouvelle Zélande.

En Nouvelle Zélande, le climat maritime est doux et humide (500 à 2 500 mm de pluie/an) mais l'irrigation de complément permet d'obtenir des productions horticoles maximales dans les sols, qui sont de texture grossière. Un réseau de drainage est également souvent nécessaire pour éviter la saturation des sols lors des printemps pluvieux.

Le kiwi, dont l'enracinement superficiel est important (100 m²/plant environ) est mieux irrigué par mini-asperseurs ou minidiffuseurs, les goutteurs étant réservés aux haies brise-vent, ainsi qu'aux cultures à enracinement plus réduit ou encore aux sols minces très perméables.

Au printemps il y a d'abord développement du système racinaire, puis croissance végétative, enfin développement des fruits.

Les matériels sont pour la plupart importés, y compris pour l'automatisation qui permet une commande précise des quantités d'eau apportées, et une meilleure utilisation du débit au milieu du jour (au profit des cultures sensibles au stress hydrique, les brise-vent étant arrosés hors pointe journalière) avec un fractionnement des arrosages qui permet de mieux suivre les variations de l'ET horaire. Le nettoyage automatique des filtres (à tamis et à sable) est reconnu comme indispensable pour assurer le maintien de leur efficacité. Les régulateurs de pression sont utilisés en tête des postes pour éviter l'influence des modifications de pression dues au colmatage progressif des filtres.

La liberté des opérations culturales permise par la micro-irrigation est de plus en plus appréciée, et les distributeurs placés de manière la plus commode possible (goutteurs ou mini-diffuseurs suspendus verticalement pour les pergolas avec rampes accrochées au palissage, ou bien rampes enterrées avec goutteurs en surface, ou même gaînes complètement enterrées).

Des efforts sont entrepris pour évaluer de façon impartiale les divers matériels, augmenter la qualité des lots livrés sur le marché néo-zélandais, et permettre aux horticulteurs néo-zélandais de faire un meilleur choix technique.

L'irrigation est devenue un élément essentiel de la gestion des exploitations horticoles et de nombreuses techniques de vulgarisation sont utilisées afin d'élever la compétence

des horticulteurs qui conditionne la rentabilité des cultures, dans une économie où la compétition est très vive. L'apport de la juste dose est essentiel (ni trop, ni trop peu). Les ET et les hauteurs de pluie sont diffusées quotidiennement, par radio ou par des imprimés, et l'utilisation des tensiomètres, placés à deux niveaux ou davantage, se répand, pour déterminer la dose et la fréquence des apports. Les tensiomètres à contact électrique permettent d'arrêter en cas de pluie importante survenant au cours d'un arrosage. On utilise par ailleurs des Kc pour chaque culture, chaque région, et chaque période du cycle végétatif.

La fertigation est largement utilisée pour réaliser le programme de fertilisation défini en vue d'améliorer la quantité et la qualité de la récolte. D'où l'intérêt d'un réseau à distribution la plus uniforme possible. Les pompes d'injection, plus précises, ont remplacé les autres techniques et de nombreux engrais spéciaux pour cet usage ont été mis sur le marché. La fertilisation est effectuée en fonction d'analyses fréquentes du sol et des feuilles, et tient compte des risques de lessivage par les pluies : elle est donc très souple, et mixte. Au printemps, P2 O5 est apporté en couverture car les besoins sont grands et la solubilité dans l'eau d'irrigation faible. Le déplacement des ions dans le sol est encore plus complexe et variable que celui de l'eau. D'où l'utilisation de la mini-aspersion, moins efficiente que le goutte à goutte, mais plus commode en fertilisation sur les cultures à développement racinaire superficiel important comme le kiwi.

Fresno E.7 Recherches en DT en R.F.A. (DT irrigation research in the Federal Republic of Germany) par P. Wolff, Université de Kassel à Witzenhausen R.F.A.

En R.F.A. 300 000 ha (2,3 % du sol cultivé) sont équipés pour l'irrigation (betterave à sucre, pomme de terre, maîs, pâturage, cultures fruitières et légumières). 4 % (pâturage) en irrigation de surface 96 % en aspersion, 0,3 % en g à g (1 000 ha environ).

Malgré sa faible importance actuelle, le g à g intéresse beaucoup arboriculteurs et viticulteurs, d'où de nombreuses recherches en cours depuis 10 ans, surtout pour l'irrigation sous serre et des vignes en côteau dont les rangs sont souvent orientés selon la plus grande pente (jusqu'à 40 %).

Recherches technologiques

- Essais de longue durée de goutteurs autorégulants et de rampes munies de limiteurs de débit ou de régulateurs de pression. Les essais de colmatage ont montré que les goutteurs autorégulants sont plus sensibles que les autres.

Recherches agronomiques

- -En serre, le g à g est très intéressant pour réduire la main d'oeuvre et la consommation en eau : alors qu'il faut 5,5 mm en aspersion fine, 3,3 et même 2,1 mm/j (avec mulch plastique) suffisent en g à g.
- -En plein air, la consommation en eau est réduite mais en général la production également (par rapport à l'aspersion). Le g à g n'offre d'intérêt que dans des conditions spéciales : eau rare et chère, nécessité de réduire l'énergie, ou d'avoir une grande uniformité des cultures, arrosages très fréquents, etc...

Fresno J.2 Adoption et adaptation du DT à Guam ("Adoption and adaptation of trickle irrigation on Guam" par C.A. Saruwatari et J.A. Cruz, Université de Mangilao à Guam, île de 549 km², 13°30 de latitude Nord, territoire des E.U. depuis 1898.

Ancien atoll exondé, Guam a des sols coralliens minces, de texture calcaire légère, constitués par les dépôts d'un ancien lagon. Le climat est tropical humide (pluies 2,17

m/an) avec une saison sèche. La température varie de 24 à 30°, avec une humidité relative élevée (80 à 100 % la nuit, 65 à 70 % le jour). Vents permanents et forts, avec des tornades de 50 à 100 km/h et parfois des typhons qui ravagent l'île comme en mai 1976.

Auparavant, l'agriculture était purement vivrière, et pratiquée en saison humide (# 1 000 jardins familiaux). Maintenant il existe 125 exploitations agricoles de type industriel de 2 à 100 ha faisant haricot vert, melon, tomate, patate douce, aubergine, etc...

C'est le gouvernement qui a introduit le goutte en goutte en créant en 1968 3 fermes pilotes et en 1977 une unité de recherche à l'Université "pour améliorer la production végétale et la gestion de l'eau". L'eau provient en partie du réseau d'eau potable et la pression chute en période sèche du fait des consommations trop élevées. D'où des réseaux souvent dépourvus de régulateurs de pression et de filtres, avec des problèmes d'obstruction par incrustation de Ca. Mais des efforts sont faits pour améliorer la situation.

Fresno N.4 Comparaison entre ajutages et goutteurs (Localized trickle versus drip irrigated systems) par M.N. Nimah, Université américaine de Beyrouth, Liban.

L'auteur compare, au point de vue salinité et rusticité, le g à g à ce qu'il appelle le "trickle localisé" qui utilise des ajutages à fort débit (20 à 200 l/h) alimentant des bassins. Ces ajutages sont appelés "bubblers" aux E.U., mais ressemblent beaucoup au système français plus élaboré Bas-Rhône, où l'ajutage alimente un bief de rigole triangulaire au fond de laquelle est située la rampe, et qui est plus rustique que le g à g (moindre sensibilité à l'obstruction par impuretés physiques ou dépôts de sels).

L'essai a été fait sur palmier-dattier. Les besoins (400 1/j/arbre) étaient satisfaits par 12 goutteurs de 8 1/h espacés de 0,4 m autour de l'arbre dans un cercle Q 1,6 m, ou par 2 ajutages de 200 1/h.

Le réseau est plus cher avec les ajutages (diamètres de rampes plus importants et davantage de vannes de commande) mais il y a moins de risques de salinité du sol et d'obstruction des distributeurs. Les ajutages sont donc préférables dans les PVD pour leur rusticité.

**N.D.T.** Malheureusement, le rapport ne parle pas des résultats agronomiques. On peut aussi regretter que le système Bas-Rhône, antérieur au système américain des bubblers et qui aurait conduit à un coût moindre, ne soit mentionné, ni dans le texte, ni dans la bibliographie.

Fresno Q.1: voir page 80

Fresno U.3: voir page 43

Budapest 23 Uniformité de débit de divers types de goutteurs en comparaison avec le goutteur autorégulant HB (Uniformity of discharge of different types of emitters comparison to the pressure compensated H.B emitter) par Giay et al Autriche

**N.D.T.**: Cet article met l'accent seulement sur les avantages des goutteurs autorégulants, et notamment du goutteur HB, et non sur leurs inconvénients. Il est réalisé à l'aide de la documentation générale existante, et présente un caractère commercial.

Budapest 24 Micro-irrigation : système Biwall (Micro-irrigation with Bi-Wall system) par la Société James Hardie, Italie.

N.D.T.: Ayant le même caractère que le rapport précédent, il présente toutefois l'avantage de donner des indications techniques précises sur le produit actuel. Par exemple: le PE basse densité n'est irradié, pour éviter le stress cracking, que pour les tubes de plus grande longévité c'est-à-dire les Biwall, 15, 19 et 25 (millièmes de pouce). Les Biwall 5 (light) et 10 ne sont pas irradiés. Les espacements entre sorties sont de 15, 23, 30, 45, 60, 90 et 120 cm (rampes spéciales arboriculture).

La pression maximale recommandée varie de 5 m pour le Biwall 5 à 14 m pour le Biwall 25, la pression minimale recommandée est de 2,5 m, le nombre de sorties par trou dans la paroi commune est de 5 ou 6 pour les espacements faibles et de 4 au dessus de 60 cm, la longévité moyenne est indiquée en fonction du type, etc...

Il y a aussi beaucoup de conseils pratiques d'installation (orifices toujours vers le haut, obligation de mettre sur le porte-rampes une vanne casse-vide pour éviter l'aspiration de boue lors de la fermeture du poste, pose enterrée conseillée, etc...

Budapest 25.: voir page 118

Budapest 27 Critères de choix des distributeurs de micro-irrigation (en français) par Yves Pénadille CEMAGREF Aix-en-Provence, France.

Après un rappel de la classification des distributeurs, l'auteur indique comment on doit les choisir en fonction des divers facteurs qui interviennent.

Budapest 47: voir page 65

#### C. INNOVATIONS

# C.1. Innovations en matière de distribution

10 rapports, 6 présentés à Fresno, 4 à Budapest.

#### Synthèse

- Un fabricant de goutteurs de Californie fait ressortir les progrès récents accomplis par les fabricants de matériels, sans dire qu'ils ont encore des progrès à faire, et insiste par contre sur les progrès que doivent réaliser les utilisateurs.
- Un chercheur israélien décrit le principe de régulation qu'utilisent les meilleurs goutteurs autorégulants (Plastif et Netafim), mais qui nécessite une membrane souple, ronde, de diamètre important, d'où un prix relativement élevé.

- **N.B.**: Avec les autres goutteurs autorégulants, beaucoup plus sensibles aux obstructions, on joue sur la réduction de la section de passage en un point donné du cheminement, par pénétration partielle d'une pièce en caoutchouc dans une rainure. C'est moins cher, mais moins durable et plus sensible aux obstructions.
- La société française Kulker de Sully-sur-Loire expose l'intérêt de son nouveau goutteur (Sully ou Ullys selon qu'il est ou non autorégulant). Ce goutteur présente l'avantage d'avoir un circuit où l'écoulement peut se faire dans un sens ou dans l'autre. Aussi les 2 extrémités peuvent être considérées comme les entrées de 2 goutteurs, de mêmes caractéristiques hydrauliques, mais dont le montage est différent (direct sur la rampe ou vissage au bout d'un tube conducteur).

#### Cependant 7 rapports présentent des systèmes nouveaux

- -La Chine décrit le système Yanshan, très bon marché, qui utilise des capillaires disposés radialement à partir des arbres en culture fruitière (la variation de longueur des capillaires permet d'avoir des débits précis et des rampes de grande longueur) et, en cultures maraichères ou même en grande culture (blé), des rampes déplaçables manuellement d'un interligne à un autre. Ces rampes sont branchées sur des sorties éloignées l'une de l'autre (la surface desservie par une rampe va de 0,24 à 0,36 ha). D'où une réduction très importante de l'investissement (600 dollars/ha), au prix d'une augmentation très importante du travail de la main d'oeuvre agricole.
- -Un inventeur israélien bien connu propose le système GDI, qui est un g à g à faible pression (3 à 7 m.C.E.) conçu pour être branché directement sur un canal. Les rampes, à paroi très mince, seraient frettées par le sol où elles sont enterrées de 5 à 10 cm. L'objectif est la reconversion en g à g des réseaux gravitaires (au prix d'une mise en conduite des canaux quaternaires).
- N.B.: Ce n'est qu'une idée, l'inventeur proposant la mise au point d'un système opérationnel avec tout organisme intéressé qui serait d'accord pour financer.
- -La Hongrie présente un système original mis au point à Szarvas, et qui combine irrigation souterraine et mini-aspersion, dans une proportion réglable. Il en résulterait une élévation possible de l'humidité atmosphérique à laquelle certaines cultures seraient sensibles.
- -Un chercheur polonais propose un système de rampes souterraines en PVC plastifié donc élastique (une variation de pression permet d'augmenter le diamètre des perforations pratiquées dans la paroi [Système voisin du système proposé par Tournon (Italie) en 1969].
- -Un chercheur est-allemand propose le système NBS Warnow 83 mis au point en collaboration avec l'URSS et la Hongrie.

C'est un système basse pression de gaines enterrées de faible épaisseur de parois qui sont frettées par le sol comme dans le système GDI, dont il se différencie par sa grande polyvalence (alimentation de raies, ou de tuyaux perforés aspersion, ou de rampes g à g enterrées).

-Un chercheur russe présente les goutteurs à pulsions (principe analogue aux asperseurs par pulsions synchrones) qui se contenteraient d'une filtration grossière. 2 installations expérimentales existeraient en RDA sur 4 ha de pommiers et sur légumes en serre.

Je reste sceptique tant que

- . Les installations seront soigneusement mises à l'écart des regards indiscrets (c'est ce qui m'est arrivé en URSS dans une mission de "coopération" bilatérale France-URSS qui devait porter sur les systèmes d'irrigation les plus récents).
- . Nous n'aurons pu faire en France sur ce matériel des essais sérieux, à la fois technologiques et agronomiques.
- Enfin un chercheur hongrois propose un système de rampes g à g enterrées placées au-dessus de "gouttières" en V servant de réserves et permettant de réduire les pertes dans le sol sableux. On peut, en faisant débiter les goutteurs dans les gouttières, supprimer les risques d'obstruction par pénétration des racines dans les goutteurs. A priori réservé aux sols sableux, à condition de vérifier que la mise en place des gouttières peut se faire aisément et dans de bonnes conditions.

Il semble, d'après une récente mission en Hongrie, que ce système ne soit pas encore appliqué sur le terrain.

# Analyse des communications présentées :

Fresno I.7: voir page 76

Fresno J.5.: voir page 26

Fresno O.4 Système g à g gravitaire (Gravity drip irrigation system) par Gidéon G. Gilead, Jérusalem, Israël.

L'auteur, inventeur israélien (notamment de la gaine Agrodrip) propose ce qu'il appelle le système GDI (sans doute "Gilead Drip Irrigation"), qui est un g à g faible pression, donc pouvant fonctionner avec la pression des réseaux de surface traditionnels, soit 3 à 7 m C.E. sur les distributeurs, avec des appareillages simples de filtration et d'injection d'engrais. Le filtre proposé est par exemple un simple sac logé dans un long tube rigide de fort diamètre, pour minimiser les pertes de charge. La régulation de pression se fait avec une simple vanne et contrôle par tube piézométrique.

Coût très faible (100 dollars/ha de matériel), d'une durée de vie de 3 à 5 ans: pour le filtre, la fertilisation (simple réservoir en surélévation) et le réseau de distribution, rampes comprises. Les distributeurs qui fonctionnent à très basse pression, peuvent avoir des débits faibles (12 l/h/m) et des sections de passage, en chicanes, assez importantes. La rampe elle-même est un film plastique mince (polymère très résistant) enterré de 5 à 10 cm. La pression donne à la gaine une forme ronde et le sol constitue un frettage de la paroi. Du fait de la grande sensibilité du débit aux différences de cote, même faibles, un régulateur de pression, sous forme d'une membrane souple, serait placé en tête de chaque rampe.

Ce procédé bon marché permettrait de moderniser l'irrigation de surface qui représente encore 90 à 55 % de la surface mondiale, et l'auteur propose de mettre au point son procédé avec toute institution ou autorité intéressée.

Fresno O.6 Le g à g. Ses progrès dans la dernière décennie (Drip irrigation, advances in the past decade) par S. Tobey et O.F. Kuhlman, Sté Salco, Californie, E.U.

Les auteurs, se plaçant en l'an 2005, supposent que le g à g aura vaincu ses faiblesses actuelles, que les tuyaux seront ultra-résistants à la pression, à la température, et aux

rongeurs, que les goutteurs seront parfaitement autorégulants et insensibles à l'obstruction, même enterrés, et que chacun d'eux disposera d'un dispositif de pilotage automatique en fonction des besoins de la plante qu'il dessert.

Faisant alors un retour en 1985 (mi-chemin entre le début du g à g en 1965 et l'an 2005) ils exposent les progrès accomplis en 20 ans avec les goutteurs, d'abord fixes, puis réglables manuellement, puis autorégulants et autopurgeurs.

En 1985, il existe quelques bons goutteurs autorégulants et autopurgeurs, qui peuvent cependant être améliorés. Mais il faut surtout améliorer les connaissances et le savoir-faire des personnes appelées à concevoir, réaliser, exploiter et entretenir les réseaux. C'est en particulier une fausse économie que de lésiner sur la qualité et le prix du goutteur qui est l'organe essentiel de la technique et les fabricants doivent contribuer à la formation des personnels chargés de l'installation et de la maintenance. Un grand progrès est également à faire en matière de pilotage automatique de l'irrigation.

N.D.T.: Ces conclusions sont logiques étant donné que les auteurs sont fabricants de goutteurs. Ils auraient cependant pu insister davantage sur les progrès à réaliser dans la fabrication des goutteurs, qu'ils ont tendance à trouver déjà parfaitement au point.

Fresno V.6 Le goutteur polyvalent Sully (Sully polyvalent drip emitter) par Friedrich Kulker, président de Kulker S.A., Sully-sur-Loire, France.

L'auteur, après avoir présenté les activités de sa société (goutteurs en ligne 2 et 4 l/h, rampes Ø 12,5 et 16 mm), définit les fonctions recherchées pour un goutteur latéral 2 ou 4 l/h:

- montage direct sur la rampe ou indirect par tube conducteur (sur rampe enterrée, ou pour conteneurs)
- . utilisation en autorégulant ou non
- . démontable pour les pays à main d'oeuvre bon marché, ce qui peut éviter une filtration poussée
- . excellente qualité pour permettre l'injection d'engrais ou de pesticides.

Il présente la solution : un goutteur formé de 3 parties dont 2 en PP\*, utilisable dans les 2 sens (tête de vipère d'un côté, embout fileté de l'autre). Outil spécial pour le démonter.

Chaque goutteur, lors de sa fabrication automatique, est testé au débit nominal. Sa faible taille, son faible poids (# 1 g), sa fabrication automatique, permettent d'en réduire le prix de revient et de le diffuser dans le monde entier grâce à sa polyvalence.

Fresno V.8 Tendances en matière de goutteurs autorégulants (Trends in the development of self compensating emitters) par Raphaël Mehoudar, Tel Aviv, Israël.

Après un rappel des avantages des goutteurs autorégulants, l'auteur signale un progrès dans le fonctionnement à faible pression qui permet des sections de passage plus importantes et des cheminements de faible longueur, et expose les principes mis en oeuvre dans les meilleurs appareils.

<sup>\*</sup> PP = Polypropylène (comme PE = Polyéthylène)

- -Dans les goutteurs autorégulants bon marché la section de passage est constituée par deux surfaces dont une seule (ou les deux) sont entaillées par une encoche, l'une ou l'autre étant en élastomère. La section soumise à la pression d'entrée se réduit au fur et à mesure que celle-ci s'élève. Pratiquement la section peut se réduire à 50 ou même 33 % de la section initiale sans pression. Les éléments physiques arrêtés par le rétrécissement sont purgés à la fin et au début de chaque arrosage.
- -Dans les goutteurs autorégulants de meilleure qualité, la section de passage, identique à celle d'un goutteur fixe (avec chicanes) se termine par une cellule spéciale où se fait la limitation du débit (une membrane souple, soumise à la pression d'entrée, vient fermer + l'orifice de sortie. Il en résulte une purge continue au cours de l'arrosage. La membrane est conçue pour que le débit du goutteur soit égal au débit nominal avec une pression d'entrée de 2 m environ. Quand la pression d'entrée s'élève, la membrane se rapproche de l'orifice et crée une contre pression. Si l'orifice de sortie tend à se boucher, le débit diminue, la perte de charge également, et la membrane se soulève, permettant une purge plus énergique. Le cheminement peut être plus court et/ou la section plus importante, et la régulation peut commencer à des pressions plus faibles.

Budapest 12: voir page 47

Budapest 26 Principe d'un nouveau système d'irrigation basse pression utilisable en micro-irrigation, à la raie, ou en irrigation souterraine (Lay outs of a new low power irrigation system available for micro, furrow or subsoil irrigation) par Olbertz, RDA.

Ce système appelé NBS Warnow 83 est le résultat d'une collaboration internationale entre l'Université Agricole Debrecen (Hongrie), l'Université Agricole Nitra (URSS) et l'Institut hongrois de recherche sur l'irrigation de Szarvas.

Particularités : gaine extensible frettée par le sol, nouveau type de vannes à membrane commandées à distance, pression 2 à 6 m dans les rampes. Le système totalement automatique est caractérisé par une dépense minimale en énergie, matériaux, main d'oeuvre et coût. Jusqu'ici 2 essais ont été réalisés, l'un à Szarvas (Hongrie) en 1983, l'autre à Elmenhors (RDA) en 1986. Le rapport décrit les nouveaux matériels utilisés, aspersion par tuyaux perforés en verger sous 2 à 3 m de charge posés en rigole, avec 2 à 4 perforations de diamètre 2 à 3 mm, par arbre), raie, si l'on alimente des rampes souples à orifices (type rampes à vannettes), enfin irrigation souterraine alimentant des rampes en PVC annelé perforé de faible diamètre, ou même tuyaux en béton (voir publication de Koenigen 1983 sur le pilotage de cette irrigation souterraine).

Budapest 31 Techniques d'irrigation localisée par pulsions (Techniques of impulse localized irrigation) par Sharko et al, VNPO Raduga\*, URSS

L'irrigation par pulsions, utilisée déjà en aspersion, notamment sur les plantations de thé de Géorgie, est applicable en irrigation localisée, dont elle est présentée comme une variante.

Son principe consiste en un apport d'eau continu (pendant la période de végétation) correspondant aux besoins moyens de la culture et une distribution discontinue dans le temps, localisée dans la zone racinaire.

<sup>\* &</sup>quot;Association fédérale de recherche (et de production pilote) pour la mécanisation de l'irrigation"

En pratique, le système comprend un réseau fixe de conduites enterrées munies de distributeurs spéciaux qui s'ouvrent tous ensemble sur un signal (baisse brutale de pression) émis par la station de tête. La section de passage du cheminement de ces distributeurs ne dépend pas de l'importance de l'apport d'eau, ce qui permet de la réaliser avec un calibre suffisant pour éviter les obstructions par les particules physiques subsistant dans l'eau après une filtration grossière.

On utilise ce système surtout pour les vergers, mais aussi pour les légumes en cultures protégées. Ses principaux avantages sont les suivants :

- . humidification simultanée et localisée du sol sur l'ensemble de la parcelle,
- . pas de filtration poussée,
- . bonne uniformité d'apport aux endroits choisis, et de plus la longueur de la rampe ne dépend pas de l'accidentation,
- commande centralisée de l'ensemble des goutteurs.

Dans les serres, on peut se servir du réseau pour chauffer le sol.

Par coopération entre Raduga (URSS) et le Service d'Ingéniérie et de mise en valeur du Ministère de l'Agriculture, de la Forêt, et des Industries agricoles de la RDA, les divers éléments du système ont été mis au point ; à savoir : un surpresseur, un filtre sommaire, un réseau de distribution portant des distributeurs à pulsions.

- Une installation expérimentale sur pommiers de 4 ha en 4,2 x 2,5 m a été réalisée en RDA par l'Entreprise du Peuple "Vernoilhen". Les distributeurs, distants de 7 à 8 m\* sur une rampe rigide Ø 16x20 mm, comportent une capacité remplie alternativement par de l'air ou de l'eau. Dans la phase de remplissage sous une pression de 4 bars, l'eau pénètre dans tous les distributeurs, et comprime l'air qui s'y trouve, le degré de remplissage en eau étant déterminé par le distributeur le plus mal placé. Dès que ce dernier est rempli, un générateur d'impulsions ferme la vanne principale et ouvre une vanne de décharge. Il en résulte une chute brutale de pression dans l'ensemble du réseau qui provoque l'ouverture des distributeurs. Quand le distributeur de commande est vide, le générateur d'impulsions remet le réseau sous pression et un nouveau cycle commence. Chaque distributeur émet 0,25 l par cycle de 5 minutes, ce qui apporte environ 72 l par arbre et par jour, pour 24 heures de fonctionnement. Ce maximum peut être réduit en limitant la durée de fonctionnement journalière.

Ce réseau expérimental a été mis en service en 1983 et 15 000 m³ d'effluent traité de façon biologique auraient été distribués. Les mesures faites auraient montré des écarts de débit de ± 4,8 % entre les distributeurs. On n'a pas constaté de dommages aux distributeurs, excepté ceux qui ont été occasionnés par l'évacuation des branches de taille.

- Cependant la technique en serre sur légumes serait la plus intéressante (économie d'engrais, meilleure maîtrise des facteurs de croissance). Depuis février 1985, une telle installation fonctionne dans une coopérative fruitière à Francfort sur Oder. Il y a chauffage du sol et fertigation. De nombreux autres exemples existeraient, mais la surface totale intéressée n'est pas donnée dans le rapport.

Les auteurs ont fait la comparaison suivante avec l'irrigation localisée classique

<sup>\*</sup> Cette distance paraît excessive pour permettre une alimentation correcte de tous les arbres de la plantation, et pourtant elle figure à 2 reprises (dans le rapport et sur la figure 1).

Facteurs	Irrigation localisée par pulsions	Irrigation localisée classique				
Disuniformité Economie d'engrais Obstruction	nulle	60 % 0 obligation de nettoyer 5 % des distributeurs tous les jours				
<ul><li>Fertigation précise</li><li>Maintenance (en serre)</li></ul>	possible 0,5 homme/ha	(non indiqué) 1,5 homme/ha				
. Automatisaiton	plus aisée et moins coûteuse	(non indiqué)				

N.D.T.: Cette comparaison relève de la plus haute fantaisie, puisqu'aucune indication technique n'est donnée sur les systèmes comparés. On peut penser que les auteurs ont comparé un excellent réseau réalisé selon leur système avec un très mauvais système d'irrigation localisée classique. Elle ressemble fort à un mauvais plaidoyer "pro domo", les auteurs n'ayant apparemment pas toute l'impartialité qui eût été indispensable pour une comparaison digne de ce nom. C'est bien dommage.

Budapest 34.: voir page 47

#### C.2. En matière de filtration

3 rapports ont été présentés, 1 à Fresno, 2 à Budapest.

#### Synthèse

- Un rapport d'un important constructeur américain (0.10) décrit 4 types de filtres à sable qui diffèrent par la plus ou moins bonne répartition des débits de contrelavage sur la totalité de la surface filtrante.
- Un rapport d'un chercheur tchécoslovaque (44) décrit les divers types de filtres dont les plus originaux sont des appareils où le média filtrant est constitué de plaques de polyuréthane de 100 mm d'épaisseur, ou encore de grains de polystyrène expansé où la filtration se ferait de bas en haut et le décolmatage de haut en bas, par dilatation des grains comprimés pendant la phase de filtration.
- Un rapport israélien (47) parle d'une technique permettant d'éviter l'obstruction des goutteurs autorégulants, mais sans donner aucun détail (il semble qu'il s'agisse d'un fractionnement très poussé de la dose, qui permet une purge quasi continue des impuretés qui s'accumulaient en amont de la partie rétrécie du cheminement).

#### Analyse des communications présentées

Fresno O.10 Filtration à grand débit pour 4 types de matériaux poreux (High rate media filtration performance with four underdrain types) par Kenneth P. Phillips, Directeur Général de la Sté Yardney Corporation, E.U.

L'auteur décrit les 4 systèmes de collecte d'eau filtrée existant dans les filtres à sable.

Budapest 44 Appareils de traitement de l'eau en micro-irrigation (en français) par Salek, Brno, Tchécoslovaquie.

Ce rapport décrit essentiellement des filtres. Les plus originaux sont des filtres en profondeur utilisant des plaques de polyuréthane de 100 mm d'épaisseur et 1 m de diamètre, ou des filtres à sable remplis de grains de polystyrène expansé où la filtration se fait de bas en haut.

Budapest 47.: voir page 65

# C.3. Innovations en matière d'automatisation

5 rapports ont été présentés, 3 à Fresno, 2 à Budapest.

#### Synthèse

- En Nouvelle Zélande (E.4), les réseaux de micro-irrigation sont très modernes et permettent, grâce à l'automatisation, de fractionner les arrosages de jour pour les cultures, comme le kiwi, qui sont très sensibles au stress hydrique, les brise-vent étant arrosés la nuit. De plus des régulateurs de pression permettent de maintenir sur chaque poste une pression constante, que le filtre soit ou non encrassé. Enfin la fertigation est largement utilisée.
- En Floride (J.7), la CAO et la GAO (conception et gestion assistées par ordinateurs) sont utilisées de plus en plus grâce à des progiciels spéciaux.
- Un autre rapport des mêmes auteurs estime cependant qu'au lieu de programmateurs d'arrosage complexes et coûteux, les usagers ont souvent intérêt à utiliser de simples minuteurs ménagers à une seule voie, dont la fiabilité est supérieure.
- Un chercheur bulgare (28) propose une télécommande à 2 fils, avec codage et décodage, procédé largement connu et utilisé en Israël et en France (surtout en quadrillage canons, mais aussi en micro-irrigation).
- Enfin un rapport israélien (37) décrit les stades successifs de l'automatisation en irrigation (commande des arrosages et nettoyage des filtres). Le stade le plus élevé consiste à harmoniser, à l'aide d'un ordinateur, les demandes faites par les agriculteurs de façon à obtenir une meilleure utilisation de l'eau et de l'énergie pour l'ensemble d'un réseau ou d'une région (un système analogue existe aussi en France, à St Martin d'Auxigny).

#### Analyse des communications présentées

Fresno E.4: voir page 120

Fresno J.7 C A O et G A O en DT (Conception et gestion assistées par ordinateur) (Micro computer aided design and management of trickle irrigation systems) par F.S. Zazueta, A.G. Smajtrla et D.S. Harrison, Université d'Etat de Gainesville, Floride, E.U.

Dans les 3 stades de l'irrigation (conception, exécution, gestion), la conception et la gestion exigent des calculs nombreux et fastidieux que l'ordinateur peut réaliser, à partir des données de terrain.

La conception comprend l'estimation des besoins de pointe, puis le calcul du réseau (postes, conduites, groupes de pompage).

- La gestion comprend la maintenance (vérification du CU et traitement par eau de javel) et la commande des arrosages.

Les auteurs indiquent l'équipement informatique nécessaire, puis décrivent les diverses parties du progiciel qui est dans le domaine public et peut être obtenu auprès de l'Université de Floride.

Fresno L.2 Commande des réseaux DT par micro-ordinateur (Micro-computer control of trickle irrigation systems) par F.S. Zazueta, A.G. Smajstrla et D.S. Harrison, Université de Floride, Gainesville, Floride, E.U.

Après un essai réalisé avec un utilisateur, les auteurs estiment que l'utilisation de simples programmateurs ménagers offre plus d'avantages que les programmateurs d'arrosage, coûtent moins cher et ont plus de souplesse (modification aisée des opérations programmées). On peut les commander en manuel, programmer les temps d'arrosage, ou les piloter par des tensiomètres.

Budapest 28 L'automatisation des systèmes de micro-irrigation (en français) par Popov et al. Sofia, Bulgarie.

Système proposé et essayé en laboratoire, utilisant, pour la commande à distance, des vannes, des câbles à 2 fils avec codage et décodage. Les auteurs proposent aussi une installation à 2 filtres symétriques dont un seul fonctionne mais un détecteur de perte de charge permet de passer automatiquement sur le filtre resté en réserve.

N.D.T.: Le système de transmission de signaux avec codage et décodage n'est pas une nouveauté sur le plan mondial.

Budapest 37 Automatisation de la micro-irrigation en Israël (Automatic operation of micro-irrigation in Israël) par Lavi, Commission de l'eau, Tel Aviv, Israël.

L'auteur donne les chiffres suivants des surfaces micro-irriguées par nature de culture en différenciant le goutte à goutte et la minidiffusion (ou mini-aspersion).

			m	ini-		Total	Tot	al
Cultures	gà	g	aspe	rsion	micr	o-irrigué	cul	ture
Agrumes	20	%	80	%	30	000	40	000
Vigne	100	%	0	%	4	900	5	250
Fruits à feuilles caduques	82	%	18	%	11	000	11	000
Fruits sub-tropicaux	18	%	82	%	11	000	12	000
Autres fruits	50	%	50	%	2	000	4	000
Bananiers	100	%	0	%	1	900	2.	110
Coton	100	%	0	%	26	600	65	000
Maîs	100	%	0	%	8	000	10	000
Légumes	100	%	0	%	23	000	35	000
Fleurs	66	%	34	%		120		120
Divers							23	000
	TC	XUAT			118 5	20	207	980
	dont		82 4					
	dont			36 0	41 en m	ini-asp	ersion	

L'auteur distingue en automatisation 7 stades successifs :

- . Vannes volumétriques
- . Commutation semi-automatique volumétrique
- . Fertigation, nécessaire du fait de la localisation des arrosages à une fraction de la surface du sol
- . Programmation électronique
- . Commande hydraulique manuelle à distance des postes à partir de la station de tête (cas du coton)
- Nettoyage automatique des filtres (cas du coton irrigué à partir de retenues d'eaux de surface), déclenché par pression différentielle entre l'entrée et la sortie
- Irrigation entièrement automatisée avec déclenchement par électrotensiomètres, protection contre les sur ou sous débits qui indiquent soit une casse, soit une obstruction.

Il y a aussi asservissement des aspersions à des manomètres, ou à des thermomètres (bassinage ou aspersion antigel). En plus existent des équipements commandés par des ordinateurs, ce qui permet de coordonner les arrosages de centaines d'installations individuelles, en fonction des besoins locaux et des ressources en eau disponibles de la région.

#### D. METHODES DE CALCUL DES RESEAUX

#### Synthèse

- 12 rapports, 9 présentés à Fresno, 3 à Budapest.
- La majorité des rapports sont américains (7 sur 12).
  - L'un traite le problème de façon très générale, en définissant la stratégie à adopter : d'abord bien définir l'objectif, puis réaliser une étude complète et précise. Il passe en revue les divers stades, y compris la maintenance du réseau et met l'accent sur les points essentiels dont le concepteur, s'il est consciencieux, doit tenir compte.

- . Un autre indique de façon un peu plus précise la façon logique de calculer un projet optimal. Déterminer d'abord un APS\* par des calculs approchés, puis un APD\* par un calcul précis en CAO avec dessin du réseau et métré (ou même devis) du matériel. Enfin détermination de la sensibilité de la solution aux divers facteurs qui peuvent intervenir.
- Un troisième estime les besoins de pointe, puis calcule le réseau au moyen de divers progiciels. Il en existe 2 versions, présentée l'une à Fresno (J.7.), l'autre à Budapest (33).
- . Un rapport californien explique la façon dont il conçoit l'irrigation d'un vignoble en côteau.
- . Un chercheur du Michigan expose une nouvelle méthode de calcul basée sur la méthode des éléments finis (logiciel écrit en Turbo-Pascal).
- D'autres chercheurs, du Kentucky, ont écrit en basic un logiciel interactif et itératif, utilisable par un agriculteur n'ayant que très peu de connaissances en hydraulique et en informatique.
- Un rapport australien explique comment utiliser la vieille méthode Polyplot (présentée en 1974 au Congrès précédent de San Diégo), en visualisant diverses solutions possibles.
- Un rapport espagnol expose une technique de calcul des rampes télescopiques (sujet déjà traité depuis longtemps par le chercheur Hawaren I Par Wu).
- Un rapport hongrois présente une série de progiciels qui facilitent les étapes successives du calcul, qui va jusqu'au dimensionnement de chaque distributeur (ajutage Bas-Rhône ou capillaire hélicoïdal type Tricklon).
- Un chercheur tchécoslovaque décrit une méthode de calcul stochastique, très différente des méthodes existantes, qui sont de type déterministe, mais il ne semble pas qu'il en résulte un progrès décisif.
- Enfin un rapport belge présente CALDRIP, progiciel interactif, qui paraît voisin du progiciel français PB 2DIAM, mis au point par le CEMAGREF en 1982.

# Analyse des communications présentées

Fresno B.4 Conception de la mission du chargé d'études (Design philosophy) par S. Tobey, président de la Société Salco Products, E.U.

L'étude et la réalisation d'un projet d'irrigation g à g peuvent être conduites très rapidement avec les moyens actuels (moins de 6 mois entre le début de l'étude et la mise en service du réseau). Mais il est important de bien définir l'objectif et de faire une étude complète et précise.

L'auteur passe en revue les divers stades du projet qui va jusqu'à définir les mesures à prendre pour sa maintenance. Il rappelle tous les points auxquels doit veiller le chargé d'études :

- -coût total (réalisation + maintenance) réduit
- -efficacité et fiabilité, constitution des moyens logistiques (manuel d'entretien, stock de pièces détachées)

<sup>\*</sup> APS = Avant Projet Sommaire APD = Avant projet détaillé

- -facilité d'entretien et de maintenance, protection des parties vulnérables (vandalisme, accidents, animaux), sécurité, compatibilité (des raccords avec les tuyaux par exemple)
- -souplesse, en cas de changement (de culture, d'extension, etc...).

Fresno B.5 Optimisation d'un projet par comparaison coût-bénéfice (Optimized drip irrigation design : costs and benefits) par Peter F. Moliterno et Bryan T. Foley, ingénieurs de bureaux d'étude en Virginie et Californie, E.U.

Par CAO, on détermine au préalable un avant-projet optimal en comparant de nombreuses variantes avec des calculs approchés. Puis on calcule en détail le projet compte tenu des diamètres commerciaux des tuyaux disponibles. Le micro- ordinateur (64 K octets) sort le dessin du réseau ainsi que le métré du matériel nécessaire. On teste enfin la sensibilité de la solution aux divers facteurs.

Avantages : rapidité, économie et surtout élimination des erreurs.

Fresno J.3 Calcul de rampes télescopiques à 2 diamètres (Lengths of sections in lateral lines of two diameters) par J.L. de Paco, Iryda, Espagne.

L'auteur expose une méthode de calcul des rampes télescopiques prenant en compte les pertes de charge réparties et localisées calculées en longueurs équivalentes de rampe. La méthode consiste à déterminer un diamètre théorique D et à calculer ensuite les longueurs L1 et L2 des diamètres du commerce D1 et D2 qui encadrent D.

Fresno J.4 Réalisation d'un réseau d'irrigation en côteau (Developing a hillside irrigation system) par Stephen J. Soper. Californie, E.U.

L'auteur examine le cas d'un vignoble de table sur côteau en Californie (comtés de Napa et Sonoma) que l'on veut irriguer. Les besoins minimaux sont de 945 l/cep/saison soit 37,85 l/cep/semaine pour une vigne de 6 ans ou plus. Il estime capital le choix du point d'eau (puits ou réserve), puis la conception du pompage (pompe immergée pour des refoulements importants, jusqu'à 22 bars), puis le mode de filtration indiqué par l'analyse de l'eau (filtre à sable automatique dans le cas d'une réserve à l'air libre, qui séra traitée au SO4 Cu selon les règles précises du Service de Mise en Valeur pour ne pas nuire aux poissons. Un compteur d'eau permettra de remédier rapidement aux excès ou insuffisances des apports, des sécurités seront mises sur l'installation électrique, notamment une électrode de niveau bas dans le puits.

Pour le réseau lui-même, l'auteur conseille d'évaluer la RFU par cep, en fonction du sol et du cépage, afin de déterminer la fréquence des arrosages et le diamètre des conduites. Il recommande le pilotage par tensiomètres (démarrage à 40 cbar, arrêt à 10 cbar) pour éviter la saturation du sol. En côteau, il préconise des régulateurs de pression plutôt que des réductions de diamètre qui empêchent d'avoir un débit de purge suffisant.

Pour les goutteurs : ne pas dépasser un  $\Delta$  q/q de  $\pm$  10 % à la parcelle. Utiliser plutôt 2 goutteurs de 2 l/h par cep (1 de chaque côté,  $\overline{l}$ 'un en amont, l'autre en aval), pour augmenter la proportion de sol humidifié et supprimer le ruissellement que l'on peut avoir avec un goutteur de 4 l/h.

L'installation est à faire au printemps ou en été, pas en automne car les façons culturales permettront de tasser le sol qui deviendra moins érodable aux pluies d'hiver. Les rampes sont à attacher sur le palissage un peu au dessus du sol afin de faciliter le contrôle visuel du fonctionnement des goutteurs.

En annexe figurent 3 croquis de schémas de pompage sur réserve dont 2 avec groupes immergés.

Fresno J.6 Calcul des groupes de rampes par ordinateur (Dimensioning trickle lateral groups by computers) par J. Balogh, A. Biro et B. Gauser, de Vituki (Centre de recherche pour l'utilisation des eaux), Budapest, Hongrie.

Les progiciels permettent le calcul:

- -de la position exacte de chaque prise sur le porte-rampes
- -du nombre de rampes en amont et en aval de la prise
- -de la pression nécessaire à la prise
- -du dimensionnement de chaque distributeur (ajutages Bas-Rhône ou capillaires en ressorts à boudin (type Tricklon) de chaque rampe du groupe).

En annexe figure le diagramme du logiciel qui permet le découpage du porte-rampes en tronçons et le dimensionnement des distributeurs.

Fresno J.7.: voir page 131

Fresno J.8 Logiciel interactif en DT destiné à l'utilisateur (A user friendly interactive trickle irrigation design model) par M. Meshkat et R.C. Warner, Université du Kentucky, E.U.

Les auteurs ont mis au point en Basic (IBM.PC) un logiciel de calcul de réseau utilisable par quelqu'un qui n'a qu'une connaissance réduite de l'hydraulique et de l'informatique. La forme interactive et itérative permet de progresser pas à pas vers la solution tenant le mieux compte des contraintes particulières (sol, culture, topographie, etc...) d'une parcelle donnée. Le logiciel comprend 3 parties :

- -Conception de l'ensemble Plante-Eau-Distributeur. Le programme calcule d'abord la consommation en mm/j (fonction de ET et du % de couverture du sol) la hauteur d'eau nette puis brute à apporter par arrosage, le temps d'arrosage, puis indique les problèmes non résolus et les façons de les résoudre.
- -Calcul de chaque sous-poste (topographie quelconque, rampes de différentes longueurs, comprenant plusieurs diamètres, tolérance de débit quelconque). Ce calcul tient compte de la perte de charge due à l'insertion de chaque goutteur (exprimée en longueur équivalente de rampe en fonction du débit) et la répartition des pressions est calculée à partir de l'amont, avec un espacement de goutteurs constant ou non (goutteurs groupés autour des arbres).
- -Calcul du réseau d'alimentation des sous-postes. Un exemple simple de calcul est présenté.

Fresno J.9 CAO des sous-postes en DT (Micro computer aided design of DT irrigation submain units) par V.F. Bralts, L.J. Segerling, et M.A. Driscoll. Université d'Etat de East Lansing, Michigan, E.U.

Les auteurs présentent un logiciel interactif en Turbo-Pascal version 2, baptisé "Designer", basé sur la méthode des éléments finis (applicable aux équations non linéaires comme celles de l'hydraulique). La solution consiste en une matrice symétrique qui ne demande qu'un minimum d'espace mémoire. Appliquée à l'analyse de grands réseaux g à g, la méthode s'est avérée rapide, efficace et précise.

Cette étude fait partie du projet de recherche régionale du Sud, S 143 (micro-irrigation en régions humides).

Les auteurs signalent que le temps de calcul, qui dépend du nombre d'itérations nécessaire, est un inconvénient mais pourrait être fortement réduit par la simplification du réseau en "super-noeuds" représentant chacun plusieurs distributeurs. On aurait alors rapidement une solution approchée. La solution définitive serait alors obtenue avec une seule itération du réseau super noeuds et une seule itération du réseau réel. Le CV puis le CU sont calculés, en supposant les distributeurs identiques, puis en tenant compte du CV fabrication.

La méthode peut utiliser de nombreux logiciels existants de calcul par éléments finis et ne nécessite que des ordinateurs peu puissants.

Fresno V.1 Utilisation de la méthode Polyplot par S.D. English, Firme James Hardie, Torrensville, Australie.

L'auteur se borne à décrire 2 des 6 applications décrites dans le manuel "Polyplot". C'est une méthode graphique qui permet de visualiser plusieurs solutions, et de choisir la meilleure (précision et économie). Il est plus précis que le Polyplot condensé en une page par Joblin. Il constitue la base de certains logiciels d'aide à la décision.

Budapest 22 Caldrip progiciel de calcul d'un réseau g à g (A software package for drip design) par Feyen et al, Belgique.

Programme très simple, interactif, permettant au concepteur d'évaluer rapidement diverses options. Les sous-programmes étudient chacun une phase particulière du projet. A la fin, le réseau est tracé et le devis est tapé à la machine...

N.D.T.: Ce programme paraît très voisin de PB2DIAM, mis au point par la division Irrigation du CEMAGREF, groupement d'Aix-en-Provence (France).

Budapest 30 Principes de calcul de la rampe en g à g et en micro-aspersion (en français) par Salek et al, Brno, Yougoslavie.

Les auteurs estiment que les goutteurs disponibles ont une grande variabilité hydraulique (sans toutefois préciser le CV trouvé), ce qui rend peu précis le calcul déterministe de la rampe, d'autant qu'il existe d'autres sources d'imprécisions (telles que la pression en tête, le diamètre intérieur de la rampe). Aussi ont-ils mis au point un mode de calcul probabiliste (stochastique), chaque valeur étant représentée par sa moyenne et son écart-type. Le calcul est conduit tronçon par tronçon de rampe, et en vue de respecter une tolérance fixée.

En pratique ils utilisent :

- -un sous-programme déterministe (OPTA)
- -un sous programme (DROP) qui considère que les pressions et les diamètres obtenus par OPTA ne sont que des moyennes.
- -un sous programme (MONCA) probabiliste qui utilise la méthode Monte Carlo, en générant des séries aléatoires pour la pression d'entrée, les diamètres intérieurs de la rampe et les débits des goutteurs. En étudiant les résultats obtenus, on détermine le degré de précision du projet (rapport du nombre des cas où la

tolérance requise n'est pas atteinte au nombre total de cas générés). Si le degré de précision n'est pas suffisant, on reprend toute la chaîne des calculs en modifiant les paramètres d'entrée du sous-programme OPTA, et ceci jusqu'à l'obtention d'une solution satisfaisante.

N.D.T.: Les auteurs estiment que l'étude est plus complexe, mais permet d'éviter les sous-dimensionnements de certaines parties critiques des projets calculés de façon entièrement déterministe. Cette méthode conduit évidemment à augmenter la précision que l'on se fixe par la méthode classique de calcul, et il me semble qu'en pratique, compte tenu du CV des divers éléments qui interviennent, un résultat sensiblement analogue devrait être obtenu en resserrant les tolérances d'un calcul déterministe classique.

Leur démarche a été induite apparemment par le manque de précision technologique des constituants de réseaux de micro-irrigation qui étaient à leur disposition. Ils ne donnent malheureusement pas de précisions sur le degré d'imprécision de ces constituants (tuyaux et goutteurs en particulier), car la variation de pression en tête semble pouvoir être supprimée par l'utilisation d'un bon régulateur de pression.

Budapest 33.CAO en micro-irrigation (Computer aided micro-irrigation) par Zazueta et al, Université de Gainsville, Floride, E.U.

Article très clair des mêmes auteurs que Fresno J.7., mais présenté de manière différente, avec des précisions intéressantes.

Il décrit divers progiciels de type conversationnel réalisés pour le calcul et la représentation graphique de réseaux de micro-irrigation, en terrain absolument quelconque sur le plan relief et géométrie des parcelles, pour le calcul des pompes, enfin pour l'exploitation et la maintenance des installations.

Les programmes de maintenance utilisent un "système expert" pour déceler et traiter les problèmes de traitement en cas de risques d'obstruction (utilisation des travaux de Ford sur les obstructions par Fe et SH2) ou d'entartrage par dépôt de calcaire (injection d'acide à un taux permettant d'éviter la décomposition des bicarbonates sans toutefois acidifier le sol, enfin pour maintenir automatiquement le CU de la répartition de l'eau. En outre, des programmes permettent d'évaluer les ETP journalières et mensuelles, ainsi que la pluie efficace.

L'ensemble piloté par un automate programmable conçu spécialement pour être d'un prix de revient peu élevé, a été fait non pas pour remplacer l'ingénieur ou le praticien expérimenté, mais pour aider ces derniers dans le traitement des données et la prise de décisions.

Tout le software a été conçu pour l'IBM PC (bien que des versions provisoires existent en MS/DOS et CP/M).

Les possibilités offertes sont illustrées par des exemples de tableaux d'écrans donnant la réponse finale de l'ordinateur à divers problèmes concrets.



# UTILISATION DES MATERIELS ET DES RESEAUX



A. Pilotage de l'irrigation	140
A1 - Pilotage par tensiomètres	140
A2 - Pilotage par d'autres méthodes	144
B. Fertigation - Chimigation	147
C. Maintenance - Contrôle visuel	153
D. Evaluation des réseaux	155

#### A. PILOTAGE DE L'IRRIGATION

On utilise pour piloter l'irrigation (ou conduire les arrosages) non seulement le classique bilan hydrique mais aussi divers appareils qui font appel à divers paramètres de stress hydrique. Ceux qui actuellement sont le plus en vogue sont les tensiomètres, qui sont censés mesurer la force de succion que les racines doivent développer pour extraire l'eau dans un sol qui s'assèche.

Mais d'autres techniques sont également proposées.

# A.1. Pilotage par tensiomètres

9 rapports ont été présentés à ce sujet, 8 à Fresno, 1 à Budapest.

# Synthèse

Le tensiomètre est un appareil théoriquement très simple, et pas très cher. Il a cependant 3 inconvénients majeurs.

- Son utilisation est limitée par principe à des succions inférieures à la pression atmosphérique (soit environ 1 bar ou 10 m de charge d'eau), alors que les plantes peuvent encore extraire de l'eau d'un sol bien au delà (16 bars en théorie, mais bien au delà en pratique).
- Il ne donne que des mesures très ponctuelles. Où doit-on donc le placer, surtout quand les apports sont localisés ? A quelle distance de la source d'eau et à quelle profondeur ? En pratique on doit en placer plusieurs, à divers emplacements utilisables successivement au fur et à mesure du développement du système racinaire (cas des cultures annuelles) ou de l'intensité et de la durée de la sécheresse. Ceci sans tenir compte des hétérogénéités du sol, ni des défaillances possibles d'un appareil donné, qui conduisent à multiplier les mesures.
- Enfin l'interprétation des mesures n'est pas toujours facile et même la mise en oeuvre correcte demande une certaine expérience et beaucoup de minutie.

Malgré ces inconvénients, on constate que son emploi se développe parmi les agriculteurs de pointe, en général plus pour contrôler l'humidité du sol qui résulte d'une autre technique de pilotage que pour un déclenchement direct et automatique des arrosages. Il reste malgré tout surtout utilisé par les chercheurs, dans toute expérimentation sérieuse.

Voyons les rapports qui parlent des tensiomètres

- 2 rapports californiens, très généraux, tous deux émanant de la Société Irrometer, le plus grand fabricant de tensiomètres "in the world", donnent de nombreux conseils pratiques d'utilisation.
- Utilisation en zone aride ou semi aride
  - Un rapport israélien très intéressant car il cherche à vérifier la théorie nouvelle suivant laquelle des bulbes, donc des systèmes racinaires, petits sont plus efficaces. L'essai de 1980 sur lequel est basée cette théorie n'a pas été confirmé, mais l'affaire est à suivre pour d'autres expérimentations.
  - 2 rapports portoricains relatent diverses expérimentations faites à Porto-Rico pour tenter de réduire les consommations en eau sur cultures maraichères.
  - . 2 rapports californiens. L'un traite de pilotage par tensiomètres au Koweit, l'autre les recommande pour l'irrigation d'un vignoble de côteau
- Utilisation en zone "humide" (avec irrigation de complément)
  - . Un rapport belge expose qu'il a utilisé un modèle de bilan hydrique pour optimiser, cas par cas, les conditions du pilotage automatique par tensiomètre. Il a trouvé que le niveau de déclenchement en cbar du tensiomètre pilote dépendait surtout de la profondeur d'installation de la bougie poreuse, également du niveau d'ET, enfin de la présence éventuelle d'une nappe.
  - . Un rapport néo-zélandais signale que l'utilisation des tensiomètres (à 2 niveaux ou plus) se répand dans la pratique, non pour le pilotage lui-même mais à titre de contrôle. Par contre on arrête automatiquement l'irrigation par un tensiomètre profond quand une pluie importante survient au cours d'un arrosage. Le tensiomètre joue donc aussi un rôle d'alarme et de sécurité, dans ce pays où, vu l'intensité de l'agriculture, on doit à la fois drainer et irriguer, pour avoir la maîtrise totale du facteur eau.

# Analyse des communications présentées

Fresno E.4: voir page 120

Fresno E.5: voir page 91

Fresno I.10 Fertigation et fertilisation N en g à g sur poivrons et aubergines (Nitrogen fertigation in drip irrigated peppers, tomatoes and eggplants) par M.R. Goyal , L.E. Rivera et C.L. Santiago, Porto-Rico, E.U.

Ici la fertigation, c'est un apport par le réseau g à g avec des doses égales sur 11 semaines. Et la fertilisation, c'est un apport classique au sol (moitié au repiquage, moitié à la première cueille), avec localisation sur le rang.

Conduit en zone semi-aride avec un pilotage par tensiomètres à 12 cm de profondeur, tension 15-45 cbar, l'essai comportait 3 niveaux de fertigation N (30, 60 et 100 %) et une comparaison entre la fertilisation 100 % et le témoin sans engrais. 4 répétitions.

Les résultats ne sont pas exposés clairement. Cependant il semble que la fertigation ait donné des rendements d'autant plus élevés que le niveau d'apport était plus élevé. La fertigation 30 % a toujours donné des résultats supérieurs à la fertilisation 100 %, et ceci pour toutes les espèces.

En plus une subdivision de l'essai aubergine a montré que le rendement total était inversement proportionnel à l'espacement des plants sur le rang (0,3 m > 0,45 m > 0,60 m), mais avec seulement moins de 20 % de différence entre les extrêmes, qu'il y ait un ou deux rangs par rampe.

La fertigation, en cultures maraîchères, est beaucoup plus efficace que la fertilisation classique puisque, pour un élément aussi mobile que N, le tiers de la dose apporté avec l'eau en localisation donne des résultats supérieurs à leur apport au sol, localisé également, mais bien moins fréquent.

Fresno J.4.: voir page 134

Fresno M.7 Pilotage du g à g sur cultures maraichères (Trickle irrigation scheduling of vegetables) par M.A. Goyal et L.E. Rivera, Université de Porto Rico. E.U.

L'eau est devenue une ressource rare à Porto Rico (surexploitation de la nappe et salinisation progressive) d'où l'intérêt de mieux piloter les arrosages. Les auteurs rapportent le résultat d'essais pilotés par des tensiomètres sur concombre, haricot vert, poivron, chou, pastèque, tomate et oignon, les cultures étant protégées ou non par des mulchs plastiques, avec 3 régimes d'irrigation plus ou moins abondants.

Des résultats donnés, il est difficile de se faire une idée bien nette : le mulch n'a pas toujours une influence aussi importante qu'on pourrait le croire, et, suivant la culture, le traitement optimal varie.

Fresno S.1 Gestion de l'eau du sol par tensiomètres (Tensiometric management of soil water) par W.R. Pogue et S.G. Pooley, Irrometer Company, Riverside, Californie, E.U.

En prenant comme exemples des parcelles d'avocatiers, d'agrumes, de coton et de vigne à vin de qualité, les auteurs estiment que les tensiomètres constituent un outil précis et fiable pour juger de la fréquence et des doses d'arrosage à condition :

- . De les mettre au bon endroit
- . D'adopter une fréquence de lecture suffisante

<u>ler point</u>: Les bougies poreuses doivent être dans un sol où les racines sont actives soit:

- .en horizontal: 30 à 45 cm d'un goutteur ou 60 à 90 cm d'un minidiffuseur,
- en vertical: 30 et 60 cm, 90 cm si les racines vont plus profond, et plus bas encore pour vérifier le lessivage des sels.

<u>2ème point</u>: Avant ou pendant les périodes critiques du cycle végétatif ou les périodes de pointe des besoins, il faut relever les mesures 2 à 3 fois par semaine.

Fresno S.3. Déclenchement des arrosages par tensiomètres reliés à un micro-ordinateur (Irrigation timing through microcomputer controlled tensiometers) par J. Feyen, D. Crabbé, N. Kihupi et P. Michels, Université Catholique de Louvain, Belgique.

Le tensiomètre, appareil simple et peu onéreux d'estimation de l'humidité du sol, est devenu plus aisément utilisable grâce à l'adjonction d'un micro-ordinateur et d'un transmetteur de pression, qui élimine ses principaux défauts (gamme de pressions limitée, lectures directes sur place, maintenance). On peut aussi faire en permanence des mesures à distance en divers points et en faire une moyenne qui servira à piloter l'irrigation d'une parcelle.

Il reste à déterminer, en fonction des conditions particulières, la profondeur à laquelle doit être installée la bougie poreuse du tensiomètre, ainsi que la tension à laquelle il convient de déclencher un arrosage.

Pour cela, les auteurs se sont servis d'un modèle permettant de réaliser en permanence le bilan hydrique d'une culture et de déterminer les courbes de tensions critiques, à chaque profondeur, en fonction des caractéristiques du sol et de la culture, ainsi que de la valeur de l'ETP. Les paramètres du modèle sont à déduire d'expérimentations pour chaque culture considérée.

Une vérification du modèle a été faite dans un cas particulier (tomate en serre en Belgique), en supposant l'irrigation déclenchée lorsque le débit total extrait du sol descendait à moins de 95 % de ETP, (variable de 1 à 7 mm/jour) et en calculant, pour le sol considéré, les tensions correspondant à 2 profondeurs : 15 et 45 cm. La simulation a montré que 45 cm était préférable en hiver (ETP 

3 mm/j) car dans les couches supérieures, la tension était trop forte pour être mesurable par un tensiomètre, et 15 cm en été où les ETP plus fortes entrainent des tensions critiques plus faibles notamment dans les horizons proches de la surface.

En conclusion, les auteurs estiment que la modélisation du bilan hydrique peut permettre d'optimiser les conditions de pilotage par tensiomètres. Le cas étudié a montré que les niveaux de déclenchement dépendaient surtout de la profondeur d'installation du tensiomètre, de la demande climatique (ETP) et de la présence éventuelle d'une nappe.

Fresno S.4: voir page 64

Budapest 29. Pilotage de l'irrigation par tensiomètres (Irrigation scheduling. Tensiometric management of soil water) par Rossiter, Directeur du CISCO AG, Esslingen Suisse, et Pogue, Président de la Compagnie Irrometer, Californie, USA.

Plaidoyer "pro domo" pour le tensiomètre qui serait la technique de pilotage la plus fiable depuis 30 ans.

- Expérimentation de Richards et Marsh en 1961 sur avocatier, avec tensiomètres à 2 niveaux haut (- 30 cm) et bas (- 60 cm). Le tensiomètre haut déclenche une durée fixe d'arrosage (4 heures d'aspersion) et le tensiomètre bas double la dose;
- Plantation de 600 ha d'agrumes: en 1965 comparaison entre les parcelles pilotées par tensiomètres et les parcelles pilotées selon un calendrier prévisionnel de 2 300 mm au lieu de 3 750 pour une ET de l 440 à 1 690 mm. D'où une conversion de l'ensemble des agrumes en goutte à goutte. Un tensiomètre tous les 1 à 2 ha, avec une lecture au moins par semaine. On maintient les tensions en dessous de 20 cbar en période critique et en dessous de 35 à 40 cbar en période moins critique. La consommation est descendue aux environs de la valeur réelle de l'ET.

- D'autres essais sur coton et vignobles de cuve (tensiomètres à -30 -60 et -90 cm, avec contrôle à -120 -180 et -240 cm) ont montré tout l'intérêt
- de remplir le réservoir sol, avant le début de la campagne d'irrigation, le réseau goutte à goutte étant insuffisant pour satisfaire les besoins en cas de non remplissage (33,4 qx de raisin contre 80,64 qx).
- de placer les tensiomètres au bon endroit, c'est à dire dans la partie active de la zone racinaire, en général à une distance de 25 à 45 cm d'un goutteur suivant le type de sol. Pour la profondeur, 30 et 60 cm sont les plus efficaces, 90 cm peut être utile dans le cas d'enracinement profond, éventuellement plus bas à titre de contrôle des réserves profondes au cours des années critiques.
- de faire des lectures fréquentes : 2 à 3 fois par semaine.

Les progrès futurs consistent en la transmission des lectures à distance à un ordinateur de commande des arrosages, afin d'optimiser les résultats attendus de la micro-irrigation.

# A.2. Pilotage par d'autres méthodes.

6 rapports ont été présentés à Fresno sur ce sujet.

## Synthèse

- Tout d'abord une méthode utilisable seulement en recherche.

Une grande expérimentation sur la tomate à conserve a été conduite à Fresno en pilotant à partir de mesures, faites sur lysimètre pesable, de la consommation réelle (ETR) de la culture.

- Ensuite la méthode classique (Kc ETP-P), dite du bilan hydrique
  - . Elle est très utilisée en Nouvelle Zélande où elle a été très affinée, les Kc étant définis de façon très précise pour chaque culture, chaque région et évidemment chaque période du cycle végétatif.
  - Elle l'est également aux E.U., où un chercheur de Floride a mis au point, parmi divers progiciels, un progiciel spécial pour la conduite des arrosages
  - . Un autre rapport américain, californien cette fois, décrit un système collectif d'avertissement-irrigation, basé sur le bilan hydrique, mais avec des mesures de contrôle (tensiomètres, sondes à neutrons) à la parcelle. Ce système vise aussi une planification optimale de la distribution de l'eau aux usagers, qui tiendrait compte, en plus, des contraintes de ces derniers en matière de façons culturales et de maintenance de leurs réseaux individuels.
- Une technique particulière est présentée par un chercheur de l'Arizona qui utilise, comme indice de stress hydrique, ce qu'il appelle le "phytogram index", et qui est l'augmentation moyenne, au cours de la journée, du potentiel électrique de base (mesuré entre 5 et 6 h du matin) entre la plante et le sol.

On doit irriguer en principe quand la valeur de l'indice tombe en dessous de 10 mV, mais, pour certaines plantes comme le coton, une variation en dents de scie serait préférable à une valeur constamment élevée (question d'induction florale probablement).

- Un fabricant américain propose un petit appareil de pilotage qu'il appelle Irristat. Sensible à l'humidité localisée autour d'un petit capteur, cet appareil se place au fond de chaque pot (ou conteneur) pour commander automatiquement les arrosages. Le taux d'humidité serait réglable par des cales d'épaisseur. J'ai 2 observations à formuler :
  - il s'agit apparemment d'une copie (sans référence à l'inventeur) d'un procédé imaginé vers 1970 par le professeur italien Celestre de Pise.
  - aucune réponse n'a été faite à mes demandes d'acquisition de cet appareil en vue de le tester dans notre station d'essais.

# Analyse des communications présentées

Fresno E.4: voir page 120

Fresno J.7: voir page 131

Fresno O.9 Irristat, une vanne autorégulante sensible à l'humidité à utiliser en g à g (Irristat : a moisture sensitive self regulating water valve for drip irrigation systems) par Leonard Ornstein de la Sté Irristat, New York, E.U.

L'auteur a breveté en 1980 cette invention qui consiste en une petite vanne (2 cm³) qui permet de régler le débit d'alimentation d'une plante en pot (jusqu'à un arbre de taille moyenne) de façon à satisfaire ses besoins en eau de façon optimale et sans énergie extérieure. C'est un petit bloc de gel polyacrylamide (substance sensible à l'humidité), placé au fond du pot et qui, une fois humecté par l'eau qui a percolé depuis la surface, écrase le tube souple en caoutchouc siliconé qui amène l'eau. Après arrosage, le sol du pot se dessèche, le bloc se réduit de volume et laisse à nouveau passer l'eau qui traverse le bloc. Le carter de l'appareil et le piston sont en PP et l'ensemble peut durer plusieurs années enterré dans le sol. L'appareil est habituellement conçu pour irriguer des plantes exigeant un sol humide, maintenu à 6 cbar de tension. En insérant des cales d'épaisseur entre le bloc de gel et son piston, on peut régler le taux d'humidité à des tensions plus élevées (jusqu'à 3 bar) mais le sol passe alors par des alternances de sécheresse et d'humidité (10 cbar environ après arrosage).

Pour les usages agricoles, le tube siliconé est réduit à sa partie utile à l'intérieur de l'appareil : à l'amont et à l'aval de ce dernier, le tube est inséré dans un capillaire  $\varnothing$  1 à 2 mm qui permet, à l'aval, de remonter l'eau en surface et, à l'amont, de se brancher sur une rampe sous pression ( $\varnothing$  6,4 x 9,5 mm en général).

Avant de mettre les appareils en place, on doit les faire tremper pendant un jour afin de les fermer, ce qui facilite la mise en route de l'ensemble du poste, puis de la terre humide est tassée à travers la grille supérieure afin d'assurer la continuité capillaire avec le sol environnant. Diverses stratégies sont possibles.

- Pour les cultures pérennes, on enterre l'ensemble du réseau, avec repères en surface à la verticale des appareils. En région très sèche, on enterre la sortie du capillaire très près de la racine principale, ce qui élimine pratiquement les adventices. Pour faciliter

l'installation, on peut fixer les appareils dans un étui protecteur que l'on enfonce dans un trou réalisé avec un tube PVC Ø 19 mm. Pour les plantes de grande dimension, on relie la sortie à une boucle perforée posée en surface ou à faible profondeur, ou, pour des arbres en ligne, à une rampe rectiligne de 200 m perforée tous les 0,3 m et fermée entre chaque arbre. On constitue ainsi une tranchée humide comme dans un réseau g à g classique mais avec commande individuelle du débit alimentant chacun des arbres. Chaque Irristat suffit, d'après l'auteur, pour alimenter un arbre de 6 m de diamètre de frondaison (dans l'expérience rapportée les deux rampes (alimentation et distribution) étaient posées en surface).

- Pour les cultures annuelles, on peut brancher directement les appareils comme des goutteurs, grâce à une tête de vipère, sur une rampe enterrée à la limite de la zone racinaire et la sortie est positionnée de façon diamétralement opposée, en surface ou légèrement en dessous. L'ensemble serait récupérable en fin de culture.

Comme en g à g classique, il est recommandé de traiter l'eau (acide et eau de javel) afin d'éviter les obstructions.

Suivant que les plantes exigent ou non une fourniture d'eau à un potentiel constant ou variable, on peut laisser le réseau toujours branché, ou le fermer à certains moments, pour créer des périodes de stress.

N.D.T.: Le principe de l'appareil a été en réalité inventé vers 1965 par le Professeur Pietro Celestre, de l'Université de Pise, auquel l'auteur du rapport aurait dû rendre hommage et qu'il aurait pu citer dans sa bibliographie.

Fresno S.2: voir page 63

Fresno S.5 Pilotage de l'irrigation à partir de données évaporométriques. Mise au point de la méthode et résultats. (Irrigation scheduling from evaporation data. Method development and field performance) par N.A. Mac Gillivray, J.D. Gonzalez, D.L. Scruggs, Bakersfield, Californie, E.U.

Un réseau d'avertissement pour vergers et vignobles a été constitué en Californie sur la base de Kc x Ebac, Kc étant calculé de façon mensuelle ou hebdomadaire, pour chaque espèce à chaque période de son cycle végétatif, à l'aide de bilans hydriques établis par sonde à neutrons in situ. Ces valeurs de Kc, établis pour l'irrigation à la raie, ontété publiées en 1975 par le Service Californien des Ressources en Eau. En 1977, à partir des valeurs mensuelles, ont été établies des valeurs moyennes (pour diverses cultures de la vallée de San Joaquin) hebdomadaires devant servir de guide aux agriculteurs. En 1980, des valeurs hebdomadaires pour 8 des principales cultures ont été publiées.

Les auteurs font état de l'utilisation de ces données par un agriculteur sur plus de 1 000 ha (vignes, amandiers, agrumes, pommes, poires et kiwis), irrigués par goutteurs (ou mini-diffuseurs).

L'eau provient d'un réseau collectif, et elle est fournie sur demandes formulées 24 h (ou plus) avant. Pour 800 ha, les électrovannes sont commandées par un ordinateur dont les horaires sont changés toutes les semaines.

Une programmation générale est établie en début de campagne pour chaque semaine, détaillée par culture et par parcelle, afin de préparer un planning du personnel et de ménager les créneaux de temps nécessaires pour les opérations culturales et la maintenance du réseau.

La programmation initiale est modifiée semaine après semaine, en fonction des besoins réels constatés la semaine précédente, et ajustés en fonction du rendement du réseau. de l'importance de la frondaison, de la profondeur du sol et des caractéristiques de perméabilité du sol de chaque parcelle. Des tensiomètres et des mesures à la sonde à neutrons permettent de vérifier l'état d'humidité en divers points (tous les 8 à 32 ha). ainsi que des prélèvements à la tarière effectués en des endroits choisis au hasard.

Du fait de la meilleure conduite des arrosages, on a pu constater des améliorations en quantité et en qualité des récoltes.

- . Amandiers: au lieu de 1,9 à 2 m d'eau/an pour des rendements de 1,68 t/ha on a. au bout de 3 ans, consommé 1, à 1,1 m pour 2,8 t/ha.
- . Agrumes: augmentation des rendements de 150 % (avec mini-diffuseurs)
- . Vignobles: augmentation des rendements de 10 à 30 %.

Fresno S.10: voir page 41

#### B. FERTIGATION\* - CHIMIGATION\*

20 rapports traitent de ce sujet, dont 18 présentés à Fresno, 2 à Budapest.

## Synthèse

Le rapport Budapest 6 se borne à exposer la nécessité de la chimigation pour remédier à la mauvaise qualité de l'eau en Floride. Le rapport Budapest 7 a essayé sur vigne un traitement avec injection d'engrais.

Les rapports de Fresno sont par contre nombreux et variés :

- Certains sont généraux. Tel est le cas d'un rapport californien de la firme australienne James Hardie, sans doute l'une des plus importantes du monde, qui traite la chimigation de manière assez complète. Un autre rapport américain, de Floride, est également de portée générale, mais pas assez précis.
- Mais la plupart sont des témoignages de l'efficacité de cette technique d'injection dans l'eau de produits chimiques divers, pesticides systémiques bien sûr quoique bien des progrès restent à faire en ce domaine, mais aussi et surtout les engrais. Cette efficacité se comprend aisément car elle consiste à donner à la culture à la fois le boire et le manger, technique plus efficace que d'essayer de donner les 2 séparément. Aussi enregistre-t-on couramment:

<sup>\*</sup> Néologismes bien pratiques pour désigner

<sup>.</sup>le premier l'irrigation fertilisante, .le second l'introduction, dans l'eau d'irrigation, de produits chimiques destinés à la défense des cultures contre les insectes, les nématodes ou les maladies cryptogamiques (pestigation), à leur fertilisation (fertigation), à la lutte contre les mauvaises herbes (herbigation), ou à l'entretien du réseau en bon état de fonctionnement (injection d'acide ou d'eau de javel).

- . Pour les agriculteurs, des économies d'engrais (en France des arboriculteurs de pointe parlent d'une réduction de 50 % environ des quantités d'engrais nécessaires) donc de prix de revient.
- . Pour la collectivité, une moindre pollution des nappes, particulièrement en azote dont la forme nitrique est extrêmement soluble.
- En cultures annuelles, la fertigation est toujours très efficace par rapport à la fertilisation traditionnelle.
  - . Sur maraichage (1 rapport portoricain et 2 rapports américains dont l'un (M.6) montre que l'on peut, juste avant une culture de salade, apporter en g à g la totalité du phosphore nécessaire avec le minimum de pertes (fixation sur les colloïdes du sol), puisque P, véhiculé par l'eau d'irrigation et localisé dans le bulbe à proximité du goutteur, reste plus facilement disponible pour la culture que s'il est répandu en couverture.
  - . Sur coton l rapport israélien (I.9) et 4 rapports américains (I.6, J.1, K.2, U.1). L'un deux estime que le système Arizona, qui est un g à g enterré sur coton, avec une gaine par rang, ne conduit à des rendements élevés que grâce à une chimigation permanente (injection de SO<sub>4</sub> H2 en même temps que N, P et K pour abaisser le pH et éviter les dépôts. Un autre montre que l'on peut lutter contre les adventives par des herbicides systémiques injectés dans l'eau. Toutefois, pour certaines espèces très résistantes (cyperus par exemple), on estime qu'il est préférable de nettoyer le terrain avant d'installer la culture.
- En cultures pérennes (vergers ou vignes), la fertigation n'est efficace que sur les jeunes arbres nouvellement plantés. Sur des arbres déjà en production, sa supériorité par rapport à la fertilisation classique est beaucoup plus faible, ce qui n'est pas étonnant compte-tenu de ce que nous avons vu de l'influence de la micro-irrigation sur le système racinaire des arbres jeunes ou adultes. C'est ce que montrent 2 rapports, l'un américain (1.3) l'autre italien (7), qui estiment malgré tout que l'on peut réduire les doses annuelles, pour K et surtout pour N.
  - -Un rapport américain (K.5) de Caroline du Nord estime cependant que, sur pacaniers, le g à g permet des apports efficaces de N et K, ainsi que d'insecticides systémiques contre pucerons et chenilles. Un rapport de Nouvelle Zélande (E.4) dit, de façon analogue, que la fertigation est largement utilisée sauf pour P, qui est apporté en couverture au printemps.
  - -Sur pommiers un rapport israélien (I.7) estime qu'une fertigation azotée au printemps accroit vigueur et rendement sans nuire à la qualité.
  - -Sur amandiers, un rapport californien (I.8) juge que souvent les amandiers en production sont sous-alimentés en N, et que le rapport amandon/coque est un test pratique aussi valable que le dosage d'N dans les feuilles.

Un auteur californien (K.3) trouve que les mini-diffuseurs détruisent moins les herbicides de préémergence que les goutteurs (il ne s'agit pas là de chimigation mais d'influence des systèmes de micro-irrigation sur un apport classique d'herbicide).

Enfin un autre Californien (K.4) a établi que la "solarisation du sol", qui est la stérilisation d'un sol maintenu humide sous un plastique transparent, est plus efficace quand, sous le plastique, le sol reste humidifié par des rampes g à g qui permettent, en plus, de diffuser un herbicide.

## Analyse des communications présentées

Fresno E.4: voir page 120

Fresno I.1 Effets de la fertigation N sur la pastèque : croissance, rendement, nutrition (Nitrogen fertilization and muskmelon growth, yield and nutrition) par H.S. Bhella (Caroline du Nord) et G.E. Wilcox, professeur d'horticulture d'Indiana, E.U.

En sol sableux, il est difficile de satisfaire les besoins élevés en N de la pastèque (cucumis melo) et l'apport fractionné en g à g paraît intéressant. D'où l'essai réalisé avec 0,50, 100, 150 et 200 mg N/l en fertigation g à g. Le meilleur rendement (20,7 t/ha) a été obtenu avec N=0 avant repiquage, N=150 dans la phase de croissance végétative, N=50 dans la phase de maturation. Il faut donc apporter N au cours de la culture, ce que l'on ne peut faire quand on apporte à la plantation la totalité de la fumure.

Fresno I.2 La fertigation dans l'Est des E.U. (Fertigation with DT in the eastern United States) par C.J. Fabry, consultant, président de Plant Food Systems, Floride, E.U.

L'auteur, qui est un commercial, relate quelques observations très favorables mais d'ordre qualificatif sur tomate, concombre, pacaniers et agrumes.

Fresno I.3 Application de N en g à g sur griottiers (Nitrogen application with trickle irrigation on some cherry trees) par C.A. Kesner, Barry R. Hahn, W.M. Klein et V.F. Bralts, Université d'Etat d'East Lansing, Michigan, E.U.

Expérimentation très lourde et bien conduite, par des chercheurs sérieux.

Sur des griottiers de 3 ans, plantés à  $5.5 \times 4.3 \text{ m}$  en limon sableux, avec désherbage sur le rang (1,8 m de large), 6 traitements ont été comparés pendant 3 ans : 1983-84-85, avec 4 doses d'N :

#### - Témoin sans apport

- -application en couverture à l'automne
- -application en couverture au printemps
- -application en couverture fractionnée automne-printemps
- -application en couverture fractionnée tard à l'automne et tôt au printemps
- -application en fertigation g à g en 4 doses égales (1 et 15 mai + 1 et 15 juin)

Le réseau g à g avait 1, 2 ou 4 goutteurs par arbre, mais les mêmes doses étant apportées tous les 2 jours.

Peu de différences apparentes. Les apports d'automne ont été les moins efficaces (lessivage par les pluies). L'application par le réseau g à g, au moment de l'activité végétative maximale, paraît être la solution la meilleure (bonne réponse des arbres), mais les doses sont à réduire, ce qui diminuera les apports d'N dans la nappe.

Fresno I.5 Effets de N sur amandiers à 2 niveaux de rationnement en eau (Nitrogen effects at two drip irrigation levels on almonds) par H. Schulbach et R.D. Meyer, (Université de Californie, Davis), E.U.

Il est difficile de savoir combien il faut apporter d'eau et d'N pour des jeunes amandiers (ni trop, ni trop peu). D'où un essai : 2 niveaux d'irrigation (0,6 et 1 ET) apportée par 2 goutteurs en 1981 puis 3 goutteurs à partir de 1985, et 5 niveaux d'N (0.0,5.1.1,5 et 2).

A 0,6 ET, les trop faibles apports d'N ont conduit à l'affaiblissement et parfois à la mort des arbres. La croissance du tronc, la fructification et la production d'amandes ont été sensiblement proportionnelles à l'apport d'N. A la dose I ET, l'amélioration a été également sensible quoiqu'un peu moins marquée.

Les réponses à l'eau et à l'N sont très positives et s'additionnent. Cependant l'essai n'a pas dépassé la 3ème feuille.

Fresno I.6: voir page 35

Fresno I.7: voir page 76

Fresno I.8: voir page 77

Fresno I.9 Absorption de N, P, K en coton irrigué en g à g (Nitrogen, phosphorus and potassium uptake of drip irrigated cotton) par M. Meron et J. Levin, Institut ARO, Bet Dagan, Israël.

Essai réalisé en 1980 avec 3 traitements :

- -apports d'engrais au sol avant la campagne d'arrosage
- fertigation avec arrosages très fréquents (toutes les heures) et précoces, à 1,5 Ebac.
- -fertigation avec arrosages plus espacés (2 fois/semaine) et tardifs à 0,8 Ebac.

#### Observations:

- -Le poids total de M.S. augmente avec une irrigation plus intense (19,3 contre 15,8 t/ha) mais la récolte de coton reste inchangé (# 7 t/ha).
- -Le traitement le plus économe en eau se contente de 185 kg N, 35 kg P et 280 kg K par ha, contre 300, 70 et 525 pour le traitement le plus intensif.
- -La pointe d'absorption se situe dans les 5 semaines qui suivent la floraison. Elle est par jour de 3,8 kg N, 0,5 kg P et 3,3 kg K.
- -Par contre l'absorption d'N cesse presque complètement après la mi-août.
- -L'analyse du pétiole en N P K serait significative pour obtenir des rendements élevés.

Fresno I.10: voir page 141

Fresno J.1: voir page 36

Fresno K.I La "chimigation": vue d'ensemble (Chemigation. A practical Overview) par Inge Bisconer, Sté James Hardie, El Cajon, Californie, E.U.

Bon rapport général sur la question.

La chimigation, c'est l'application, par le réseau d'irrigation, de produits chimiques destinés à fertiliser les cultures (engrais) ou à lutter contre leurs ennemis (insecticides, fongicides, nématicides, herbicides). Bien conduite, elle a des avantages certains :

- . réduction des coûts (moins de produit nécessaire et suppression des coûts d'application mécanisée)
- . amélioration de l'efficacité (traitements possibles quels que soient le stade végétatif et l'accessibilité de la parcelle au passage des engins).
- augmentation de la sécurité du personnel affecté aux traitements, et protection de l'environnement (moins de produits toxiques répandus et moins de risques de contamination).

Mais elle doit se plier à la fois aux exigences de l'irrigation et de l'application de produits chimiques :

- nécessité d'une uniformité accrue d'application de l'eau (donc supériorité de la micro-irrigation)
- . mesures de prévention des obstructions dont le risque peut être accru par l'usage de certains produits et aussi prévention des risques de corrosion sur les alliages de Cu (eau de javel) ou même le PE. (produits tensioactifs entraînant le stress-cracking).
- . nécessité d'éviter une surirrigation qui entraîne des pertes par percolation.
- obligation de coordonner l'injection des produits chimiques avec l'injection de l'eau, pour avoir une pleine efficacité, et réaliser un rinçage du réseau à l'eau non traitée.
- . enfin l'eau traitée ne doit pas servir à d'autres usages, sur la parcelle même, ni pouvoir être réinjectée dans la ressource en eau (réseau collectif par ex).

## En pratique

- -Cas des engrais: N est apporté sous diverses formes, urée surtout, P peut migrer assez loin en micro-irrigation et n'est apporté qu'en début de saison, K migre encore plus profondément, les oligo-éléments sont à injecter sous forme de chélates.
- Cas des produits "pesticides": ils peuvent également donner d'excellents résultats mais la majorité des produits actuels conviennent davantage à l'aspersion. D'où une recherche à faire pour des produits mieux adaptés à la micro-irrigation.

L'auteur donne enfin une liste des produits autorisés aux E.U. en fertigation, liste qui précise pour chacun la méthode d'irrigation, le type de culture, la toxicité, etc...

Fresno K.2 Herbicides en g à g en Arizona (Weed control in drip irrigation in Arizona) par E.S. Heathman, Charles Farr, et Sam Stedman, Université d'Etat de Casagrande, Arizona, E.U.

Résumé seul (pas de réponse à ma demande pour obtenir le rapport).

Avec le développement du g à g sur coton, avec rampes sur le sol qui interdisent le passage des machines de traitement, on ne peut lutter contre les mauvaises herbes que par l'injection d'herbicides dans l'eau d'irrigation. Ce genre de lutte est possible sur certaines adventices, mais jusqu'ici impossible sur d'autres comme les cyperus (esculentus et rotundus).

Il est donc important d'éliminer les mauvaises herbes avant d'installer un réseau g à g.

Fresno K.3 Herbicides de préémergence en irrigation par goutteurs et mini-asperseurs (Preemergence herbicide performance under drip and low volume sprinkler irrigation) par Bill B. Fischer, David A. Goldhamer, Tom Babb et Roger Kjelgren, Université d'Etat de Fresno, Californie, E.U.

L'augmentation de la fréquence des arrosages (tous les jours pour les goutteurs, 2 fois par semaine pour les mini-diffuseurs) nuit à l'efficacité des herbicides de préémergence, surtout pour les adventices à larges feuilles et il faut faire à leur place 4 à 8 applications d'herbicides de contact (type paraquat) ou systémiques (dinoseb, glyphosate) dans toute la saison d'arrosage.

D'essais conduits sur vigne et vergers (amandiers) pendant 2 ans (1983/84) avec 8 mélanges d'herbicides, on a tiré les conclusions ci-après :

- -les traitements se sont montrés plus efficaces en mini-aspersion qu'en g à g (plus encore dans le témoin irrigué en planches)
- -ils se sont également avérés plus efficaces avec des mélanges ternaires d'herbicides qui évitent la sélection des espèces tolérantes à un herbicide particulier.

N.D.T.: Bien noter qu'il ne s'agit pas ici de mettre des herbicides dans l'eau d'irrigation (herbigation) mais de noter l'efficacité des pulvérisations classiques de préémergence en fonction de la technique d'arrosage.

Fresno K.4 Mulch plastique et lutte contre les adventices en g à g (Plastic mulch, weed control and drip irrigation) par Carl E. Bell, Alfonso Durazo III et Clyde L. Elmore, Université de Californie, Davis, Californie, E.U.

La technique dite "solarisation" du sol consiste à couvrir pendant 6 semaines en été, avec un film de plastique transparent, le sol humidifié au préalable afin d'en augmenter la température (# 50°C) et de tuer les champignons pathogènes du sol. Le traitement s'avère efficace sur une profondeur de 15 à 30 cm.

Au lieu d'utiliser des raies pour humidifier le sol, on peut utiliser des goutteurs qui pourront apporter en plus du metham (méthyl dithio carbamate de Na) comme herbicide, ce qui permet de traiter le sol en dehors de la période-la plus favorable.

Le g à g a l'avantage de distribuer l'eau sous le film plastique et aussi d'apporter un produit chimique herbicide. Dans le cas de petits agriculteurs, ceux-ci peuvent n'utiliser qu'un système pour différentes cultures, obtenir une éradication complète des mauvaises herbes et employer leur eau d'irrigation de manière plus efficace.

Fresno K.5 Chimigation sur pacaniers (Chemigation on pecans) par J.B. Aitken et C.S. Gorsuch, Université de Clemson, Caroline du Sud, E.U.

Après divers essais réalisés depuis 1981 :

-Le g à g apporte N et K de façon efficace et permet de réduire les doses. Attention cependant au pH qui peut être diminué dans la partie humidifiée, en fonction de la profondeur du sol et de la nature de l'engrais N. Cette baisse de pH peut aussi influer sur l'absorption d'autres éléments : K, Mg, et aussi Mn et B.

-Le g à g permet de traiter les pacaniers par des insecticides systémiques(aldoxycarb) contre les pucerons et les chenilles (l'aldicarb est plus toxique et se prête moins à la chimigation).

Fresno M.6: voir page 37

Fresno U.1: voir page 42

Budapest 6.: voir page 97

Budapest 7 Essai sur vigne de table en g à g et fertigation (Drip irrigation and fertigation trials on grapes) par Falciai et al, Italie.

Expérience conduite dans l'ile d'Elbe, sur la variété Italia en sec, irrigué et fertirrigué. Après analyse du milieu physique, agricole et social, les résultats chiffrés indiquent, pour le sec et l'irrigué, une amélioration notable du rendement (+ 20 %) et de la qualité, même avec des doses totales très faibles (16 à 77 mm selon l'année). L'amélioration du rendement provient principalement de la grosseur accrue des baies.

La différence irrigué-fertirrigué est beaucoup moins nette.

## C. MAINTENANCE - CONTROLE VISUEL

7 rapports, tous américains sauf un australien, ont été présentés à Fresno sur ce sujet.

## Synthèse

- La maintenance est en micro-irrigation une opération capitale pour assurer d'une part la qualité des arrosages (uniformité) d'autre part une durée de vie normale du réseau, sinon l'amortissement réel pèse très lourd sur le prix de revient total à l'hectare/an irrigué.
  - · le rapport de base en la matière est le rapport V.5 qui se veut le guide de la maintenance des réseaux g à g.
  - · le rapport D.2 (Hawaī) explique qu'avec les gaines perforées, les obstructions ont cessé d'être un problème avec les eaux de surface depuis que l'on pratique manuellement (une par une) et systématiquement (toutes les 500 h de fonctionnement) des purges en bout de rampe, en plus naturellement des traitements chimiques par eau de javel pour obtenir pendant 1/2 heure 10 ppm de chlore au goutteur le plus éloigné.
- Le contrôle visuel, s'il existe, facilite beaucoup la maintenance surtout en g à g, et certains auteurs n'ont pas négligé son incidence pratique, surtout dans les grands réseaux.
  - Les mini-asperseurs sont visibles de loin quand ils fonctionnent. Ce serait un facteur important de l'importance prise par ce type de matériel, par rapport aux goutteurs, bien plus discrets dans leur fonctionnement (I.8).

- .On peut rendre visible de loin le fonctionnement normal des rampes g à g en mettant en extrémité un capillaire orienté vers le ciel. Si l'on voit un jet vertical, on peut en déduire que telle rampe d'un poste (mis en eau) fonctionne correctement, sinon on peut en déduire qu'il y a une fuite à réparer au plus tôt.
- . Enfin L.5 (Australie) signale que dans les espaces verts urbains d'une zone minière en climat désertique, les goutteurs sont disposés en hauteur sur des piquets afin d'en vérifier plus aisément le fonctionnement, car le reste du réseau, rampes comprises, est enterré.

## Analyse des communication présentées

Fresno D.2: voir page 34

Fresno D.3: voir page 106

Fresno I.8: voir page 77

Fresno J.4: voir page 134

Fresno J.7: voir page 131

Fresno L.5: voir page 70

Fresno V.5 Guide de la maintenance d'un réseau DT (Guidelines for maintenance of a trickle irrigation system) par Dale A. Bucks (agronome) et Françis S. Nakayama (chimiste) US Water Conservation Laboratory. Phénix, Arizona. E.U.

Rapport capital, par son sujet et la notoriété des auteurs.

L'obstruction continue à être un facteur limitant pour l'extension de la micro-irrigation et peut conduire l'usager à revenir à une technique d'arrosage moins efficace. La maintenance est essentielle pour augmenter la durée de vie d'une installation coûteuse : c'est avec la filtration et les traitements chimiques, l'une des solutions du problème, l'autre étant l'utilisation de distributeurs moins sensibles à l'obstruction, donc moins exigeants en maintenance. Ajoutons que chaque cas est un cas particulier et que les solutions de maintenance ne sont pas toujours techniquement ou économiquement réalisables.

Il y a cependant des règles générales qui permettent de réduire ou même d'éliminer certains types d'obstruction. Ces règles sont décrites par les auteurs dans leur rapport : facteurs d'obstruction, classification des eaux suivant les risques d'obstruction, guide pour le choix du type de filtre, guide pour le choix de la fréquence des contrôles et des purges de conduites, procédure simplifiée pour l'entretien et la sécurité du réseau.

La maintenance est une nécessité pour augmenter la durée de vie, améliorer les performances et réduire le coût de fonctionnement. Exercée de manière préventive, elle consiste en une filtration satisfaisante, un traitement chimique adéquat, des contrôles à la parcelle et des purges périodiques du réseau.

## D. EVALUATION DES RESEAUX

8 rapports ont été présentés, 7 à Fresno, 1 à Budapest.

## Synthèse

- G.1 (Californie) constitue le rapport de base. Un manuel réalisé en 1985 explicite la méthode, donne des imprimés modèles, traite des exemples, et présente les progiciels facilitant le traitement des données recueillies sur le terrain.
- G.2 (Michigan) propose une méthode statistique d'évaluation de l'uniformité d'arrosage (méthode de Bralts).
- T.3 (Arizona) traite de la combinaison des diverses disuniformités et préfère la méthode classique du quartile inférieur à la méthode statistique de Bralts.
- T.4 (Hawaī) est de l'avis opposé, du fait que le coefficient de variation technologique a plus de poids, dans l'évaluation du coefficient de variation global, que le coefficient de variation hydraulique et donc que les débits réels des goutteurs d'une parcelle suivent, à peu de chose près, une loi normale.
- G.3 (Espagne) et G.4 (Californie) donnent des résultats d'évaluation de divers réseaux en micro-irrigation.
  - . G.3 trouve des CUkk faibles (22 à 92 %, 61 % en moyenne) ce qui s'explique par un manque d'entretien. Aussi les mini-diffuseurs, moins nombreux par ha et moins sensibles à l'obstruction, ont tendance à se substituer aux goutteurs pourtant plus économes en eau, qui dans les Iles Canaries est chère (0,29 dollar/m³ en 1980).
  - . G.4 signale également une insuffisance de la maintenance, également de la filtration, parfois de la régulation des pressions. Un meilleur encadrement est indispensable pour améliorer la situation.
  - . J.2 (Guam, territoire USA), a fait l'objet d'une bonne évaluation d'ensemble qui fait ressortir les divers points faibles.

En plus des difficultés de toutes sortes résultant des conditions d'alimentation des installations individuelles (la rareté et la cherté de l'eau, qui provient d'un réseau d'eau potable, les a contraints à adopter le g à g), et des mauvaises conditions d'approvisionnement (cf chapitre choix des matériels), les irrigants ont encore multiplié leurs difficultés en réalisant des réseaux mal conçus, mal calculés. On estime en effet qu'en moyenne seulement 25 % des installations sont suffisamment bien conçues et réalisées pour mériter que l'on s'efforce de les maintenir en bon état.

L'Université de Guam (Collège d'Agriculture et des Sciences de la Vie) s'efforce de remédier à cette situation par des recherches en irrigation localisée et par des actions de vulgarisation des bonnes techniques auprès des agriculteurs, en liaison étroite avec le SCS (Soil Conservation Service) de l'USDA (United States Department of Agriculture), notamment sur le plan conception et calcul des réseaux. Ces actions, auxquelles doit s'ajouter une ferme de démonstration des diverses techniques d'irrigation, ont pour objectif de réduire des importations coûteuses de fruits et légumes dans l'île de Guam.

Observation: Ces rapports semblent bien refléter ce qui se passe un peu partout, c'est-à-dire un manque de discipline et de précision de la part des usagers dans le respect des règles à appliquer pour assurer un bon entretien des réseaux.

La situation parait encore plus grave en Egypte où des réseaux g à g semblent avoir été réalisés dans des conditions de trop faible pression (soit dues à la baisse des caractéristiques des pompes, soit au fait que l'on a voulu se brancher gravitairement sur des canaux) et où les agriculteurs n'ont sans doute pas été assez encadrés, pour réaliser les opérations de maintenance (purges fréquentes, remplacement des goutteurs obstrués (qui coûtent cher). Quoi qu'il en soit (défaillance du matériel ou manque de compétence et de sérieux des usagers), la situation a empiré au point que 20 % des installations ont été enlevées, et remplacées par un retour à la raie traditionnelle, qui pourtant exige beaucoup plus de main d'oeuvre et d'eau.

Le comité égyptien de la CIID signale que dans certains cas, on a pu maintenir la micro-irrigation, soit en surélevant les canaux, soit en remplaçant les goutteurs par des ajutages, moins sensibles à l'obstruction.

Cet exemple montre bien que le g à g, technique remarquable mais délicate et exigeante, n'est pas à mettre entre toutes les mains, car il nécessite des projets bien conçus et des matériels bien adaptés aux situations locales, et que, dans certains pays en voie de développement, il est préférable de recourir à des techniques moins performantes mais plus faciles à maîtriser par les agriculteurs, même si ces techniques nécessitent des diamètres de tuyaux plus importants, du fait qu'ils doivent véhiculer de plus gros débits.

Autre exemple: en Libye, 2 stations expérimentales ont comparé des irrigations par goutteurs et des irrigations par ajutages Bas Rhône. Les goutteurs se sont progressivement obstrués malgré les tentatives (purement mécaniques) faites pour les déboucher (il eut fallu des installations de tête plus sophistiquées avec injection d'acide et des purges pratiquées régulièrement). En fait on a pu constater en 1983, au cours d'une mission, que les rampes g à g étaient disparues depuis plusieurs années, alors que les rampes Bas Rhône fonctionnaient toujours.

Il est donc primordial de bien choisir le système de localisation, et le matériel le plus fiable, en fonction du niveau de technicité, non seulement des agriculteurs, mais encore de l'environnement technico-économique où ils se trouvent (par exemple possibilités de dépannage rapide ou possibilités de se procurer des pièces de rechange ou de réparation). La micro-irrigation, et surtout le g à g, ne souffre pas la médiocrité, ni du concepteur, ni du matériel choisi, ni de l'environnement, dont dépend souvent la possiblité d'une maintenance.

## Analyse des communications présentées

Fresno G.1 Evaluation des réseaux de micro-irrigation (Evaluation of micro-irrigation systems) par C.M. Burt, R.E. Walker et S.W. Styles. Californian Polystate University, San Luis Obispo, Californie, E.U.

Les auteurs font l'historique de la question étudiée déjà par Merriam et Keller (1978) Merriam et al. (1981) Bucks et al (1982). Utilisant les résultats de leurs devanciers, ils ont établi les règles générales suivantes appliquées dans 6 techniques informatisées d'évaluation mises au point pour 6 systèmes différents d'irrigation par le Bureau de Gestion des Ressources en Eau de Californie, à la demande de l'Office de Conservation des Eaux.

- a. Le rendement de l'irrigation doit être estimé sur la base de chiffres annuels et non sur la base de mesures faites au cours d'une seule visite.
- b. Les divers facteurs contribuant à réduire le rendement sont à expliciter nettement pour que l'agriculteur en déduise les mesures pratiques qu'il doit prendre.
- c. Il faut préciser les économies potentielles d'eau et d'énergie que l'on peut faire grâce aux diverses mesures d'amélioration.
- d. L'évaluation doit être assez générale et non se polariser sur quelques points précis.
- e. L'évaluation doit se traduire par des recommandations écrites spécifiques du cas étudié.
- f. L'évaluation d'une parcelle ne doit pas dépasser 1,5 homme x jour.
- g. Les évaluateurs n'ont pas besoin d'être des experts en irrigation ou des mathématiciens, mais de faire les mesures et observations nécessaires.
- h. Les recommandations ne doivent pas dépendre de la personne qui fait l'évaluation.
- i. Les évaluateurs ne doivent avoir besoin que d'une formation réduite.
- j. Les progiciels utilisés doivent être utilisables partout et être de nature conversationnelle.
- k. Les résultats doivent être communiqués à l'agriculteur dès que possible (moins de 1 jour) sous une forme complète et précise.

lci les auteurs exposent les 2 techniques à utiliser pour les réseaux de goutteurs et de mini-diffuseurs : l'évaluation est réalisée à partir des renseignements fournis par 2 questionnaires :

Un questionnaire général portant sur l'estimation des consommations brutes de l'année précédente, sur le mode de pilotage, sur la qualité de l'eau, la hauteur de pluies efficace, l'ET et les besoins en eau spécifiques.

Un questionnaire particulier à un arrosage, avec mesures sur le terrain de la répartition des pressions, des débits, observations diverses, pertes de charge excessives, pratiques de maintenance du réseau.

Les progiciels en basic pour micro-ordinateurs permettent de remplir des feuilles de données, d'entrer et de reporter celles-ci, de faire les calculs nécessaires et d'imprimer les conclusions et recommandations. Logiciels, explications, exemples et imprimés en blanc figurent dans un manuel (Burt et al, 1985)

Une terminologie normalisée est utilisée pour désigner le rendement de l'irrigation, le CU\* des distributeurs et le CU des volumes reçus par les plantes.

Fresno G.2 Evaluation à la parcelle des sous-postes DT (Field evaluation of DT irrigation submain units) par Vincent F. Bralts, Donald M.E. Edwards et Charles D. Kesner, Département de Génie Rural de l'Université d'Etat d'East Lansing - Michigan. E.U.

L'évolution proposée porte uniquement sur l'uniformité de la distribution. Elle est basée sur la mesure des débits et des pressions en 18 points choisis au hasard dans une unité hydraulique du réseau. Elle permet de déterminer le CV\*\* dû à la qualité des distributeurs (variations dues à la fabrication et à l'obstruction) au moment de la mesure, en fonction du CV des débits et du CV des pressions. C'est une extension de la méthode proposée antérieurement par V.F. Bralts dans diverses publications.

<sup>\*</sup> CU = Coefficient d'uniformité (selon une méthode de calcul à préciser)

<sup>\*\*</sup> CV = Coefficient de variation = écart type/moyenne)

Fresno G.3 Enquête sur les réseaux d'irrigation localisée sur bananiers aux Iles Canaries (Localised banana irrigation systems evaluation in the Canari Islands) par J. Rodrigo Lopez et J.M. Hernandez Abreu, Ténériffe, Espagne.

La conversion aspersion-irrigation localisée sur bananiers, commencée en 1974, atteint actuellement 33 % soit 4 300 ha. L'enquête a été faite sur un échantillon de 274 plantations, dont 111 irriguées (32 en localisé), soit 4,4 % du nombre et 24,2 % de la surface totale des plantations.

Résultats globaux	En nombre	En surface	Efficience					
	de réseaux	totale	en kg/bananes par m³					
Irrigation de surface	42 %	50 %	1,74					
Irrigation par aspersion	18 %	18 %	2,63					
Irrigation localisée	40 %	32 %	3,63					

L'eau, propriété privée aux lles Canaries, est chère (0,29 dollar/m³ en 1980).

L'irrigation localisée est pratiquée en g à g pour 88 %, en mini- diffuseurs ou mini-asperseurs pour 12 %.

L'extension latérale des bulbes est réduite et les goutteurs sont utilisés soit avec plusieurs sorties, soit en queue de cochon, autour des plants espacés de 2 à 2,5 m. Il y a, en moyenne 4,4 goutteurs de 3,6 l/h par plant, 2,8 ha/poste. 2 heures de fonctionnement/jour. L'eau étant calcaire, 77 % des exploitations utilisent un traitement à l'acide. 52 % sont peu ou prou automatisées. En moyenne 275 arrosages/an de 2,8 à 5,1 mm/j.

Les auteurs ont trouvé des CUkk (Keller-Karmeli) faibles (22 à 92 % et 61 % en moyenne) et des rendements d'irrigation peu élevés (57 au lieu de 82 %), ce qui s'explique par un manque d'entretien (obstruction des goutteurs). Aussi les minidiffuseurs, moins nombreux et moins sensibles à l'obstruction, gagnent du terrain.

Fresno G.4 Résultats d'évaluation de réseaux DT dans la vallée du San Joaquin (Californie) (Trickle system evaluation findings in the San Joaquin Valley, Californie) par R.A. Fry, Service de Conservation du sol, Handford, Californie, E.U.

Un laboratoire mobile a testé 57 réseaux g à g de 1981 à 1984, afin de sensibiliser les agriculteurs et les inciter à assurer une meilleure maintenance.

- . mesure du CUkk des réseaux de goutteurs et calcul du CU théorique
- . vérification de l'adaptation des doses (sous-irrigation en général).

Réseaux bien calculés, mais insuffisance de la maintenance (ou utilisation d'eaux très sales), de la filtration, parfois de la régulation des pressions. Nécessité d'un meilleur encadrement.

Fresno J.2: voir page 121

Fresno T.3 Combinaison des diverses disuniformités en DT (Combined effects of trickle irrigation non uniformities) par A.J. Clemmens, USDA, Phoenix, Arizona, E.U.

L'uniformité parfaite des apports d'eau aux diverses plantes d'une parcelle est souhaitable (cf étude Solomon 1985 sur la relation rendement-CU), mais impossible en raison de 2 sortes de disuniformités :

- -la disuniformité technologique : ( $\Delta$  q entre distributeurs) due à des différences de fabrication, de sensibilité à la pression, de température, ... et d'obstruction.
- -la disuniformité hydraulique : (ΔH le long des rampes et entre les rampes), due à la topographie, aux pertes de charge, ou au fonctionnement imparfait des régulateurs de pression.

Diverses études ont été conduites pour évaluer l'influence des divers facteurs sur l'uniformité globale, mais la méthode statistique proposée par Bralts n'a pas été évaluée entièrement.

Le rapport présenté compare la méthode statistique proposée aux méthodes classiques aux 2 points de vue (technologique et hydraulique) en prenant comme base une seule rampe horizontale.

Après un rappel des diverses équations mathématiques proposées pour évaluer l'uniformité globale, et notamment en se basant sur l'évaluation (classique aux EU) de l'uniformité (rapport du débit moyen du quartile inférieur au débit moyen de l'ensemble), l'auteur utilise un modèle de simulation type Monte Carlo pour une rampe horizontale équipée de 100 distributeurs (ou groupes de distributeurs) également espacés. Il calcule ainsi un CVh variant de 0,05 à 0,25 par pas de 0,05, puis surimpose une variable aléatoire (loi normale) pour tenir compte des variations de fabrication (CVf variant lui aussi de 0,05 à 0,25 par pas de 0,05).

## Dans ce cas simple:

- -Quand le coefficient x du distributeur est constant, les variations technologique et hydraulique sont pratiquement indépendantes, et le CV global peut être calculé à partir de CVh et CVf.
- -La distribution hydraulique s'éloigne trop d'une distribution normale, donc la méthode classique d'évaluation par le quartile inférieur est préférable à la méthode statistique proposée par Bralts.
- -Il n'y a aucune relation simple entre l'uniformité et le rendement de la culture.

## Il faudrait donc continuer les recherches :

- -en étudiant les variations de débit dues à l'obstruction et leur effet sur l'uniformité globale.
- -en étendant l'étude à l'ensemble des rampes d'une unité d'irrigation réelle.

#### Fresno T.4.: voir page 55

Budapest 36 Problèmes d'exploitation des réseaux g à g en Pologne (Problems in the operation of drip irrigation systems en Pologne) par Jeznach, Université agricole de Varsovie, Pologne).

On estime à 1 500 ha la surface irriguée en Pologne par micro- irrigation (vergers, maraîchage, pépinières) depuis la fin des années 1960. L'intérêt de la méthode étant lié à l'uniformité de la répartition, l'auteur propose une formule d'évaluation de cette uniformité:

CU = 100 (1 - 
$$\sqrt{\text{CV}_{t}^{2} + \text{CV}_{h}^{2} + \text{CV}_{f}^{2}}$$
)

avec :  $|\text{CV}_{t}| = \text{coefficient de variation technologique}$ 
 $|\text{CV}_{h}| = \text{coefficient de variation hydraulique}$ 
 $|\text{CV}_{f}| = \text{coefficient de variation fonctionnel}$ 
 $|\text{(dépendant des conditions de fonctionnement du réseau)}|$ 

Au cours de ses essais (en laboratoire et au champ), l'auteur a trouvé :

- -que le CVt est un paramètre important, qui devrait être donné par les fabricants
- -que les capillaires, droits et surtout hélicoîdaux, ont un CV, réduit
- -que la mesure périodique du CU est nécessaire pour indiquer la nécessité d'une purge des conduites
- -que la fertigation conduit à une diminution de l'uniformité, et que l'on doit en tenir compte dans le choix des distributeurs d'un projet.

# POUR ET CONTRE LA MICRO-IRRIGATION



A. Avantages de la micro-irrigation .	 162
B. Difficultés et précautions d'emploi	 169

## A. AVANTAGES DE LA MICRO-IRRIGATION

16 rapports, 13 présentés à Fresno, 3 à Budapest.

## Synthèse

La plupart des rapports font ressortir l'intérêt particulier de certains pays pour un développement rapide du g à g. Seul le rapport A.4, sur l'état de la recherche en micro-irrigation, s'étend au monde entier.

#### - Amérique

- Un rapport général retrace l'historique de la micro-irrigation et décrit les stades successifs de l'expansion du g à g à l'ensemble des cultures, arboriculture et maraîchage d'abord, grandes cultures ensuite (canne à sucre, coton), espaces verts enfin.
- . A Hawaî, le g à g a sauvé l'industrie sucrière menacée de disparaître en raison de l'effondrement des cours mondiaux, en réduisant les coûts de production et en augmentant les recettes (22 % de sucre en plus, 25 % d'eau consommée en moins, et 78 % de réduction de main-d'oeuvre par rapport à la raie).
- En Louisiane, alors que l'investissement global pour que des pins semenciers (sélectionnés) arrivent à l'état adulte (production de graines) atteint sans irrigation I million de dollars/ha, le g à g (investissement 2 000 dollars/ha) permet en 5 ans d'atteindre un développement végétatif maximal puis, en créant un stress hydrique chaque été par la suppression temporaire de l'irrigation, d'induire beaucoup plus précocement la phase de reproduction. Il en résulte un intérêt économique manifeste et aussi un gain de temps très important, sur la reprise des plants (sélectionnés) d'abord, sur la précocité de production de semences ensuite. Et pourtant la Louisiane n'est pas un Etat aride (1 année sèche sur 5).
- En Californie, seul le g à g permet de mettre en culture un plateau sableux qui était jusqu'ici considéré comme non irrigable (par irrigation de surface ou par aspersion).
- . En dehors des E.U., un rapport sur les Caraïbes traite des essais réalisés dans 4 petites exploitations bananières (40 t/ha an au lieu de 10).

#### - Moyen-Orient

. Au Koweit, le g à g se développe rapidement pour mieux valoriser les faibles ressources en eau (plus des eaux souterraines jusqu'ici inutilisables).

Les rampes avec goutteurs auraient donné de meilleurs résultats que les gaines.

- Dans l'Emirat d'Abu Dhabi, on a réussi à créer, grâce au g à g, avec une eau de nappe très salée, une forêt de 40 000 ha qui a permis de stabiliser une zone de dunes le long d'une route importante, avec un retour spontané de la flore et même de la faune. "Le désert a retrouvé la vie".
- 2 rapports israéliens (E.8 et 47) présentent comme un modèle le développement du g à g dans la vallée du Jourdain, chez de petits agriculteurs arabes.

Le premier décrit le remplacement de la raie en maraîchage par le g à g (la tomate passe de 15 à 60 t/ha) chez de petits exploitants illettrés mais bien encadrés. Les conditions économiques et sociales s'améliorent considérablement du fait de l'élévation du niveau de vie et du passage à l'économie moderne.

D'après le second, sur 800 ha de bananiers, le g à g a permis d'augmenter les rendements de 10 t/ha soit 33 %, et d'irriguer, avec l'eau économisée, 1 600 ha de coton, sur un sol mince et accidenté qui a entraîné la mise au point de techniques de culture minimales du sol.

## 2 observations capitales:

- les agriculteurs entretiennent mieux un réseau d'irrigation qui leur appartient, que des canaux qui appartiennent à l'Etat (observation identique en Bulgarie, pourtant Etat socialiste).
- Le g à g permet aisément de créer de petits périmètres qui, sur le plan humain, se gèrent mieux que de grands périmètres.

#### - Europe

- En R.F.A., pays plutôt nordique, intérêt du g à g, non seulement pour les serres, mais aussi pour les vergers et les vignes en côteaux très pentus (la consommation d'eau sous serre est réduite à 3,3 mm/jour en g à g au lieu de 5,5 mm en aspersion).
- En Bulgarie, le rendement de l'irrigation passe de 40-50 % (en irrigation de surface) à 80-90 % (en g à g), d'où de grosses économies d'eau (et de main-d'oeuvre). Une place importante est donc réservée à la micro-irrigation dans le Plan Général de Développement qui s'étend jusqu'à l'an 2 000.

#### - Asie

- En 3 rapports (F.3, R.5, 40) l'Inde démontre que l'amélioration de l'efficience de l'eau est une nécessité vitale en Inde et que l'irrigation localisée du cocotier (sols sableux) est extrêmement rentable. Ces rapports décrivent les divers systèmes de micro-irrigation, essentiellement le système goutte à goutte et le procédé Bas-Rhône avec ses ajutages à fort débit alimentant chacun un bief de la rigole de distribution qui est enherbée et placée le long des arbres fruitiers.
- L'Australie (E.1) indique que les avantages du g à g sur vigne sont très importants (il y a quelques petits inconvénients). Même avec des ressources en eau très limitées, c'est une technique de choix qui augmente à la fois le rendement et la qualité de la récolte.

#### . Monde entier

Daniel Hillel, spécialiste mondial des relations sol-eau effectue une excellente synthèse des progrès réalisés et des problèmes qui continuent à se poser aux chercheurs. D'après l'auteur, la micro-irrigation représente une révolution vis-à-vis des techniques traditionnelles, mais ce n'est ni une panacée, ni une garantie automatique d'efficacité car elle exige une grande compétence à la fois technique et agronomique. L'auteur reconnaît les progrès immenses faits dans la voie d'une irrigation entièrement automatisée, mais regrette que des variantes, moins chères et plus simples, n'aient pas été mises au point par les chercheurs, en vue de satisfaire plus rapidement les besoins vitaux des pays non industrialisés.

Le système de micro-irrigation par ajutages -et en particulier le procédé français Bas-Rhône que ne connaissait pas l'auteur- semble bien répondre à son attente, et commence à être utilisé dans certains pays (Maroc, Bénin, Brésil,...) où sa simplicité et sa rusticité conviennent bien aux conditions locales.

## Analyse des communications présentées

Fresno A.1 Historique du DT (History of DT Irrigation) par Bernarr J. HALL, Agronome, Université de Californie, E.U.

Rapport limité aux seuls E.U. malgré son titre, ce qui en réduit l'intérêt, car le rapport similaire prévu pour les pays étrangers n'a pas été réalisé.

## - Principales dates

- . 1959. Expérimentation de S. Davis en g à g souterrain sur agrumes.
- 1960. Chapin met au point le principe de la gaine double et celui des capillaires intérieurs aux rampes.
- . 1964. Roberts invente le "spitter" qui est une sorte de minidiffuseur (utilisable également en g à g sur conteneurs, en réduisant la pression).
- 1967. Voth, appelé aux E.U. M. "Fraisier", utilise le g à g sur fraisier (plus de 90 % des 5 600 ha de fraisiers californiens sont ainsi irrigués).
- . 1968. Don Gustafson expérimente le g à g sur avocatier.
- 1970. L'auteur fait des essais sur tomate tuteurée : 82,5 t/ha contre 65 à la raie, soit 27 % en plus avec 35 % d'eau en moins, d'où extension rapide aux autres cultures maraîchères. Dès 1981, plus de 90 % des 4 000 ha de maraichage du comté de San Diégo étaient irrigués en g à g.
- 1970. Phéné\* fait des essais de g à g sur maraîchage et tabac en Caroline du Nord puis en Californie sur tomate à conserve et coton. En 1985, il y avait en Californie plus de 1 600 ha de tomate à conserve en g à g.
- 1972. Langa essaie à Hawaî la gaîne double extrudée Biwall sur canne à sucre. En 1985 sont ainsi irrigués plus de 40 000 ha de canne à sucre et 10 000 ha d'ananas.

<sup>\*</sup> Ce Français d'origine (il est né à Bordeaux) qui travaille à Fresno, est l'un des chefs de file des chercheurs américains

Sont également cités d'autres pionniers: Farrell sur espaces verts à Hawaï, Furuta sur plantes en pot, Kenworthy et Kesner sur cerisier par capillaires, Bucks, Keller, etc...

Le DT est une méthode très efficace pour satisfaire les besoins en eau des plantes, aussi bien en régions "humides" qu'arides, d'où son intérêt futur pour l'alimentation d'une population mondiale sans cesse croissante. Depuis 15 ans il a provoqué un développement considérable de la recherche, parallèlement au développement industriel et commercial. Il permet une répartition de l'eau plus précise, mais exige une plus grande compétence de l'irrigant. En 1985, plus de 200.000 ha ont été irrigués de cette façon aux E.U.

Fresno A.4 Etat de la recherche en DT par Daniel Hillel, professeur de physique du sol département Plantes et Sciences du Sol, Université d'Amherst, Massachusetts. E.U.

Vu la personnalité de l'auteur, dont les travaux font autorité dans le monde, et l'intérêt particulier de ce rapport, il m'a paru ipdispensable de faire figurer dans ma conclusion une traduction intégrale du rapport qu'il m'a adressé. Je partage les principaux points du résumé publié, à savoir :

- Le DT représente une révolution vis-à-vis des techniques traditionnelles, mais ce n'est ni une panacée, ni une garantie automatique d'efficacité. Comme il est fondé sur une alimentation en eau continue, il doit être conduit avec une grande compétence agronomique et technique, qui exige tout à la fois des connaissances théoriques et des connaissances pratiques.
- Le g à g a des variantes qui permettent son adaptation à diverses situations:
  - . machines mobiles,
  - systèmes rustiques à ajutages ("bubblers" aux E.U) ou à mini- diffuseurs (ou mini-asperseurs),
  - systèmes très sophistiqués avec automatisation du pilotage et contrôle du fonctionnement par ordinateur,
- Il permet l'utilisation aisée de la "chimigation" (engrais, pesticides).
- Mais il reste de nombreux thèmes de recherche pour l'avenir :
  - . Mise au point de techniques pratiques de prévision des variations d'humidité, temporelles et spatiales, en fonction des conditions climatiques, des cultures et de l'hétérogénéité, horizontale et verticale, des sols.
  - . Détermination, pour chaque culture, des proportions minimales et optimales du volume de sol à humidifier.
  - Détermination des coefficients de réduction lorsque la culture n'est pas entièrement couvrante.
  - Vérification et mesure des pertes d'eau en profondeur, ainsi que du taux de lessivage (pertes d'éléments fertilisants).
  - Détermination du débit en fonction de la perméabilité du sol en surface, surtout dans les sols en pente.
  - . Réduction des coûts d'investissement et de maintenance, tout en accroissant la fiabilité et la longévité, grâce à des variantes simplifiées, destinées aux PVD\*.

<sup>\*</sup> PVD = Pays en (Voie de) Développement

On notera l'importance qu'attache l'auteur à la mise au point de systèmes plus rustiques que le g à g et notamment d'ajutages à relativement fort débit, ne nécessitant qu'une faible pression et une filtration sommaire. Il cite, comme exemple de ces systèmes rustiques, les "bubblers", ajutages débitant dans des cuvettes et alimentés par des drains annelés non perforés en PVC, qui ont été proposés en 1975 aux E.U. Or le système Bas-Rhône, breveté par la CNABRL à Nimes en 1969, me paraît présenter tous les avantages recherchés, avec en plus la facilité d'installation (rigole triangulaire proche du rang, cloisonnée en biefs alimentés chacun par un ajutage muni d'une bague brise-jet, la rampe étant placée en fond de rigole, ce qui la protège) et la précision d'apport (par le choix du diamètre le plus adapté choisi dans une gamme de 10 ajutages (allant de 1,2 à 2,1 mm de 0,10 en 0,10 mm). Ce système, que la SETI à St Gilles (France) représente, a été installé effectivement dans plusieurs pays en développement (Libye, Maroc, Bénin, Brésil, etc...) où sa rusticité le rendait préférable au g à g. Il est certain que l'extension de ce système serait très souhaitable, ne serait-ce que parce qu'il apparaît comme proche de l'irrigation à la raie, mais avec les avantages de l'irrigation localisée (économie d'eau et de main d'oeuvre, précision et fréquence des apports, inutilité du nivellement, etc...).

Fresno B.2: voir page 31

Fresno D.4 G à g sur vergers de pins semenciers (Drip systems for pine tree seed orchards) par Jackie W.D. Robbins, Steve W. Coleman et Don W. Mc Mahone. Louisiane. E.U.

L'irrigation est nécessaire pour l'établissement des vergers, même en climat dit "humide" (1 année sèche sur 5). La dépense, particulièrement en g à g, est très faible par rapport à l'investissement nécessaire pour arriver à l'âge adulte (1 million de dollars/ha). Les réseaux enterrés sont moins sujets aux dégâts (animaux et façons culturales, mais les réseaux de surface sont moins chers (1 400 contre 2 000 \$/ha) et plus facilement réparés (bien que plus vulnérables).

L'irrigation est maximale pendant 5 ans pour àssurer le développement végétatif, ensuite limitée au printemps seulement, pour que la sécheresse estivale provoque une induction florale maximale. L'apport d'engrais est également bénéfique.

On a observé un taux de survie de 97 % en irrigué et 5 % en non irrigué.

Fresno D.5 Les sols sableux répondent bien au g à g (Sands respond well to drip) par Frank E. Robinson, Université de Californie, Davis - E.U.

L'auteur décrit un essai de mise en valeur d'un plateau (mesa) situé à l'Est de la fertile "Imperial Valley" et délaissé jusqu'ici (depuis 85 ans) du fait de la nature sableuse de son sol (sables fins érodables par le vent, vitesse de filtration 150 à 500 mm/h, capacité de rétention 5 à 8 %). Commencé en 1980, avec une irrigation de surface par petits bassins de submersion de 100 m², qui s'est heurtée aux problèmes des pertes par infiltration et de l'action pertubatrice du vent sur le modelé du terrain, l'essai s'est poursuivi par de l'irrigation par aspersion et de la micro-irrigation. La forte teneur en sels de l'eau (1430 ppm) a occasionné la brûlure du feuillage des guayules\*, et les conclusions finales ont été les suivantes:

<sup>\*</sup> Plante à latex, qui fait actuellement l'objet de recherches pour sa culture en zone aride, notamment en Israël et aux E.U.

- Un sol sableux dépourvu de cohésion ne convient pas du tout à l'irrigation de surface en climat aride ou venteux.
- L'eau salée peut entraîner en aspersion des brûlures du feuillage de certaines cultures sensibles.
- Seule la micro-irrigation (ici gaines biwall et minidiffuseurs) permet une mise en valeur de ces sols susceptibles de porter n'importe quelle culture (guayule compris).
- Des doses égales à ET bac ont donné de bons résultats (nécessité d'un drainage des sols, en profondeur ou par un réseau de drainage en tuyaux).
- Nécessité d'ameubler le sol (par chisel) jusqu'à la profondeur racinaire normale de la culture et intérêt d'un apport massif initial de fumier (45 t/ha).
- Nécessité d'établir, un an avant toute culture, un réseau de haies brise-vent.

Fresno E.1: voir page 60

Fresno E.3 DT sur vergers aux Caraîbes (Trickle irrigation of orchard crops in the Caribbean) par C.A. Madramootoo, Québec, Canada.

Les Caraîbes, très arrosées en saison humide (de 1,27 à plus de 4 m d'eau), ont une saison sèche qui exige une irrigation de complément; mais les exploitations sont petites, les sols en pente, l'eau rare et le niveau des agriculteurs peu élevé. Dans l'une des îles, Ste Lucie, représentative des autres îles, un essai g à g de 3 ans sur 4 petites exploitations bananières a été financée par la Banque de Développement des Caraîbes. Bas prix de revient, rusticité, adaptation à des vergers sur pente, étaient 3 critères de base.

Sol argileux à faible perméabilité d'où un goutteur par plant en raison de la pente du sol, une rampe par rang O 10 mm, enterrée à 10 cm (sur une exploitation) ou posée sur le sol (sur les 3 autres exploitations).

Un arrosage/jour de 5 mm (dose mesurée sur le compteur du réseau) en saison sèche, contrôle fréquent des goutteurs et des rampes par les agriculteurs (vérification de la pression pour déceler la nécessité du nettoyage des filtres (à tamis et à sable). On a constaté que l'irrigation, accompagnée de meilleurs soins culturaux, permettait d'atteindre des rendements de 40 t/ha et plus, au lieu de 10 t/ha en sec. Mais il est indispensable de réserver cet investissement, relativement lourd, aux meilleurs agriculteurs, et à des cultures très intensives. Sur le plan hydrologique la microirrigation semble pour le moment à réserver aux zones des Caraîbes où la hauteur de pluie en saison sèche est inférieure à 500 mm. Mais des essais sont à faire sur d'autres cultures et d'autres types de sols.

Fresno E.5: voir page 91

Fresno E.6: voir page 94

Fresno E.7: voir page 121

Fresno E.8 Projet d'irrigation g à g de la Vallée du Jourdain. Un modèle pour les PVD (Jordan Valley, drip irrigation scheme. A model for developing countries) par Uriel Or-Netafim-Israël

L'auteur décrit les avantages qu'ont trouvés les agriculteurs arabes de la rive Ouest du Jourdain (300 m en dessous du niveau de la mer) quand on a remplacé l'irrigation traditionnelle par submersion par le g à g. Beaucoup de détails sur les techniques utilisées et les cultures nouvelles rendues possibles dans la région de Jiftlik.

Cet exemple montre que sous réserve d'une bonne vulgarisation et d'une certaine simplification, un système d'irrigation sophistiqué peut être assimilé aisément par des agriculteurs, la plupart illettrés, si son fonctionnement est facile et fiable, et ses résultats intéressants (rendements passant de 15 à 60 t/ha pour la tomate, 5 à 24 pour les concombres, 15 à 35 pour les oignons, 10 à 15 pour les piments). Le fait essentiel est que l'usager entretient bien mieux le réseau g à g qui lui appartient, que le réseau de canaux qui appartient à la collectivité. L'ensemble de l'économie et le niveau de vie ont augmenté parallèlement (radio, télévision, scolarisation, services sociaux, etc...) car on est passé d'une économie de subsistance autarcique à une économie de production.

Du fait que les grands projets d'irrigation des PVD n'ont pas donné les résultats escomptés, mieux vaut commencer par de petits périmètres, qui conviennent très bien au développement du g à g (la surface irriguée dans la vallée du Jourdain est passée en 10 ans de 3 600 à 5 000 ha). C'est ce qu'a démontré le projet présenté, qui peut servir de modèle pour le développement des PVD.

Fresno F.3. G à g sur cocotiers en Inde (Drip irrigation for coconuts in India) par R.K. Sivanappan et S.V. Kottiswaran, Université du Tamil Nadu à Coîmbatore-Inde

Le cocotier est très cultivé dans les zones côtières, notamment les Etats du Sud de l'Inde (Kerala, Tamil Nadu et Karnataka) et représente 20 % de la production mondiale.

Dans les zones côtières, les sols sableux à faible rétention prédominent, et les ressources en eau douce sont très limitées. L'irrigation traditionnelle par bassins provoque de grosses pertes en eau, et le g en g permet de réaliser une économie de 60 %, d'où possibilité d'extension des surfaces irriguées. On utilise des capillaires sous 3 m.C.E., 2 par arbre d'abord, puis les rampes font le tour des arbres sur 1,5 m de diamètre avec 5 à 6 goutteurs. Dans une ferme de 4 ha, le passage en g à g a permis d'irriguer toute la surface, la récolte passant, en 1 an, de 30-40 à 60-70 noix/arbre (elle doit encore augmenter). Investissement 750 dollars U.S., durée de vie 15 ans. Le rapport bénéfice/coût est de 1,44 avec un taux d'actualisation de 12 %.

En Inde le g à g est très rentable et doit se développer rapidement.

Fresno R.5 Recherche et développement du g à g en Inde (Drip irrigation research and development in India) par R.k. Sivanappan, Université de Coimbatore, Tamil Nadu, Inde.

Devant nourrir une population en augmentation constante, l'Inde doit intensifier ses cultures en multipliant par 3 l'efficience de l'eau, bien que l'affectation de ses ressources en eau à l'agriculture soit passée de 90 à 75 %. D'où la nécessité d'adopter des techniques plus efficientes, c'est-à-dire le g à g.

Dans les essais réalisés à Coimbatore et dans l'Etat d'Hariana\*, on constate une augmentation de récolte et une réduction du volume d'eau utilisé, d'où une augmentation d'efficience de 50 à 100 %.

Le gouvernement indien a adopté une politique d'aide au développement de cette nouvelle méthode, qui se développe surtout dans les Etats du Sud et permet, avec le même débit, d'irriguer une surface 2 ou 3 fois plus grande.

Budapest 40 Etude, réalisation et maintenance des réseaux d'irrigation g à g . par Padmakumari et al, Université de Coimbatore, Tamil Nadu, Inde.

Rapport très général faisant ressortir l'intérêt du goutte à goutte en Inde où, après affectation de la totalité des ressources en eau disponibles, 50 % de la surface cultivée devrait rester en sec. D'où l'intérêt d'augmenter l'efficience (production par m³ d'eau d'irrigation), afin d'atteindre l'autosuffisance et même d'exporter.

L'auteur indique que le goutte à goutte est de plus en plus apprécié par les agriculteurs pour les augmentations de rendement et l'économie d'eau qu'il leur procure. Le rapport est cependant extrêmement classique et utilise surtout le manuel de la FAO.

Budapest 42 Quelques applications du g à g (Some applications of the drip irrigation systems) par Prodansky, Afghanistan, Jovkov et Kovachev Bulgarie.

Rapport très général faisant ressortir les avantages du goutte à goutte et ses potentialités de développement en Bulgarie, où le rendement de l'irrigation est actuellement de 0,45 à 0,50 (entre 0,8 à 0,9 en goutte à goutte) et où le rendement de la main d'oeuvre devrait être multiplié par 3. Il fait cependant remarquer l'inefficacité des filtres à tamis quand l'eau est riche en débris organiques et parle de l'essai poussé d'un filtre à sable à nettoyage automatique hydraulique. Il estime aussi que l'utilisateur du réseau doit en être le propriétaire, afin de mieux l'entretenir.

Budapest 47.: voir page 65

## B. DIFFICULTES ET PRECAUTIONS D'EMPLOI DE LA MICRO-IRRIGATION

10 rapports sur ce sujet ont été présentés, 9 à Fresno, 1 à Budapest.

De plus, en fin de chapitre, j'ai ajouté le résumé d'un article paru en juillet 1986, dans une revue australienne de viticulture, et rédigé par F. Ligetvari, organisateur, avec I. Petrasovits, de la Conférence de Budapest.

Cet article relate un essai d'irrigation de complément en goutte à goutte sur vigne, qui montre bien (comme les essais effectués au Mas d'Asport à St Gilles par la Compagnie Nationale d'Aménagement du Bas-Rhône et du Languedoc) que, pour globalement positive qu'elle soit, la micro-irrigation de complément sur vigne est une technique délicate, dont l'utilisation optimale nécessite certaines précautions.

<sup>\*</sup> Etat, détaché du Pendjab, où se trouve la capitale fédérale, New Delhi.

# Synthèse

Evidemment de nombreux rapports insistent sur les écueils pratiques à éviter et les précautions à prendre :

- Obstruction en g à g, nécessitant une filtration et souvent un traitement chimique de l'eau en tête des réseaux (voir E-10 Irak) qui signale aussi que les cultures sont plus sensibles aux pannes de pompage.
- Nécessité d'une étude soignée de chaque situation, permettant de choisir le meilleur système de micro-irrigation (g à g par exemple), le meilleur dispositif (débit, nombre et position des goutteurs par rapport aux plantes, la meilleure position de la rampe (dessus, sur ou dans le sol), le meilleur goutteur sur le plan "qualité technologique x adaptation au système cultural x prix", le meilleur avant-projet sommaire, après comparaison rapide des diverses solutions techniques possibles, enfin le meilleur projet détaillé résultant d'un calcul d'optimisation (voir B.5 E.U).
- Le g à g n'est pas une panacée, 2 rapports californiens (V.2 et V.4) signalent les principales précautions à prendre pour obtenir une réussite complète.
- A Hawaï, il y a eu de grandes difficultés sur canne à sucre. Le risque d'obstruction des orifices des gaines Biwall nécessite plusieurs étages de filtration si l'on part d'eau de surface avec traitement, continu ou intermittent, par un oxydant (Cl ou eau de Javel). Bien que les rampes soient légèrement enterrées, il y a des dégâts causés par des vandales, des rats, des mangoustes et surtout des fourmis qui élargissent les trous ou percent les gaines. Le pincement des gaines par des repousses provoque un rétrécissement de la section de la gaine.

Précaution capitale quand on a réparé une rupture ou une coupure de gaine (ou de rampe) : faire une purge d'extrémité pour chasser les impuretés qui ont pu pénétrer dans le réseau.

- -Au Vénézuéla sur canne à sucre, les résultats agronomiques des essais sont prometteurs, mais le passage à la pratique nécessitera beaucoup de soin de la part des irrigants.
- -E.I (Australie) traite du g à g sur vigne, de son intérêt en cas de ressources en eau très limitées, mais aussi des problèmes : fonctionnement des goutteurs plus difficile à contrôler que celui des asperseurs (d'où le succès des mini-diffuseurs et mini-asperseurs plus visibles de loin, dépôts de poussière sur les grappes, provenant du sol desséché des interlignes, plus grande sensibilité à la sécheresse lorsque, par manque de ressources en eau, on ne peut irriguer une année donnée.
- -En Nouvelle Zélande (E.4) la micro-irrigation est très appréciée pour ses nombreux avantages, mais la qualité des matériels (importés) laisse à désirer et la création d'une station d'essais est à l'étude. La fertigation oblige à une grande uniformité de distribution et à un pilotage précis des doses (ni trop, ni trop peu).
- -Le rapport Israélien (37) indique la progression de l'automatisation, depuis les vannes volumétriques jusqu'aux ordinateurs de gestion de réseaux individuels type Motorola. Ce qui est nouveau, c'est l'utilisation de l'ordinateur pour coordonner dans un réseau collectif les arrosages, programmés par chaque agriculteur mais satisfaits en fonction des possibilités hydrauliques du réseau ainsi que des ressources en eau disponibles.

Nous avons déjà signalé que des réalisations similaires (par une firme française de matériel d'automatisation de Manosque) existent aussi en France, sur pommier, dans la région de St Martin d'Auxigny, depuis un an.

# Analyse des communications présentées

Fresno D.1: voir page 33

Fresno D.2: voir page 34

Fresno E.1: voir page 60

Fresno E2 Irrigation g à g sur canne à sucre au Vénézuéla (Sugarcane under drip irrigation in Venezuela) par G. Godoy, A. Palacios et A. Barrante. Caracas, Venezuela.

Rapport très détaillé sur les 2 essais entrepris en 1983 et 1984.

Le boom pétrolier a entraîné un déclin de l'agriculture : par exemple 460 000 tonnes de sucre en 1971, 371 000 en 1980. Avec la baisse des cours du pétrole, l'agriculture a repris de d'importance et le g à g a été introduit pour valoriser les faibles ressources en eau, principalement sur canne à sucre (2 parcelles d'essai de 28 et 34,5 ha avec augmentation de production par rapport à la raie allant de 50 à 100 %. Plantation en rangs jumelés espacés de 0,45 cm sur billons de 0,6 m tous les 1,65 m avec biwall enterré de 0,20 m débit 1,3 l/h tous les 0,6 m. Le biwall est prévu pour rester 5 à 6 ans (durée de la plantation). Sur 2 ans, on a observé une augmentation du rendement de 30 à 70 % par rapport à la raie.

Les résultats agronomiques sont prometteurs, mais le passage dans la pratique nécessitera beaucoup de soin de la part des agriculteurs, notamment pour le pilotage de l'irrigation (évaluation des doses en fonction des besoins et des ressources disponibles), ainsi que pour l'exploitation et la maintenance du réseau (injection d'engrais et d'eau de javel).

Fresno E.4: voir page 120

Fresno E.10 En Irak, des essais comparatifs en g à g (Comparative studies on drip irrigation in Iraq) par Raad Omar Salih, de la recherche scientifique, Bagdad-Irak.

Dans les vallées du Tigre et de l'Euphrate, l'ET est de 3 m, la pluie de 0,1 à 0,2 m par an. L'irrigation est donc indispensable pour toute culture. Depuis 1975, le g à g est utilisé sur plantations forestières dans les terrains montagneux du Nord, sur cultures diverses en sol gypseux dans le centre (région de Aldour), sur forêts et arbres fruitiers dans l'Ouest, sur tomate d'hiver en sol sableux dans le sud (région de Zuber).

L'auteur décrit les essais conduits de 1979 à 1984 dans la station agronomique de Fudiliyah (5 ha moitié poiriers et vignes, moitié maraîchage). L'eau, pompée en rivière, a une conductibilité électrique variant entre 0,8 (hiver) et 1,4 (été) dS/m. La température de l'air va de -2 à +45°C.

Le réseau a été conçu pour apporter en pointe 10 mm/j c'est-à-dire 0,8 Ebac classe A. le sol est limono (41 %) argileux (44 %) et calcaire (30 %).

- Sur poiriers les essais ont porté sur l'espacement des goutteurs (0,5, 0,75 ou 1 m) et la fréquence d'arrosage (tous les jours ou tous les 2 jours).
- Sur maraîchage (pomme de terre, pois, tomate, aubergine), ils ont porté sur le niveau d'arrosage (100, 75 et 50 % de 0,8 Ebac), sur l'espacement des goutteurs (0,5 et 1 m) et leur type (Key-clip 2 l/h et Biwall) avec comme témoin la raie. Les mesures ont montré que le volume du bulbe était proportionnel à la dose et que la salinité au pied des plantes était minimale en g à g et maximale en irrigation à la raie.

Le g à g (Biwall surtout avec espacement de 0,45 m entre orifices) présente des avantages indéniables sur la raie (économie d'eau, utilisation d'eau salée, augmentation des rendements et réduction des adventices), mais avec les inconvénients suivants : obstruction des goutteurs (dépôt de limon ou de sel), sensibilité des cultures aux pannes de pompage.

Fresno V2 Les étapes de l'apprentissage d'un agriculteur en irrigation g à g (Drip irrigation: the Grower's Learning Curve) par Robert W. Grove et John C. Wells Junior, Californie, E.U.

Les auteurs estiment que le g à g, qui est de loin la technique la plus valable du Far-West car elle permet de résoudre, en même temps que l'irrigation, d'autres problèmes culturaux, n'est pas pour autant une panacée et exige un certain apprentissage pour obtenir rapidement de bons résultats. D'abord un bon installateur, expérimenté et sérieux, ensuite un essai à petite échelle, sur 5 à 10 % de sa surface, avec une station de filtration excellente et de nombreuses vannes, ce qui permet d'expérimenter diverses variantes techniques, ensuite une bonne compréhension de chaque élément du réseau que l'utilisateur doit pouvoir entretenir, corriger et dépanner (avec les outils nécessaires et quelques pièces de rechange essentielles), ensuite choisir une bonne technique de pilotage (attention à la surirrigation) en ayant à la fois les bases nécessaires pour suivre le bilan hydrique et contrôler les risques de stress dans le sol (tensiomètres ou sonde à neutrons) et dans la plante, ensuite pouvoir injecter des engrais et d'autres produits chimiques, ensuite assurer une bonne maintenance (attention aux rongeurs, aux oiseaux, aux insectes, et... au personnel de terrain), enfin adapter les techniques culturales à la nouvelle technique d'arrosage, de façon à augmenter les rendements et diminuer les frais d'entretien (désherbage par ex.).

Il est prouvé que, dans bien des cas, on peut économiser 50 % d'eau (par rapport à la raie), avancer les dates de récolte et donc introduire de nouvelles cultures à plus long cycle végétatif, augmenter les rendements (souvent de plus de 25 % avec une qualité améliorée), réduire les dépenses d'engrais et de produits de traitement, utiliser avec profit les mulchs plastiques. On peut enfin étendre les cultures à des régions accidentées et à des sols marginaux.

Le g à g est la technique de l'avenir.

Fresno V.4 Ce qu'il faut changer pour réussir en micro-irrigation (Micro-irrigation. The changes required for success) par Lanny R. Ptacek, Grove Chemical Company, Chula Vista, Californie, E.U.

L'auteur cite Albert Einstein, 1946 : "La puissance énorme de l'atome a tout changé, sauf notre mode de pensée". Même chose pour l'irrigation localisée, encore beaucoup trop peu utilisée, alors qu'elle permet une maîtrise de l'environnement de chaque

plante avec un pas de temps réduit au jour et même à l'heure. Possibilité de stériliser le sol par le réseau g à g("fumigants"). Besoin d'une recherche officielle interdisciplinaire. Possibilité de modifier (le pH par ex.) de la partie humidifiée en localisation, et d'introduire des pesticides systémiques pour traiter les cultures contre telle ou telle carence ou maladie. Les avantages du g à g peuvent être très différents d'une culture à l'autre (par exemple fraise et coton). Nécessité d'une assistance technologique des fabricants de matériels. L'expérience des usagers ne s'acquiert qu'au bout de plusieurs années.

Le g à g est la technique de l'avenir, mais chacun doit la perfectionner sans cesse, l'adapter pour en tirer le meilleur usage. C'est une nouvelle forme d'agriculture qui commence.

Budapest 37.: voir page 131

Résumé d'un article paru en juillet 1986 dans la revue "The Australian Grape Grower and Wine Maker"

# L'IRRIGATION PEUT AMELIORER LA QUALITE DU VIN

Par le Dr F. LIGETVARI de l'Université agricole de Keszthely - Hongrie

L'auteur rappelle l'ancienneté de la culture de la vigne, introduite par les Romains, et qui s'est étendue progressivement à nombre de régions dans des régions accidentées à sol volcanique, puis, après la crise du phylloxéra, s'est développée dans les plaines hongroises à climat relativement sec (pluviométrie < 500 mm/an), sur des sols sableux. La surface actuelle de vigne est de 200 000 ha dont 70 à 80 % pour la production de vin.

A la fin des années 50, le vignoble fut modernisé (palissage, plus grande densité, utilisation généralisée d'engrais et de pesticides). Mais l'irrigation faisait l'objet de préjugés, dont le principal était le risque de nuire à la qualité du vin. Avec le développement de la micro-irrigation, les Hongrois ont pensé que les risques sanitaires de l'aspersion étant éliminés, le goutte à goutte pouvait, en période de sécheresse, sur des sols pentus ou à faible capacité de rétention, avoir des effets bénéfiques, en tant qu'irrigation de complément, sur la croissance végétative, le rendement et la qualité du fruit. D'où un essai conduit, dans une ferme d'Etat à Etyek (47°30' de latitude) de 1977 à 1981, sur une vigne de Chasselas de 10 ans plantée à 3,5 x 1,2 m, 1 goutteur (capillaire enroulé en hélice marque australienne Tricklon) de 1,3 l/h par cep, 2 traitements 65 et 75 % ET, avec des arrosages journaliers ou tous les 2 ou 3 jours, selon les besoins.

Les arrosages ont été effectués en 1977, 78 et 79, supprimés en 1980 pour pouvoir constater les arrière-effets de l'irrigation, et en 1981, le gel a fait 90 à 95 % de dégâts.

Les quantités d'eau appliquées pendant l'essai ont été d'environ 100 mm/an pour le traitement 65 % ET et 160 mm pour le traitement 75 % ET.

## Observations

- -poids de vendange accru, passant de 10 à 16 tonnes/ha environ,
- -qualité du jus : moins sucré (- 10 %) mais plus acide (+ 1 g/l),
- -production de sucre nettement plus élevée (1,6 au lieu de 1,1 t/ha).

Ces modifications sont jugées très favorables car, en sols sableux, le manque d'acidité est un grave défaut.

Des arrière-effets sensiblement identiques ont été notés en 1980, ce qui s'explique par la vigueur accrue des ceps provoquée par l'irrigation au cours des 3 années antérieures. Cependant, si l'irrigation a notablement accru la vigueur des plants les plus faibles qui ont été mieux alimentés en été, elle a réduit celle des plants les plus vigoureux, ce qui s'explique, pour ces derniers, par une croissance végétative automnale et un défaut d'aoûtage des jeunes sarments qui ont gelé pendant l'hiver.

De grandes différences ont été observées selon les cépages : au cours d'un autre essai, on a pu observer sur certains cépages une réduction de récolte, provoquée par une croissance végétative excessive qui a entraîné de la coulure. Ce défaut est atténué par un palissage adéquat qui permet d'augmenter la charge et donc de réduire la vigueur des ceps.

Donc l'irrigation (par goutte à goutte) peut avoir des conséquences plus ou moins favorables sur le vignoble. Son introduction doit être précédée d'une étude pédoclimatique, de la connaissance de la vigueur potentielle du cépage considéré, et d'une amélioration de l'ensemble du système cultural (palissage, usage d'engrais, etc...), afin d'obtenir les résultats optimaux.



A. Méthodologie adoptée par le groupe micro-irrigation de la CIID	176						
- 1 <sup>re</sup> enquête (1981) - 2 <sup>e</sup> enquête (1986)							
B. Résultats globaux 1986 et progression depuis 1981	177						
	177						
C. Résultats détaillés en 1986							
Cultures fruitières Cultures arbustives Cultures annuelles Cultures abritées Espaces verts							
D. Tendances observées	183						
E. Difficultés rencontrées	183						

## A. METHODOLOGIE ADOPTEE PAR LE GROUPE MICRO-IRRIGATION DE LA C I 1 D\*

- Un premier questionnaire a été adressé aux principaux pays utilisateurs, sur la situation fin 1981. Il comportait 11 questions :
  - Sur quelles cultures utilise-t-on la micro-irrigation dans votre pays ?

- Sur quels types de sols ?

- Préciser les superficies par type de culture

- Ces superficies sont-elles le résultat d'une enquête statistique, ou d'une simple estimation ?
- Dans quels cas la micro-irrigation est-elle le plus utilisée ?

- Systèmes utilisés ?

- Résultats sur le plan cultural
- Résultats sur le plan économie d'eau
- Tendances constatées
- Facteurs limitants
- Difficultés rencontrées. Ont-elles été résolues et comment ?
- Une deuxième enquête, étendue à tous les pays membres de la CIID, a été effectuée sur la situation fin 1986, afin d'actualiser la première enquête. Le questionnaire était le suivant :
- Tendances constatées dans l'évolution de la micro-irrigation
  - . Extension à de nouvelles cultures ? Lesquelles ?
  - . Tendances en matière de distribution de l'eau (goutteurs, mini-diffuseurs, mini-asperseurs, gaines perforées, etc...) ?
- Essais des distributeurs et des filtres

Y a-t-il des essais officiels dans votre pays ? Si oui, indiquer les noms et adresses des stations d'essais. Des résultats sont-ils publiés ?

- Fertigation
  - . Comment est-elle pratiquée ?
  - . L'est-elle couramment ?
  - . Quels sont les éléments apportés ?

<sup>\*</sup> La CIID (Commission Internationale pour l'Etude des Irrigations et du Drainage) est un ONG (Organisme Non Gouvernemental) créé en 1950. Son siège est à New Delhi (Inde). Elle groupe la quasi totalité des pays intéressés par les problèmes de déficit ou d'excès d'eau. Elle a pour objectif la diffusion entre les divers pays des connaissances en irrigation, drainage et lutte contre les crues

- Echecs ou modifications : Y a-t-il des exemples où la micro-irrigation :
  - . a été abandonnée en raison de résultats défavorables ?
  - . si oui précisez.
  - a présenté d'abord des difficultés qui, par la suite, ont été résolues par des modifications techniques ?

## B. RESULTATS GLOBAUX 1986 ET PROGRESSION DEPUIS 1981

Le tableau V p. 208 regroupe les chiffres 1981 et 1986. Certains pays, comptés en 1981, n'ayant pas répondu en 1986, une correction a été faite pour tenir compte de ces pays. On arrive à un peu plus de 1 million d'hectares irrigués en micro-irrigation sur 203 millions d'hectares irrigués par toutes les méthodes (pour les pays asiatiques, ce chiffre de 203 millions ecomprend le nombre de récoltes irriguées par an soit 2 par ha équipé si la terre porte 2 récoltes par an, ce qui fait que la surface réelle équipée est moindre).

Il y a donc environ 0,5 % en micro-irrigation en 1986 (0,2 % en 1981). Dans les 5 ans (1981-86) les superficies équipées ont plus que doublé (coefficient moyen 1986 de 2,60

pour les chiffres bruts des 2 enquêtes, et de 2,68 pour les chiffres corrigés en 1986.

Les USA sont toujours en tête, mais leur importance relative (36 % au lieu de 45 % du total) a diminué, comme pour d'autres pays : Israël (12 au lieu de 20), Afrique du Sud (9,5 au lieu de 11), France (4,7 au lieu de 5,5). Par contre l'Australie a nettement progressé de 4,5 à 5,4 %).

Le coefficient 1986 montre bien la progression dans chaque pays. A part Israël

(1,55) et Chypre (1,52), pays déjà très équipés en 1981, la plupart des pays dépassent 2, l'Australie atteint 2,93 et la Jordanie 11,76, grâce au développement du goutte à goutte sur maraichage, dans la vallée du Jourdain, comme son voisin Israël.

La France passe du 4ème au 6ème rang, dépassée par l'Australie, et aussi par l'Espagne, qui, sans avoir rien déclaré en 1981, annonce une surface très importante de 112 500 ha en 1986.

Le cas de la Hongrie est paradoxal. C'est le seul pays qui recule en superficie alors qu'au congrès de Fresno, il avait annoncé que ce mode d'irrigation s'appliquait maintenant aux grandes propriétés.

## C. RESULTATS DETAILLES, EN 1986

Le tableau VI indique, pour chaque pays ayant répondu, les superficies irriguées suivant les cultures classées comme suit :

- Cultures fruitières (agrumes, arbres fuitiers à feuilles caduques, avocatiers et manguiers, oliviers et noyers, pépinières, divers).

#### COMMISSION INTERNATIONALE DES IRRIGATIONS ET DU DRAINAGE

#### TABLEAU VI

#### ENQUETE SUR LA MICRO-IRRIGATION FIN 1986 - SITUATION DETAILLEE PAR PAYS ET PAR TYPE DE CULTURE

PAYS	CULTURES FRUITIERES							ES	LEGU	MES	FLEU	RS	GR/	NDES CU	LTURES	DIV.	DIV.	T
		Vergers	Avocatier	Oliviers			De	Ī	Plein	Serres	Plein	Serres	Coton	Canne	Autres	à spécifier	TOTAL	OBS
U.S.A.	Agrumes 87.000	76.000	manguiers 4.900	37.200	Pépinières 5.700	4.000	34.800	3.600	51.000	5.700	2.400	1.600	17.000	à sucre 37.200	15.000 (a)	8.900 (b)	392.000	a. fraises ananas b. espaces verts paysagers
Israël	31,200	10.000	13.000	5.700	0	1.800	5.200	0	23.000	410	0	1.500	28.000	o	5.000 (c)	2.000 (d)	126.810	c. maïs d. bananes
Espagne	16.500	30.000	3.000	2.000	3.500	500	4.000	2.000	20.700	7.700	1.000	5.000	8.000	1.000	1.000 (e)	6.600	112.500	e. non spécifié
Afrique du Sud	50.000	4.000	400	350	100	-250	45.000	0	50	200	150	0	400	550	800 (f)	0	102.250	f. tabac
Egypte	10.000	6.000	3.000	7.000 (28%**)	200	3.000 ***	13.000	3.000	20.000	600	200	150	001	· 0	0	2.200	68.450	
Australie	9.958	12.337	4.733	3.493	150	10.664	7.892	858	6.853	105	470	240	980	0	0	25 (g)	58.758	g. cucurbitacées
France	1.175	31.633	50	1.510	.2.352	4.000	4.230	0	3.467	2.310	188	0	0	. 0	5 (h)	33 (i)	50.953	h. maîs i. tabac
Portugal	10.000	1.500	50	10	٥	0	4.500	0	6.000	1.500	0	.5	0	o	. 0.	0	23.565	
Italie	1.500	10.000	0	2.500	200	0	4.500	0	1.800	800	100	300	0	0	0.	0	21.700	·
Brésil	Surfaces	non précis	ées mais co	mprenant	agrumes, co	oton et ca	afé	-									20.150	
Mexique	1 700	0	1.450	200	2	930	2.350	0	6.050	0	2	0	0	0	. 0	0	12.684	
Jordanie	400	400	O	0	0	0	200	0	10.000	1.000	0	0	0	0	0	0	12.000	
Taîwan	300	1.000	0	0	0	500	50	O	2.700	o	10	0	0	3.010	2.400 (j)	35 (k)	10.005	j. non spécifié k. pelouse
Chine Populaire	400	8.200	0	0	.0	0	300	o	200	50	100	50	0	0	550 (1)	150 (m)	10.000	L arachide, blé  m. champigons herbes médic.
Chypre	3.900	1.560	55	140	20	310	530	0	2.210	500	10	50	0	0	165 (n)	550 (o)	10.000	n. arachides, blé o. p. de t.
Canada	0	1.900	0	0	145	O	530	0	1.000	90	0	130	0	o	0	5.395	9.190	p. petits fruits brise-vent
Chili	300	1.000	700	300	15	0	5.000	0	0	1.000	0	15 ,	0	0	500	0	8.830	q. prairies

TABLEAU VI

PAYS		CULTURES	FRUITIERE	S			VIGN	ES	LEGU	IMES	FLEU	RS	GR/	NDES CU	LTURES	DIV.	TOTAL	OBS.
.,,,,,	Г		Avocatiers	Oliviers noyers	Pépinières	Autres	De table	Autres	Plein champ	Serres tunnels	Plein Champ	Serres tunnels	Coton	Canne à sucre	Autres	à spécifier	, , , , , ,	ODG
Maroc	5.000	550	a	100	0	0	0	0	0	150	0	25	0	0	0	0	5.825	
Grande Bretagne	0	900	0	٥	0	0	1.550	400	0	1.800	40	0	0	0	0	0	4.690	
Yougoslavie	0	2.600	0	0	0	0	1.200	0	20	0	0	0	0	0	0	0	3.820	
Thaīlande	700	1.600	800	100	200	150	50	0	50	10	0	0	0	0	0	0	3,660	
Pays Bas	0	o	0	0	o	0	0	0	0	2.500	0	500	0	0	0	0	3.000	
Hongrie	0	2.000	0	0	o	0	300	0	110	40	0	0	0	0	0	o .	2.450	
Tchécoslovaquie	0	0	0	0	0	1.700	595	0	0	0	0	15	0	0	0	0	2.310	
R.F.A.	0	1.000	o	0	300	0	250	0	100	200	0	0	0	. 0	0	0	1.850	
Pologne	0	1.200	0	0	o ·	٥	0	0	100	200	2	20	0	0	o	0	1.522	
Japon	0	60	0	0	0	0	0	0	0	1.130	0	150	0	40	20 (r)	· o	1.400	r. non spécifié
Malaisie	0	0	0	0	20	0	0	.0	50	0	0	500	٥	50	0	10 (s)	630	s. tabac
Malawi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	389 (t)	٥	389	t. café
Autriche	0	30	0	0	20	5	150	0	0	5	0	10	0	0	0	0 .	220	
Equateur	0	0	0	0	0	o	0	0	o	0	0	10	0	0	0	10 (u)	20	u. fruits
TOTAUX	230.033	205.470	32.138	60.603	12.924	27.809	136.177	9-858	155.460	28.000	4.672	10.270	54.980	41.850	25.829	25.908	1081-631	

<sup>\* =</sup> goutteurs

<sup>\*\* =</sup> gaines g à g

<sup>\*\*\* =</sup> mini-asperseurs

Pays	Tendances "cultures"	Tendances "distribution à la parcelle"	Autres tendances	Essais des : . distributeurs . filtres	Application d'engrais	Extension de la fertigation	Types d'engrais utilisés en fertigation		Modification de réseaux
USA	asperges, kiwis herbes médicinales ananas	dominance mini-diffuseurs, et mini-asperseurs	réduction du développement du fait d'autres facteurs	Centre d'essais à Fresno   Californie	par le réseau	80 %	N, P, K	поп	non
Israël	coton maîs	goutteurs intégrés goutteurs auto- régulants	utilisation sur agrumes des mini-asperseurs	Centre d'essais à Tel Aviv (Standards ass.)	par le réseau	100 %	N liquide	non	traitement au Cl², filtre 80 mesh
Espagne	coton vigne de table	mini-asperseurs gaines	goutteurs auto- régulants	Services régionaux de Catologne	par le réseau	100 %	N,P,K, et mélanges	non	non
Afrique du Sud	coton, maïs, , tabac, canne à sucre	goutteurs auto-régulants	non	Ministère de l'Agriculture à Silverton	par le réseau	80 %	surtout N	oui, en raison de l'obstruction des goutteurs	goutteurs autorégulants de meilleure qualité
Australie	tomate, coton, bananes, fruitiers à noyau	mini-asperseurs gaines	utilisation croissante de la micro-irrigation	Ministère de l'Agriculture de l'Etat d'Australie du Sud Loxton	en général pas par le réseau	entre 10 et 50 %	N, P, K	l'obstruction est un problème majeur dans certaines régions	amélioration de la filtration et de la chloration
France	maîs, fraises	minidiffuseurs gaines	tendance à la désinfection des réseaux	Ministère de l'Agriculture CEMAGREF station d'essais du Tholonet	par le réseau	surtout en serres	N, P, K	non	quelques rem- placements de goutteurs par des mini-diffuseurs
Portugal	avocats, kiwis, fruits de la passion	?	?	non	par le réseau	100 %	N, P, K	non	non
Italie	arbres fruitiers, maîs, actinidia, vigne de table	mini-asperseurs	gaines perforées au dessus du couvert végétal	Institut hydraulique agricole de Pise	en général pas par le réseau	très peu	N, P, K	parfois, en raison des obstruction	filtres ajoutés rinçage à l'acide
Jordanie	vigne de table goyaves, fleurs	?	non	Société Scientifique Royale à Amman	par le réseau + répandage manuel	100 %	N, P, K	non	non
Taïwan	asperges, melons, radis, thé agrumes	mini-asperseurs	utilisation de tuyaux PE perforés	non	pas par le réseau	très peu	engrais liquides	parfois (obstruction)	rinçage a l'eau pure
Chine Populaire	champignons, melons, herbes médicinales	mini-asperšeurs à l'essai	non	plusieurs laboratoires	par le réseau	très répandue	engrais solubles (ex. urée)	par obstruction manque d'habileté et de savoir faire	
Chypre	kiwis, fraises, arachides, p de t	mini-asperseurs et goutteurs à faible débit	semi-automati- sation, fertili- sation continue	Institut de recher- recherches agricoles à Nicosie	par le réseau	48 %	N03, NH4 SO4(NH4)2	non	non
Canada	saskatoons (fruits)	mini-asperseurs (fruits à noyaux) gaines (légumes)	mini-asperseurs pour les abris autour des fermes	Service de l'irrigation de l'Alberta	pas par le réseau	très peu	urée et engrais liquides	non	non
Chili	vigne de table	?	non	non	par le réseau + apports directs	très répandue	urée	non	non
Maroc	bananes, fieurs	goutteurs mini-asperseurs	non	SASMA Casablanca	par le réseau	limitée	?	oui, par : . vice de conception . manque d'eau	non

Pays	Tendances "cultures"	Tendances "distribution à la parcelle"	Autres tendances	Essais des . distributeurs . filtres	Application d'engrais	Extension de la fertigation	Types d'engrais utilisés en fertigation		Modification de réseaux
Grande Bretagne	p de t précoces	goutteurs gaines	non	non	pas par le réseau	négligeable	N P K + oligo- éléments	oui (eau incrus- tante, algues, dégâts par ani- maux nuisibles)	utilisation de filtres et rinçage à l'acide
Mexique	fruits, légumes, fleurs, noix	goutteurs à chicanes	non	non	par le réseau	80 %	NPK	oui (mauvaise qualité des réseaux)	g à g — mini-diffuseurs sur bananes
Thaīlande	agrumes, mangues, litchis, palmiers à huile, durians	mini-diffuseurs	non	non	pas par le réseau	?	?	oui (obstruction, dégâts par ani- maux nuisibles)	non
Pays-Bas	aubergines, tomates, haricots verts, fleurs	goutteurs à chicanes et capillaires	nouveaux models de goutteurs en cours de mise au point	non	par le réseau	?	NPK	oui (obstruction par substances humiques et micro-organismes	nettoyage par élévation de la pression, acide, etc
Tchécoslo- vaquie	vigne de table pommes, pêches houblon	points de gouttage enterrés	mini-asperseurs spéciaux pour vergers	Centre de recher- che sur la fertili- té des sols à Bratislava	pas par le réseau	néant	néant	non	des goutteurs à cheminement plus large préviennent les obstructions
RFA	néant	g à g mobile	rampes pivotantes	non	par le réseau	50 %	N	oui (coût de la m.o. et temps d'installation)	passage au g à g mobile
Pologne	vergers	mini-asperseurs	· non	non	par le réseau	en serres	NPK	oui (obstruction)	systèmes de déferrisation
Japon	légumes, fleurs, pommes, poires japonaises	gaines simples et doubles goutteurs	non	non	pas par le réseau	très peu	?	non	non
Malaisie	néant	mini-asperseurs	non	non	pas par le réseau	non	?	oui (dépôts de fer et de bacté- ries)	non
Malawi	café	goutteurs auto-régulants	concurrence par l'irrigation sous frondaison	non	?	?	?	oui (dépôt de fer et de bactéries)	non
Autriche	petits fruits	goutteurs auto-régulants	non	non	pas par le réseau	surtout serres et pépinières	engrais liquides et solides	oui (obstruction, investissements élevés)	non
Equateur	fruits (surtout fraises)	goutteurs	non	non	pas par le réseau	non	?	oui (obstruction, investissements élevés)	non
Egypte	hiver: légumes, blé trèfle, luzerne été: soja, arachide sorgho, betterave à sucre, maïs, tournesol	aux jardins	retour du g àg à la raie sur 20 % de la surface équipée en micro-irrigation	non	rarement par le réseau (diffuseurs à engrais solubles)	très peu	NPK	oui sur 20 % de la surface équipée (problèmes de maintenance et d'obstruction, dus aux faibles pressions)	-passage aux ajutages en cas de surélévation des canaux -sinon, retour à la raie

- . vigne (de table ou à vin)
- . cultures maraichères (plein champ ou protégé)
- . cultures florales (plein champ ou protégé)
- . grandes cultures (coton, canne à sucre, autres)
- . autres cultures (à spécifier)

Pour l'ensemble des pays, on a la répartition suivante :

. cultures fruitières	535 495 ha soit 55 %	68 % de cultures
. vigne (surtout raisin de table)	127 685 ha 13 %	arbustives
. cultures maraîchères	156 810 ha 16 %	30 % de cultures
. cultures florales		non arbustives, en
<ul> <li>grandes cultures</li> </ul>	122 059 12,5 %	principe annuelles

- Les cultures arbustives sont toujours largement dominantes, du fait des avantages évidents de la localisation de l'eau sur des rangs largement espacés (investissement moindre, interlignes secs pouvant être enherbés d'où possibilité de passages fréquents sans destruction de la structure des sols, et automatisation aisée des arrosages, réduction des traitements pesticides, etc...).
- Les cultures annuelles, classiques en goutte à goutte (légumes, fleurs), progressent cependant de façon notable, et il s'y ajoute des cultures nouvelles (les USA font état de 15 000 ha de fraises et ananas). Cependant la grande nouveauté est l'accession de la micro-irrigation aux grandes cultures : la canne à sucre, le coton, et même le maîs dans certains pays. 2 exemples :
  - . à Hawaî, la canne à sucre, passe de 5 000 ha en 1981 à 42 000 en 1986,
  - en Israël, le coton passe de 13 000 ha en 1981 à 28 000 ha en 1986 et le maîs de 0 à 5 000 ha.

Cette extension devrait se confirmer avec l'apparition de nouvelles techniques de localisation (rampes goutte à goutte enterrées à 45 cm, et surtout goutte à goutte mobile, où l'eau est délivrée directement dans les interlignes par des "pendillards", portés par des machines analogues aux machines d'aspersion.

- Les cultures abritées ne représentent qu'une faible surface (39 615 ha soit 2,6 %) bien que la micro-irrigation y soit très largement dominante, parce que la mieux adaptée à ce type de culture, lourd en investissement et rentable sur cultures précoces ou hors saison dans les pays à hivers rigoureux type Pays Bas. Cependant elles se développent également en régions arides (Arabie Saoudite, Emirats), car c'est le seul moyen d'y faire pousser des cultures sensibles comme les légumes et les fleurs, et avec des ressources en eau minimales, dont la teneur en sels exclut toute irrigation autre que la micro-irrigation.
- Enfin, les espaces verts (arbustifs essentiellement) constituent un domaine où la micro-irrigation trouve de multiples applications, surtout en conditions difficiles :
  - . banquettes de séparation des chaussées des autoroutes
  - . talus en pente ou flancs de montagne à reboiser
  - . espaces verts paysagers ou de protection contre les vents (haies, abris autour des fermes au Canada par exemple).

Pour ces applications, l'utilisation d'eau chère (prise sur les réseaux de distribution d'eau potable dans les villes ou à leur voisinage), d'eau salée dans les pays arides (exemple création de forêts dans l'émirat d'Abu Dhabi avec des eaux contenant plus de 5 g de sels par litre), d'eaux usées domestiques qui constituent de plus en plus la seule ressource en eau disponible, est un atout fondamental.

Les USA annoncent l'irrigation localisée de 8 900 ha d'espaces verts, urbains ou paysagers, notamment en Californie, et le Canada 5 400 ha de haies brise vent, (et petits fruits) dans des conditions très différentes.

#### D. TENDANCES OBSERVEES

Le tableau VII indique, pour chaque pays ayant répondu au questionnaire, les évolutions constatées en matière de cultures, d'appareils de distribution, de fertigation (fertilisation par le réseau d'irrigation), d'échecs éventuels ou de difficultés ayant pu être résolues.

- En matière de cultures, on observe une grande diversification, pratiquement toutes les cultures (même le blé en Chine populaire) pouvant avec succès être irriguées de cette façon.
  - . grandes cultures (coton, maîs) en Israël, comme signalé plus haut
  - cultures spéciales comme les asperges (USA, Taïwan, essais en France), le thé (Taïwan), les champignons comestibles, les herbes médicinales (Chine populaire), le café (Malawi), les pommes de terre précoces (Grande Bretagne).
- En matière d'appareils de distribution, on observe :
  - . en maraichage un développement des gaines perforées, un abandon des gaines poreuses type Viaflo en Espagne.
  - en arboriculture une extension des minidiffuseurs (jet fixe) ou des mini-asperseurs (jet tournant) au détriment des goutteurs, en raison de la recherche d'une plus grande rusticité.
  - . d'une manière générale, un engouement pour les goutteurs (et même minidiffuseurs) autorégulants, plus aisés à installer. Cependant nous pensons en France qu'ils ont de sérieux inconvénients, comme un vieillissement prématuré de la membrane qui permet l'autorégulation, et une impossibilité pratique de nettoyage par simple augmentation de pression comme les autres goutteurs.
- La fertigation est:
  - . ou très utilisée (# 100 %) dans certains pays,
  - . ou très peu dans d'autres pays (Australie, Italie, Taïwan, Canada, etc...).

Cette différence peut s'expliquer, en partie du moins, par le fait que, dans le 2ème cas, il s'agirait surtout d'irrigations d'appoint, avec des eaux de bonne qualité simplement filtrées alors que, dans le 1er cas, la micro-irrigation serait utilisée en climat aride, sous forme de goutte à goutte (ce qui exige l'apport d'engrais par le réseau goutte à goutte), et avec des eaux de qualité médiocre, nécessitant déjà, pour leur traitement, chimique, l'installation de pompes doseuses.

#### **E. DIFFICULTES RENCONTREES**

- L'obstruction reste le problème n° 1. On essaie de le résoudre :
  - en passant (en arboriculture) du goutteur au minidiffuseur ou au mini-asperseur à circuit court (écoulement turbulent) et à débit plus important.

 en améliorant la filtration ainsi que le traitement chimique préalable de l'eau (acides, hypochlorites).

En fait, les pays reconnaissent que les échecs sont très rares et plutôt dus

- . soit à un mauvais projet (ou à une absence totale de calcul),
- . soit à des matériels de mauvaise qualité,
- . soit à un manque total de compétence des agriculteurs concernés.

Les réponses concordent sur le fait que la micro-irrigation, malgré ses nombreuses qualités [utilisation d'eaux qui seraient autrement inutilisables, grande efficience (rendement supplémentaire par m³ d'eau utilisé), augmentation des rendements, etc...], reste une technique sophistiquée, relativement délicate d'emploi, qui nécessite des matériels adaptés et de bonne qualité, et des utilisateurs compétents.

#### D'où la nécessité:

- . d'une bonne formation des hommes à cette technique,
- d'un contrôle sérieux des fabrications de matériel, notamment des goutteurs. Il est important, sinon indispensable, de pouvoir faire appel, soit au niveau de la fabrication, soit au niveau de l'utilisation, à des stations d'essais officielles expérimentées, permettant le contrôle des lots de fabrication, ou des lots de livraison.

En annexe III figure la liste des stations d'essais officielles existant dans les divers pays, et susceptibles de faire des essais sur les distributeurs, ainsi que, en Israël et en France, sur les filtres (encore à titre expérimental).

N.D.T.: La réponse de l'Egypte, bien qu'indiquée comme étant le résultat d'une enquête statistique, pose problème : il y aurait en effet abandon de 20 % des installations réalisées en g à g avec soit passage aux ajutages, soit retour à la raie traditionnelle. On ne sait pas s'il s'agit d'installations alimentées par un réseau collectif spécial ou raccordées directement à un réseau de surface traditionnel.

A quoi cette situation est-elle due ? Mauvais goutteurs, s'obstruant très facilement, matériel de filtration et de traitement insuffisant (ou inexistant), manque de maintenance. On ne sait si le défaut de compétence provient des usagers, qui auraient été mal encadrés, des concepteurs ou des réalisateurs.

Il semble également curieux que, vu l'importance des superficies indiquées, une évaluation n'ait pas été faite par un expert, de façon à dégager les causes et les remèdes.

Enfin l'utilisation de mini-asperseurs en cultures annuelles sort de la pratique ordinaire et semble être une aspersion totale de terrain réalisée à l'aide de très petits asperseurs. Ce ne serait plus du tout de l'irrigation localisée.

Il serait donc nécessaire d'avoir de plus amples informations sur la situation actuelle de la micro-irrigation en Egypte.

# CONCLUSION

La micro-irrigation (ou irrigation localisée) n'a guère plus de 20 ans d'existence depuis les premiers travaux de recherche, et sur un plan commercial, n'a été diffusée véritablement que depuis une douzaine d'années.

Cette dernière-née des méthodes d'irrigation semble cependant promise à un brillant avenir si l'on constate :

- son taux d'expansion élevé (surface mondiale doublée en moins de 5 ans),
- sa polyvalence: elle tient à l'apparition de techniques très diversifiées, qui lui ont permis, chaque fois que le besoin s'en faisait sentir, de s'adapter à de nouvelles cultures ou de nouvelles conditions culturales. D'abord limitée aux cultures arbustives ou délicates, comme le maraichage ou la floriculture, elle s'étend maintenant pratiquement à toutes les situations, y compris les grandes cultures et les espaces verts. On la croyait réservée aux pays technologiquement avancés, et voilà que des systèmes rustiques en permettent l'utilisation dans les pays du Tiers Monde, grâce à son efficience élevée lui permettant de valoriser au mieux des ressources en eau souvent très limitées.
- les économies qu'elle permet dans l'utilisation, non seulement de l'eau, mais des autres facteurs de la production agricole : énergie, travail de l'homme, engrais, pesticides.
- sa tolérance vis-à-vis des conditions défavorables : terrains en pente, sols difficiles, eaux de qualité médiocre (salées ou recyclées).
- son adaptation aisée à l'automatique, l'informatique, la télématique, bref à l'ensemble des techniques de pointe.

Elle n'apparaît donc plus maintenant comme une curiosité, un gadget technologique réservé aux amateurs de nouveautés en tous genres, mais comme une méthode d'irrigation à part entière, au même titre que les autres, anciennes ou moins anciennes, comme l'irrigation de surface ou l'irrigation par aspersion. Comme ses aînées, elle se montre la plus performante dans certains créneaux particuliers, non seulement techniques, mais aussi, et de plus en plus, économiques. Dans certains cas, elle constitue même la seule méthode utilisable et à ce titre, autorise bien des espoirs pour la mise en valeur, de superficies demeurées jusqu'ici improductives (sols trop minces ou à très faible capacité de rétention) ou progressivement abandonnées par l'homme, comme les anciennes restanques des zones montagneuses.

Bien utilisée, elle peut contribuer à réduire la pollution des nappes par les nitrates, l'érosion des sols également puisqu'elle permet de conserver, en culture arbustive, un couvert végétal protecteur même dans les régions à été très sec. Elle peut aussi aider à

une utilisation intelligente des eaux usées, cause de l'eutrophisation des eaux douces et même des eaux marines littorales (pollution des plages).

Le rapport de Daniel Hillel, éminent physicien américain spécialiste des relations eau-sol, me semble constituer à lui seul une bonne conclusion, de par la synthèse qu'il brosse des problèmes déjà résolus, des problèmes restant à résoudre, et des perspectives ouvertes pour l'avenir.

Ce rapport, parvenu trop tard aux organisateurs du Congrès de Fresno pour être publié en anglais, ne figure dans les Actes de ce Congrès que sous la forme d'un court résumé. Je remercie l'auteur d'avoir bien voulu me l'envoyer, et de m'avoir autorisé à le faire paraître in extenso en langue française.

#### ETAT DE LA RECHERCHE EN MICRO-IRRIGATION\*

Par Daniel HILLEL\*\*
Professeur de physique du sol
Département Plantes et Sciences du Sol
Université du Massachusetts
Amherst - E.U.

J'ai visité une première fois en 1982 le désert du Balouchistan au Pakistan. En traversant cette région faiblement peuplée, je remarquai un vieil agriculteur irriguant de jeunes pommiers. Les arbres étaient plantés dans des bassins, que l'agriculteur remplissait avec un volume d'eau énorme. Un tel gaspillage d'une ressource aussi précieuse que l'eau me parut aberrant dans un pays aussi aride. Par le biais d'un interprète, je demandais à l'agriculteur si toute cette eau était bien nécessaire. Il répondit que oui : si nous voulons avoir de gros arbres, nous devons leur donner beaucoup d'eau. Croyez-vous, demandai-je, que des gros arbres puissent pousser sans submersion, en leur apportant l'eau par de petits tuyaux, goutte à goutte ? L'agriculteur eut un petit rire incrédule, en clignant de l'oeil vers l'interprète et en hochant la tête devant la question ridicule de cet étranger. Non dit-il, ceci est tout à fait impossible. Alors, insistai-je, croyez-vous qu'il soit possible de mettre des centaines de personnes dans une boîte, de la lancer en l'air pour qu'elle se pose de l'autre côté de la Terre ? Bien sûr, répondit-il sans hésitation, c'est un avion, c'est de la science, et la science peut faire tant de choses! Mais repris-je, pourquoi la science ne peut-elle irriguer de gros arbres en leur donnant de l'eau goutte à goutte ? A nouveau, ce brave

- \* Rapport A4 du 3ème Congrès sur la micro-irrigation Fresno Novembre 1985 traduction M. DECROIX
- \*\* <u>Daniel Hillel</u> est responsable de la publication d'une série d'ouvrages (Advances in Irrigation) où les spécialistes des diverses disciplines de recherche en matière d'irrigation publient le résultat de leurs travaux (4 tomes déjà publiés depuis 1984).

vieil agriculteur se mit à sourire avec indulgence, amusé plutôt qu'agacé. Il avait pitié de mon ignorance. Il lança un nouveau clin d'oeil à l'interprète et hocha la tête : non, c'était impossible. Les gros arbres ont besoin de gros volumes d'eau. Il avait appris l'art de l'irrigation dans le Penjab, où la submersion était née quelque cinquante siècles auparavant, et depuis lors c'était la seule méthode connue.

Trois ans plus tard, je visitai le Balouchistan pour la 4ème fois, après avoir aidé à introduire le goutte à goutte dans cette région. Et de nouveau je rencontrai le même vieil agriculteur. Cette fois, il était assis près de son puits, buvant son thé à petites gorgées, pendant que son fils mettait en route le réseau goutte à goutte qui irrigue à présent son verger. Devant le changement survenu, le vieil homme était philosophe. Quand je lui demandai s'il pensait maintenant que les gros arbres peuvent être irrigués goutte à goutte, il haussa les épaules : "Par Dieu, dit-il, en vérité la science peut toute chose".

#### LES CONCEPTS DE BASE

Ce vieil agriculteur du Balouchistan me rappelle les sceptiques qui ont rejeté la possibilité de l'irrigation goutte à goutte quand on la mit au point pour la première fois en Israël, au début des années soixante.

Bien que l'idée en elle-même n'eût pas été nouvelle, il semblait à de nombreux experts qu'elle ne pourrait jamais passer dans la pratique. Peut-être pourrait-on l'utiliser sur des pots à fleurs et sous serre, disaient les experts en irrigation, mais pas pour les cultures en plein air, et sûrement jamais dans les vergers.

Le goutte à goutte a vraiment été une révolution. Il paraissait en contradiction avec l'expérience courante. Selon la théorie alors en vigueur, un bon régime d'irrigation était celui qui utilisait au maximum la capacité de stockage du sol. Le seul souci des chercheurs était de définir quel était le niveau minimal de stockage du réservoir sol. Tous concentraient leurs efforts sur la partie sèche de la courbe de dessication du sol, dans l'espoir d'espacer au maximum les arrosages. La question était : jusqu'à quel niveau de dessication du sol une culture peut-elle résister sans subir de perte de rendement. La quête de cette limite insaisissable était d'ailleurs basée sur une mauvaise utilisation de la statistique : si l'on n'arrivait pas à trouver de différence significative de rendement entre un traitement plus sec et un autre plus humide, cela voulait dire qu'il n'y avait pas de différence du tout et que le régime sec était aussi favorable que l'autre. Souvent, le mangue de précision des techniques d'expérimentation ou de prélèvement des échantillons, s'ajoutant à la variabilité spatiale, ont masqué des différences qui existaient. De toute façon, le fait pour les chercheurs de se polariser sur les sols à faible teneur en eau les ont empêchés pendant longtemps de découvrir les avantages potentiels d'un régime hydrique proche de la capacité au champ -celui que l'on réalise par des apports d'eau lents, fréquents (ou même continus), directement dans la zone racinaire, que l'on maintient constamment dans une situation quasi idéale d'humidité et d'aération. Cette voie nouvelle est apparue seulement au début des années 60.

Mais l'irrigation goutte à goutte n'est pas apparue soudainement comme un éclair de génie pour devenir aussitôt un système pratique. En fait, l'idée n'était pas neuve et ce qui a fait qu'elle est devenue un système pratique a été une combinaison synergique de plusieurs facteurs. L'un d'eux a été l'apparition de matériaux plastiques bon marché et durables, adaptés à la fabrication des tuyaux et des goutteurs. Il y a eu aussi, en Israël, le coût élevé de l'eau et de l'énergie, ainsi que la nécessité de résoudre des problèmes

de sol et d'eau (salinité, sols marginaux), de coûts de la main d'oeuvre, et même d'insécurité dans les régions frontalières (qui a nécessité l'automatisation) ce fut en vérité un concours de circonstances, aussi bien que des progrès théoriques et technologiques, qui ont fait que le goutte à goutte est arrivé à son heure.

Comme la plupart des choses nouvelles, l'irrigation goutte à goutte a d'abord fait l'objet de louanges exagérées et d'expériences non réalistes. L'enthousiasme, justifié, pour cette nouvelle méthode, comportait des dangers certains. Parfois son adoption trop hâtive, sans prendre suffisamment soin de l'adapter aux conditions locales, a provoqué des désillusions. Le goutte à goutte présente certes beaucoup d'avantages, mais ce n'est pas une panacée. En fait, il est aussi facile qu'avec les systèmes classiques de réaliser une exploitation inefficace d'un réseau d'arrosage. Voyons cependant quelques-uns des avantages potentiels de la méthode, tout en mentionnant ses limites et les problèmes qui restent à résoudre.

#### **AVANTAGES ET LIMITES**

L'avantage essentiel du goutte à goutte est la possibilité de réaliser des conditions favorables d'humidité même dans des sols difficiles (graviers, sables grossiers, argiles), mal adaptés aux méthodes classiques d'irrigation. Un autre avantage est la possibilité d'obtenir une distribution d'eau uniforme, même si la parcelle est très variable en topographie, en vitesse et direction du vent, en texture et en vitesse d'infiltration du sol. Il est en effet possible de garder dans la zone racinaire, une humidité élevée mais sans atteindre la saturation, si bien que les plantes ne sont jamais soumises à un stress hydrique, en excès comme en défaut d'humidité. L'air du sol reste en phase continue, capable d'échanges gazeux avec l'atmosphère, assurant ainsi une aération convenable. L'humidité élevée réduit la résistance mécanique du sol à la pénétration des racines et à leur libre développement. Lorsqu'il y a risque de salinité, l'apport continu d'eau nouvelle maintient la pression osmotique de la solution du sol à un niveau peu élevé au voisinage du point d'apport. De plus, comme les goutteurs sont placés sous la frondaison des plantes, il n'y a plus, comme en aspersion, le danger de brûlure du feuillage qui résulte de l'évaporation de l'eau salée et le risque de maladie cryptogamique se trouve réduit. Le sol n'étant maintenu humide qu'à faible distance du goutteur, la plus grande partie de la surface (dans les interlignes en particulier) demeure sèche, d'où réduction de l'envahissement par les mauvaises herbes et du compactage par les circulations d'engins. L'évaporation directe à partir du sol est également réduite. En plus, la pression, donc l'énergie nécessaire, est moindre par rapport à la plupart des systèmes d'aspersion.

Le fait que le goutte à goutte n'humidifie qu'une partie du volume du sol peut devenir un problème. Bien qu'il soit prouvé que même de grands arbres peuvent croître dans moins de 30 % du volume normal de sol qui leur est accessible (pourvu que des quantités suffisantes d'eau et d'engrais leur soit apportées dans ce volume réduit) la culture devient très sensible et vulnérable à une interruption, même faible, de l'apport d'eau d'irrigation. Il en résulte une très faible latitude d'erreur possible. Si le réseau ne fonctionne pas de façon parfaite et continue, une chute de rendement peut se manifester d'autant plus rapidement que la réserve d'eau disponible dans le sol est réduite. Autres problèmes : l'accumulation de sels à la périphérie de la zone humide entourant chaque goutteur (ce qui peut gêner ou empêcher la croissance de la culture suivante), la possibilité de percolation excessive, donc de lessivage sous les goutteurs si les doses sont trop importantes ou mal réparties. Dans la plupart des cas, une meilleure conception de l'irrigation résoud la difficulté, en adoptant un espacement et un débit corrects en fonction de la vitesse d'infiltration de l'eau et de sa diffusivité dans le sol

autour du goutteur, ainsi qu'un pilotage optimal de l'irrigation en fonction de la variation des besoins en eau au cours de la saison. Il faut cependant remarquer que l'optimisation des variables contrôlables peut devenir très difficile étant donné toutes celles qui ne le sont pas (et qui sont difficilement mesurables). L'obstruction des goutteurs est évidemment une difficulté classique, à laquelle on remédie par une filtration appropriée, l'injection d'acide, et un traitement contre les algues.

#### RESULTATS OBTENUS PAR LA RECHERCHE

D'une approche initiale très modeste, hésitante et plutôt simpliste, l'irrigation goutte à goutte s'est progressivement développée en qualité et diversifiée pour devenir un système technologiquement avancé, hautement sophistiqué, ou plutôt un ensemble de systèmes. Ceci est le résultat d'une R.D.\* intensivé sur le plan technologique et sur le plan agronomique. Chaque aspect du système a été amélioré, souvent plus qu'on ne l'a dit. De nombreux types de goutteurs sont maintenant disponibles, avec des débits et un régime hydraulique (laminaire ou turbulent), variables. Certains sont autorégulants, ou moins vulnérables au colmatage que d'autres, et l'on pourrait dire qu'il existe un distributeur adapté à chaque cas particulier. Malheureusement, les affirmations des fabricants et commerçants ne correspondent pas toujours à la réalité. Le goutte à goutte n'est pas limité à l'apport de l'eau sous forme de gouttes distinctes. Il existe des gaînes, poreuses ou perforées, qui agissent comme des sources linéaires plutôt que comme des séries de sources ponctuelles.

Egalement impressionnants sont les progrès réalisés en matière de conception et de fabrication de divers types d'appareillages annexes, tels que les filtres (à tamis ou à sable) et les régulateurs de pression que l'on utilise dans les parcelles accidentées. Les vannes volumétriques permettent de délivrer des volumes d'eau prédéterminés puis de se fermer automatiquement, tout en transférant le débit au poste suivant. Les matériels les plus sophistiqués sont les systèmes à commande centralisée programmables, capables de moduler les apports en réponse aux variables météorologiques, ainsi qu'à d'autres paramètres. Ces réalisations ont pu voir le jour grâce à des innovations dans le matériel électronique et les progiciels. Et non moins importante est la possibilité d'injecter dans l'eau des produits chimiques, dont la pratique est appelée "chimigation", notamment les engrais ("fertigation"). L'irrigation goutte à goutte a en fait été adaptée et appliquée à un nombre croissant de cultures dans des régions très différentes.

Ce ne sont là que quelques-uns des progrès accomplis par les chercheurs dans les 20 dernières années. Néanmoins, il subsiste de nombreux problèmes qui nécessitent de poursuivre les recherches.

#### PROBLEMES NECESSITANT DE NOUVELLES RECHERCHES

Les 2 questions classiques de l'irrigation conventionnelle (irrigation de surface et aspersion) ont toujours été : quand irriguer ? et combien ? A la première question, le goutte à goutte peut fournir une réponse simple : aussi souvent qu'il est possible de le

<sup>\*</sup> R.D. = Recherche et Développement

faire, et à la limite de façon continue. A la seconde question, la réponse est plus complexe: une dose suffisante pour couvrir les besoins propres de la culture (à chaque stade particulier de développement) et pour empêcher l'accumulation des sels, sans toutefois dépasser la vitesse maximale d'infiltration. Ne couvrir que les besoins en eau de la culture peut être insuffisant, si une partie de l'eau part en drainage ou en ruissellement. L'eau que l'on met doit pénéter dans le sol là où il en faut, et humidifier un volume de sol suffisant pour permettre aux racines de la culture d'extraire l'eau et les éléments nutritifs en quantités suffisantes. Voilà des principes assez évidents mais qu'il faut pouvoir quantifier, et c'est là le hic : une quantification précise exige des recherches.

Les besoins d'irrigation varient dans le temps, au fur et à mesure que la saison s'avance, que les conditions météorologiques changent, que la culture se développe (depuis le stade croissance végétative jusqu'à la sénescence en passant par les stades floraison et fructification). Pour suivre ces changements et y répondre rapidement, nous avons besoin de mesures fiables, fréquentes ou continues. Jusqu'ici cependant, nos capteurs, nos techniques de mesure et d'analyse de données, ne sont pas entièrement satisfaisants. Et nos méthodes de contrôle sont spécialement inadaptées aux conditions spécifiquement disuniformes de l'irrigation goutte à goutte. Devons-nous baser notre stratégie d'irrigation sur la teneur en eau du sol et, dans ce cas, où devons nous placer nos capteurs et comment pouvons nous intégrer leurs réponses dans l'ensemble du volume considéré ? Devons-nous au contraire relier la dose directement à l'évapotranspiration réelle ou potentielle ? Et dans ce cas comment mesurer cette évapotranspiration, dans des parcelles hétérogènes humidifiées de façon localisée, où les mesures classiques peuvent ne pas être applicables? Finalement, ne devons-nous pas ajuster la dose à l'état hydrique de la culture et, dans ce cas, quelles sont les mesures les plus adaptées (par exemple le potentiel foliaire, ou la température du feuillage) ?

Ces questions (qui sont, bien sûr, plus faciles à poser qu'à y résoudre de façon définitive) peuvent ne pas présenter la même importance en irrigation conventionnelle, car la réserve hydrique du sol est plus grande, ce qui tamponne les variations climatiques. Mais, en goutte à goutte, toute la question des relations culture-eau devient beaucoup plus délicate du fait de la dépendance accrue de la culture par rapport au fonctionnement de l'irrigation. L'évaporation directe du sol dépend, par exemple, de la proportion de surface humidifiée comme de la proportion de surface couverte par la culture. Aussi la relation évaporation- transpiration doit être définie spécifiquement pour l'irrigation goutte à goutte, particulièrement dans le cas des premiers stades végétatifs des cultures industrielles ou des vergers.

Nous ne savons pas assez comment les divers types de cultures réagissent à des arrosages localisés. Peut-on définir un minimum, ou un optimum dans la proportion du système racinaire qui est nécessaire pour alimenter une culture donnée, et de quelle manière cette proportion dépend-elle des caractéristiques du sol, ou de la nature de la culture ? Une règle simple bien connue est qu'il faut humidifier au moins le tiers du volume du sol, mais elle est tout à fait arbitraire. En principe, notre but doit être, non pas de maximiser, mais d'optimiser la croissance des racines, en relation avec la croissance des parties aériennes, mais à présent nous n'avons pas une compréhension claire de la façon dont cet optimum insaisissable dépend de l'irrigation et de son mode de conduite.

Toutes ces considérations peuvent paraître théoriques ou académiques, mais elle ont des conséquences très pratiques. On ne peut automatiser efficacement l'irrigation que si nous pouvons fournir à la centrale de commande l'information nécessaire sur les relations culture-eau. Sans une compréhension fondamentale de ces relations qui sont de type physico-physiologique, nous ne pouvons que revenir aux vieilles méthodes d'essais-erreurs, que l'on doit appliquer dans chaque situation et que l'on ne peut généraliser.

Le comble de l'ironie, c'est qu'on peut se demander si le problème crucial ne vient pas justement de notre succès dans l'automatisation de la technologie du goutte à goutte. Nous serions-nous laissés, dans la recherche, fasciner par la haute technologie et ne nous sommes-nous pas, par conséquent, détournés de la majorité des gens de ce monde affamé qui a un si grand besoin de la micro-irrigation. Je fais allusion, bien sûr, aux besoins des Pays en Développement du Tiers Monde, spécialement dans les régions arides du globe, pour lesquels le goutte à goutte semble bien détenir des avantages essentiels : économie d'eau, accroissement des rendements, économies d'énergie (par rapport à l'aspersion) adaptabilité à la petite agriculture et aux sols marginaux, etc... Cependant, au lieu de simplifier l'irrigation, et d'apporter très vite ses avantages aux habitants de ces pays pauvres et peu industrialisés, nous semblons parfois faire tout le contraire. Pouvons-nous faire machine arrière et modifier nos systèmes de façon à les rendre plus facilement et plus largement applicables plutôt que de les perfectionner et compliquer sans cesse ? Dans les pays non industrialisés, le plus important est ce qui est bon marché, simple de calcul et d'exploitation, fiable, de maintenance facile, et peu exigeant en énergie. L'économie de main d'oeuvre est d'importance secondaire.

Un progrès appréciable dans cette voie a été réalisé il y a environ 10 ans : c'est le principe de l'irrigation par "bubblers\*". Le système proposé\*\* est basé sur la distribution de l'eau par tuyaux plastiques et sur la possibilité de réaliser un régime d'irrigation à fréquence élevée et faible dose. Cependant, à la différence du goutte à goutte, il utilise des distributeurs à large section plutôt qu'à section capillaire. Conséquences: pour fonctionner, le réseau se contente d'une pression réduite et d'une filtration sommaire. Bien sûr, on sacrifie un peu la précision. L'eau qui sort des ajutages avec de forts débits remplit des petits bassins situés autour dechaque arbre ou de chaque groupe de plantes. Les bassins sont momentanément remplis d'eau, jusqu'à infiltration complète du volume délivré. L'irrigation par bubblers est une technique de transition prometteuse valable pour de nombreuses applications potentielles.

Malheureusement, il ne se manifeste aucun intérêt commercial pour promouvoir cette technique, peut-être parce que c'est un principe plutôt qu'un produit directement commercialisable, ce qui fait qu'il n'est sans doute pas aussi rentable à vendre que certains systèmes à l'investissement plus élevé.

Je voudrais conclure en demandant aux scientifiques et aux ingénieurs, qui poursuivent des recherches déjà engagées, de chercher également des méthodes qui soient moins compliquées et moins coûteuses, et par là plus faciles à adopter par les pays les moins nantis et les plus pauvres. Il s'agit là, certainement, d'une exigence professionnelle digne de nos meilleurs efforts.

Dans la plupart de nos réunions, nous passons la plus grande partie de notre temps à écouter et à dire ce qui a été fait dans le proche passé. Peut-être devrions-nous consacrer un peu plus de temps à discuter ensemble de ce que nous devrions faire dans le proche avenir.

#### N.D.T.

<sup>\*</sup> to bubble signifie "faire glouglou". Un "bubbler" est en fait un simple ajutage, analogue dans son principe à l'ajutage du procédé français Bas-Rhône, qui est antérieur (1969).

<sup>\*\*</sup> Il s'agit sans doute du système d'irrigation de vergers utilisant comme rampes des tuyaux de PE semblables à des drains annelés mais non perforés. La constance du débit est obtenue par le réglage manuel de la hauteur de fixation, sur le tronc de chaque arbre, d'un T fixé à l'extrémité d'un tube conducteur branché sur la partie supérieure du tuyau PE placé au milieu d'un interligne sur deux. (Voir schéma ci contre).

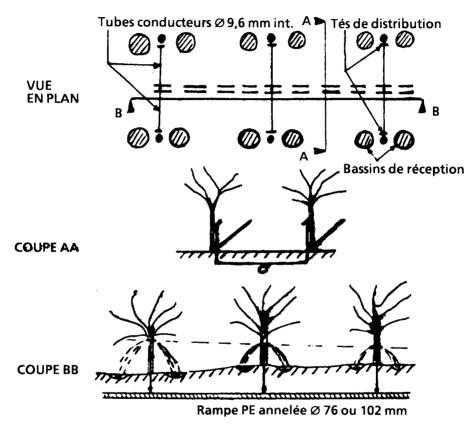
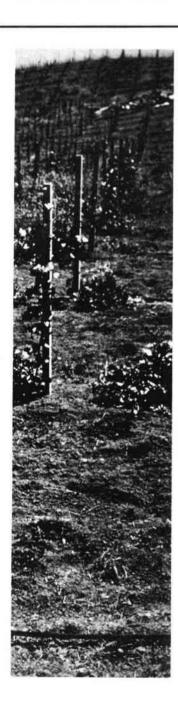


Figure 8 - Schéma du système américain de micro-irrigation par bubblers basse pression Source: M. DECROIX

(d'après correspondance 1976 avec Stephen Rawlins, Riverside, Californie)

# ANNEXES



la micro-irrigation à Fresno (Californie - novembre 1985)	194
II - Conférence internationale - table ronde	
sur la micro-irrigation à Budapest	
(Hongrie - septembre 1986)	202
III - Stations d'essais des matériels de micro-	
irrigation (recensement mondial de la CIID)	206
IV - Tableau comparatif 1981-1986 des	
superficies irriguées en micro-irrigation	208

#### ANNEXE I

#### 3ème CONGRES INTERNATIONAL

#### "DRIP-TRICKLE IRRIGATION IN ACTION"

Organisé par l'ASAE (a) à Fresno (Californie - E.U) du 18 au 21 novembre 1985

avec le patronage de | 16 institutions américaines

4 organisations internationales: la CIID (b)

la CIGR (c)

I' OAA (d)

la BIRD (e)

(a) American Society of Agricultural Engineers (Association Américaine des Ingénieurs du Génie Rural)

(b) Commission Internationale des Irrigations et du Drainage

(c) Commission Internationale du Génie Rural

(d) Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO)

(e) Banque Internationale pour la Reconstruction et le Développement (Banque Mondiale)

#### A. PROBLEMES DE NOMENTACLURE ET DE CLASSEMENT DES RAPPORTS

Drip Trickle est l'appellation américaine courante de la micro-irrigation dont le goutte à goutte (drip) constitue le système le plus couramment utilisé. Ces termes, qui reviennent constamment sont désignés par les abréviations DT et g à g.

Cependant, si d'autres appellations sont utilisées par certains auteurs, elles seront traduites telles quelles. Dans les communications, en nombre limité, qui parlent de la méthode générale, et non d'un système particulier (essentiellement le g à g), on peut ainsi en relever une (G.3, Espagne) qui utilise au lieu de Trickle le terme irrigation localisée, et 6 qui utilisent le terme officiel micro-irrigation (1 australienne C.3, 1 néo-zélandaise E.4, 1 hongroise E.9 et même 3 américaines V.10, V.4 et G.1).

Les 156 rapports (effectifs) ont été classés suivant le thème principal traité, mais certains thèmes (V et M), initialement retenus, ont été par la suite abandonnés et rattachés à d'autres plus importants.

\_\_\_\_\_

On peut se demander pourquoi les thèmes Q et R, qui traitent tous deux du système racinaire et du sol, n'ont pas été fusionnés, de même que G et T qui sont relatifs à l'uniformité. Pourquoi R.5, rapport général sur le développement en Inde du g à g, ne figure pas dans E (utilisation du DT hors Etats-Unis), pourquoi le thème U ne regroupe pas tous les rapports sur le g à g enterré, comme S.7.

Il est vrai que certains rapports se trouvent à cheval sur 2 thèmes et que leur classement pouvait poser problème.

Les rapports retenus ont été analysés, non pas de façon exhaustive, ce qui était impossible, mais de façon à faire ressortir ce qu'ils présentaient d'original vis à vis du thème traité. Les conditions générales de la région (sol, climat) ou particulières à l'expérimentation rapportée, ont été indiquées, même sommairement, car elles ont souvent une grande importance pour l'interprétation des résultats.

Au total, 130 rapports (sur 156) ont été retenus, certains à plusieurs reprises (6 fois pour E.4, 5 fois pour S.4 et S.10, etc...), ce qui porte à 194 le nombre total de citations.

#### B. LISTE DES COMMUNICATIONS CLASSEES PAR THEME

La liste ci-après reprend la table des matières de la publication anglaise remise aux participants au début du Congrès (931 pages en 2 tomes). Dans la première colonne figure le numéro de la page de la présente publication, où le rapport correspondant est analysé.

La classification originale en divers thèmes (de A à U) à été conservée telle quelle.

Cependant il eut été plus logique de regrouper les communications comme suit :

- 1. Historique et perspectives (en général et dans certains pays)
- 2. Réponse des cultures Utilisation sur espaces verts
- 3. Comparaison avec les autres méthodes
- 4. Techniques et matériels (g à g enterré compris)
- 5. Le facteur eau Salinité Obstruction, filtration et traitement
- 6. Fertigation et chimigation
- 7. Calcul des réseaux
- 8. Pilotage des réseaux
- 9. Uniformité d'arrosage
- 10. Considérations économiques

L'analyse des communications qui ont servi à l'établissement des synthèses sur un certain nombre de thèmes figure en fin des chapitres correspondants, à la page indiquée dans la première colonne de la liste.

Sur les 156 rapports indiqués, 13 sont incomplets (résumés seulement) du fait que l'ASAE n'a pas reçu le texte complet à la date indiquée. Ayant écrit à leurs auteurs pour obtenir les rapports manquants, je n'ai eu de réponse que de Daniel Hillel (A.4) et de William Pyle (B.2) qui m'ont adressé le leur. Il est fort possible que les autres rapports n'aient, en fait, pas été rédigés.

	<u></u>		<u> 1 Al</u>	BLEAU VIII
T	hèmes	Titre (traduction non littérale)*	Auteurs	Pays
A		HISTORIQUE ET PERSPECTIVES DU DT		
164	A.1 A.2 A.3	. Historique du DT (aux E.U. seulement) . Historique du DT à la "Supérior Farming Company (Sud de la vallée du San Joaquin) . Historique du DT à l'étranger (hors E.U.)	. Hall . Anshutz et Chavez . Riddering	E.U. E.U.
165	A.4	. Etat de la recherche en DT	(non réalisé) Hillel (résumé	E.U.
В		CONSIDERATIONS ECONOMIQUES SUR LE DT		
	B.i	. Comment évaluer la rentabilité de la conversion	. Gartung et Roos	E.U.
31	B.2	en DT . Le DT a sauvé l'agriculture américaine	. Pyle et Moore (résumé seulement de la Sté Sucrière et	E.U.
69	в.3	. Effets, sur le rendement des cultures, de la	commerciale d'Hawaî . Sammis et Wu	E.U.
133	B.4	conception du réseau et de son exploitation . Conception de la mission du chargé d'études	. Tobey Pt de	E.U.
134	B.5	. Optimisation d'un projet par comparaison coût- bénéfice	"Salco Products"  Moliterno et Foley (Ingénieurs de bureaux d'études)	E.U.
С		OBSTRUCTION ET TRAITEMENT DE L'EAU EN DT		
	C.1 C.2	Nettoyage des réseaux g à g**     Effet de la température sur l'obstruction des distributeurs par précipitation du CO3 Ca	. Meyer . Nakayama et Bucks	E.U. E.U.
104	C.3	Filtration et traitement de l'eau en micro- irrigation	. English	Australie
99	C.4	. Théorie et pratique de la filtration	Bruce (Vice Président de	E.U.
	V.9 V.10	. Elimination du fer des puits utilisés en g à g . Mise en route, exploitation et maintenance des	la Société Laval)   Gamble   Pierce et Mancuso	E.U. E.U.
96	V.12	filtres en micro-irrigation . Etude de l'obstruction dans les réseaux g à g	. Padmakumari et Sivanappan	Inde
D		UTILISATION DU DT AUX ETATS-UNIS	этчаларрап	
34 106	D.1 D.2 D.3 D.4	. Le g à g à Hawaî a-t-il tenu ses promesses ? . Exploitation et maintenance des réseaux à Hawaî . Relations sol-eau en g à g . G à g sur vergers de pins semenciers	Bui et Kinoshita Young (J. Hardie) Landgraf Robbins, Coleman	E.U. E.U. E.U. E.U.
	D.5 V.2	. Les sols sableux répondent bien au g à g . G à g : les étapes de l'apprentissage d'un	et Mc Mahone . Robinson . Grove et Wells	E.U. E.U.
172	V.4	agriculteur  Ce qu'il faut changer pour réussir en micro- irrigation	. Ptacek	E.U.
154	٧.5	. Guide de la maintenance d'un réseau DT	. Bucks et Nakayama	E.U.
E		UTILISATION DU DT HORS ETATS-UNIS		
60	E.1	. G à g : une expérience autralienne	. Watson, Shulz, Morley et Lester	Australie
	E.2	. G à g sur canne à sucre au Vénézuela	. Godoy, Palacios et Barrante	Vénézuela
120	E.3 E.4	. G à g sur vergers aux Caraîbes . Micro-irrigation sur horticulture en Nouvelle Zélande	. Madramootoo . Acland	Canada Nie Zélande
021	E.5 E.6 E.7 E.8	. G à g et production agricole en zone aride . Le g à g dans les Emirats Arabes Unis . Recherches DT en RFA . Projet d'irrigation g à g de la Vallée du Jourdain un modèle pour les PVD*	. Hassan . Baqi (J. Hardie) . Wolff . Or (Netafim)	E.U. Jordanie RFA Israël
	E.9	. En Hongrie, tendance à l'utilisation en grand du g à g	. Perenyi et Revfalvi	Hongrie
	E.10	. En Irak, essais en g à g	. Salih	Irak
F	ļ_,	REPONSE DES CULTURES EN DT	_	
•	F.1   VD = P	. G à g sur coton dans le sud de l'Espagne ays en Voie de Développement	. Fereres, Cuevas et Orgaz	Espagne
	-	•• ***		

<sup>\*</sup> PVD = Pays en Voie de Développement

\* Le titre anglais exact figure au début de l'analyse du rapport à la page indiquée en première colonne

\*\* g à g = goutte à goutte

	69  68	F.2 F3	. Tension optimale eau-sol en g à g sur piments . G à g sur cocotiers en Inde	. Wierenga et Saddiq . Sivanappan et Kottiswaran	E.U Irak Inde
	61.	F.4	. Conduite du DT pour la production de raisin de table	. Bucks, French, Nakayama et Fangmei	E.U.
	76	F.5	DT sur agrumes en sol sableux (irrigation de complément)	. Koo et Smajstrla	E.U.
		F.6	. Effets du DT et du mode de conduite sur la production de raisin "Concord"	. Cline, Fisher et Bradt	Canada
	61	F.7 F.8	. Réponse de pommiers golden au DT . Réponse de poiriers en g. à g en Belgique	. Evans et Proebsting . Feyen, Raes et Gilley	E.U. Belgique-E.U.
		F.9	Caractéristiques de la croissance de légumes irrigués en g à g	. Goyal, Rivera, Caraballo et Santiago	E.U.
	71	M.I	. Le rationnement programmé. Ses effets sur la pourriture de la grappe et sur la physiologie des raisins du cépage chenin blanc irrigué en G à g	. Petrucci, Norum, Muller, Clary, Pecchenino, Zoldoske et Holscher	E.U.
	İ	м.3	. Réponse de l'asperge à divers régimes d'irrigation	. Muthamia, Mwaja, Hile, Hutmacher et Krauter	E.U.
	71	M.5	. G à g sur coton	. Padmakumari et	Inde
	G		EVALUATION A LA PARCELLE DES RESEAUX DT	Sivanappan	
ŀ	156	G.1	. Evaluation des réseaux de micro-irrigation	. Burt, Walker et Styles	E.U.
ł	157	G.2	. Evaluation à la parcelle des sous-postes DT	. Braits, Edward et Kesner	E.U.
	158	G.3	. Enquête sur les réseaux d'irrigation localisée sur bananiers aux îles Canaries	. Lopez et Abreu	Espagne
ļ	158	G.4	. Résultats d'évaluation de réseaux DT dans la la Vallée du San Joaquin en Californie	. Fry	E.U.
	1,15	G.5	Essais en laboratoire sans recouvrement de quelques mini-asperseurs américains	. Post, Peck, Brendler Sakovitch et Waddel	E.U.
	н		ESSAIS ET EVALUATION DES APPAREILS DE DISTI	RIBUTION EN DT	
		H.1 H.2	. Caractéristiques du calcul des gaines perforées . Normes de performance des réseaux DT	. Boswell (J. Hardie) . Zoldoske et Norum (Station d'essais	E.U. E.U.
	116	н.з	Résultats des essais sur les goutteurs auto- régulants HB System avec la nouvelle norme ISO	de Fresno) . Giay et Zelenka (Dir. de HB plastique)	Autriche
1	116	H.4	. Essais en laboratoire des matériels DT en vue d'un meilleur calcul des réseaux	. Decroix et Malaval	France
	117	H.5	Evaluation des caractéristiques physiques et hydrauliques des gaines utilisées à Hawa?	. Bui et Kinoshita	E.U.
	ι		"FERTIGATION"* EN DT		
	149	I-1	. Effets de la fertigation N sur la pastèque (croissance, rendement, nutrition)	. Bhella et Wilcox	E.U.
	149 149		. La fertigation dans l'Est des Etats Unis . Application de N en g à g sur griottiers	. Fabry . Kesner, Hahn,	E.U. E.U.
ļ	110	1.4	. Fertigation et perméabilité du sol	Klein et Bralts . Bianchi, Burt et	E.U.
	150	1	. Effets de N sur amandiers à 2 niveaux de	Ruchr Schulbach et Meyer	E.U.
	35	1.6	rationnement en eau . Réponse à l'eau et à l'N de coton irrigué	. Franmeier, Mezainis	E.U.
	76	1.7	en gàg . Réponse du pommier au gàg et à la fertigation		Israël
	77	1.8	. Réponse de l'amandier à des doses variables de	Bravdo . Kjelgren, Goldhamer	E.U.
	150 141	1.9	N apportées par des mini-asperseurs  Absorption de N P K en coton irrigué en g à g  Fertigation N en g à g sur poivrons, tomates,	Uriu et Weinbaum . Meron et Levin . Goyal, Rivera	Israël E.U.
	37	l	et aubergines  Application de P par réseau g à g souterrain	et Santiago Chase	E.U.
	3		CALCUL DES RESEAUX DT		
	36	J.1	. Le système Arizona : calcul du réseau g à g	. Tollefson	E.U.
		J.2	sur coton . Adoption et adaptation du g à g à Guam	. Saruwatari et Cruz	E.U.
	1134	J.3 J.4	. Calcul des rampes télescopiques à 2 diamètres . Réalisation d'un réseau d'irrigation en côteau	. De Paco . Soper	Espagne E.U.
	26 135	J.5 J.6	. Un réseau g à g bon marché et de bonne qualité . Calcul par ordinateur de groupes de rampes DT	. Weiduo . Balogh, Biro et	Chine Hongrie
	131	J.7	. CAO et GAO en DT	Gauser . Zazueta, Smajstrla	E.U.
* ou irrigation	fe	rtilisante	(conception et gestion assistées par ordinateur)	et Harrison	I

11.35		Late testate BT transcript or a first con-		
135 135	J.8 J.9	. Un logiciel DT interactif pour l'utilisateur . CAO des sous-postes en DT	. Meshkat et Warner . Braits, Segerling	E.U. E.U.
136	J.10 V.1	. Les avantages du pompage solaire photovoltasque . Utilisation de la méthode de calcul Polyplot	et Driscoll Norum et Zoldoske English	E.U. Australie
TON	AE 2			
K		CHIMIGATION* EN DT	i I	
150 151	K.1 K.2	. Chimigation : vue d'ensemble . Herbicides en g à g en Arizona	. Bisconer (J. Hardie) . Heathman, Farr et Stedman	E.U. E.U.
152	K.3	. Herbicides de préémergence en g à g et en mini-aspersion	Fisher, Goldhamer, Babb et Kjelgren	E.U.
152	K.4	. Mulch plastique, g à g, et lutte contre les adventices	. Bell, Durazo III et Elmore	E.U.
152	K.5	. Chimigation sur pacanier	. Aitken et Gorsuch	E.U.
L		LE DT SUR PEPINIERES ET ESPACES VERTS		
	L.1	. Le g à g sur espaces verts dans le sud de la Californie	. Hurst et Van Vieet	E.U.
131	Ĺ.2	. Commande des réseaux DT par micro-ordinateur	. Zazueta, Smajstrla	E.U.
53	L.3	. Le g à g sur espaces verts	et Harrison Tobey et Swearengin	E.U.
70	L.4 L.5	. Principes du g à g sur espaces verts . Le g à g sur espaces verts en zone aride d'Australie du Sud	(Salco Cie) Beccard et Hurst Beal	E.U. Australie
N		COMPARAISON ENTRE LE DT ET LES AUTRES ME	THODES D'IRRIGATION	4
38	N.1	. G à g sur culture industrielles. L'expérience d'Hawaî	. Pyle et Moore (de (la Sté Sucrière et	E.U.
1	N.2	. Comparaison des diverses techniques d'irrigation	Commerciale d'Hawaî)  Dawood et Hamad	Irak
122	N.3 N.4	à la parcelle . G à g sur amandiers (4 premières années) . Comparaison entre ajutages et goutteurs	. Krauter . Nimah	E.U. Liban
77	N.5	. Comparaison entre le DT et les bassins horizon- taux pour la production de coton	. French, Bucks, Roth et Gardner	E.U.
84	N.6	. Humidification, salinité et système racinaire de pomélos* en g à g	. Bielorai	Israël
84	N.7	. Effets à long terme de la localisation de l'irrigation sur agrumes	. Bielorai, Dasberg et Erner	Israël
	N-8 ·	. Comparaison entre DT et raie sur asperges	. Mwaja, Muthamia, Hile, Hutmacher et Krauter	E.U.
39	N.9	. Comparaison entre g à g et aspersion sur maîs	. Safontas et di	Italie
77	N.10	. Distribution racinaire d'orangers adultes irrigués par différentes techniques	Paola (J. Hardie) . Roth et Gardner	E.U.
0		SYSTEMES ET MATERIELS DT		
	0.1	. Techniques g à g utilisées aujourd'hui dans le monde	. Brant (Sté Agtex)	E.U.
	O.2 O.3	. Systèmes de commande par ordinateur . G à g sur légumes par pompage solaire	. Megeath . Sutton, Doney, Stirzaker et English	E.U. Australie
125	0.4	. Système g à g gravitaire . Développement et utilisation du g à g mobile	(J. Hardie) . Gilead	israël
	0.6	Le g à g. Ses progrès dans la dernière decennie	. Sourell . Tobey et Kuhlman	RFA E.U.
39	0.7	. Equipement de pose et dépose des rampes. Amé- lioration du freinage des tambours de déroulement	(Sté Salco) . Coates	E.U.
	0.8	. Injecteurs d'engrais à venturi	. Li et Schmidt (J. Hardie)	Chine Australie
145	0.9	. Irristat, une vanne autorégulante sensible à l'humidité	• Ornstein	E.U.
130	0.10	Filtration à grand débit pour 4 types de	(Sté Irristat) - Phillips	E.U.
126	V.6 V.7	matériaux poreux . Le goutteur polyvalent Sully . Les rampes et équipements de commande du système GDI	(Sté Phillips)  . Kulker (Sté Kulker)  . Gilead	France Israël
126	v.8		. Mehoudar	Israël

Néologisme analogue à fertigation. La chimigation consiste à injecter dans l'eau d'irrigation non seulement les engrais, mais toutes sortes de produits chimiques : nématicides, insecticides, fongicides, herbicides, etc...

<sup>·</sup> Improprement appelés "pamplemousses" en France.

P	ļ	DT AVEC DE L'EAU SALEE		
72	P.1	Réaction physiologique du piment au stress	. Beese et Moshrefi	RFA
85	P.2.	hydrique et salin . Fertigation d'arachides en sols sableux irrigués en g à g avec de l'eau salée	. Silberbush, Ben Asher, Kafkafi et	lsraël
	P.3	. Influence de la pluie sur la salinité du sol et le rendement de la laitue	Lips Hoffman, Shannon et Jobes	E.U.
62	P.4	. Répartition du sel sous coton irrigué en g à g avec de l'eau salée	Ayars, Hutmacher, Schoneman, Vail, Patton et Felleke	E.U.
54	P.5	<ul> <li>Conduite efficace des arrosages g à g avec des eaux de salinité différente</li> </ul>	. Peretz, Meiri et Shalhevet	lsraël
94	M.4	Croissance de l'avocatier irrigué avec de l'eau	. Beloqui et	Espagne
95	V.11	salée à Murcie . Utilisation en g à g d'eaux de différentes qualités	Fernandez Meiri, Shalhevet et Sagiv	Israël
Q		DEVELOPPEMENT DU SYSTEME RACINAIRE SOUS	<u>DΤ</u>	
80	`	Répartition des racines de l'avocatier irrigué par mini-diffuseurs et micro-asperseurs	. Meyer et Peck	E.U.
80	`	Developpement des racines de la canne à sucre en g à g	. Batchelor, Soopromanien et Bell	G.B et He Maurice
81		Contrôle du développement des racines en g à g Effets du g à g sur l'absorption de l'eau et	. Al Amoud et Kay . Ligetvari	. G.B Hongrie
62	Q.5	l'enracinement de porte-greffes de vigne . Effets du système d'irrigation sur la répartition dans le sol du sel et des racines	. Moshrefi et Beese	RFA
R		LES FACTEURS SOL ET PERMEABILITE EN DT		
82	R.1 R.2	<ul> <li>Injection de SO<sup>2</sup> en g à g</li> <li>Choix du débit et de la position des goutteurs pour maîtriser la répartition des racines</li> </ul>	. Beer et Hash . Shani	E.U. E.U.
	R.3	. Modèle de prévision de l'espacement des goutteurs		Liban
40	R.4	à partir des données de base de sol . Effets du DT sur les propriétés chimiques du sol	et Kamand . Nightingale, Phéné et Patton	E.U.
	R.5 R.6	. Recherche et développement du g à g en Inde . Utilisation des conditionneurs de sol en g à g	Sivanappan     Shaviv, Ravina et     Zaslavsky	Inde Israël
111	R.7	. Réduction du système racinaire dans les sols sableux irrigués par gaine Biwall et par aspersion	. Robinson	E.U.
112	R.8	. Comment augmenter la perméabilité de surface dans les vignes de table irriguées en g à g	. Hake, Luvisi et Goldhammer	E.U.
	R.9	. Modèle de simulation de la répartition de l'eau dans le sol à partir d'une source ponctuelle	. Khari, Broughton et Jutras	Canada
s		PILOTAGE DE L'IRRIGATION ET GESTION DE L'EA	U EN DT	
142	S.1	. Gestion de l'eau dans le sol par tensiomètres	. Pogue et Pooley (Cie Irrometer)	E.U.
63	S.2	<ul> <li>Calibrage de l'indice électrostatique d'une culture de coton irriguée par g à g</li> </ul>	. Gensier	E.U.
143	5.3	Déclenchement des arrosages par tensiomètres reliés à un micro-ordinateur	. Feyen, Crabbe, Kihupi et Michels	Belgique
64	5.4	Positionnement des tensiomètres pour commander automatiquement le g à g sur coton	. Levin, Sarig et	Israël
146	5.5	Pilotage de l'irrigation à partir de données évaporométriques. Mise au point et résultats	. Mac Gillivray, Gonzalès et Scruggs	E.U.
	5.6	Evapotranspiration et bilan hydrique de jeunes amandiers en g à g	. Sharples, Rolston,	E.U.
40	S.7	Effets de la fréquence d'arrosage et de la profondeur de pose des rampes g à g sur la	Biggar et Nightingale . Hutmacher, Vail, Muthamia, Mwaja	E.U.
72	S.8	croissance de la tomate et son état hydrique . Pilotage du g à g sur pistachiers	et Kjelgren . Phéné, Menezes,	E.U.
72	5.9	. Pilotage du g à g sur orangers adultes	Goldhammer, Aitkens Beede et Kjelgren Germana, Sardo et Cutore	ltalie
41	5.10	. Evapotranspiration et coefficient cultural de la tomate en g à g	<ul> <li>Phéné, Mc Cormick, Miyamoto, Meek et</li> </ul>	E.U.
	M.2	. Pilotage du g à g sur pacaniers en Louisiane	Davis Edling, Hummel, Boudreaux, Lartigue et Taylor	E.U.
142 71	M.7 M.8	. Pilotage du g à g sur cultures maraichères . Gestion de l'eau en cultures industrielles irriguées en g à g	. Goval et Rivera	E.U. E.U.

1	T		UNIFORMITE D'APPORT EN DT		
	54	T.1	. Uniformité d'apport, en surface et en profondeur,	. Goldhamer, Kjelgren Moore et Lane	E.U.
!	55	T.2	résultant d'une irrigation par minidiffuseurs , influence de l'uniformité d'arrosage sur le coût	. Kunde	E.U.
		T.3	global de l'irrigation . Combinaison des diverses disuniformités en DT	. Clemmens	E.U.
	55	T.4	. Simulation sur ordinateur du coefficient global de variation du débit des distributeurs	. Wu, Yabusaki et Irudayaraj	. E.U.
١		T.5	. Calcul des porte-rampes de sous postes non rectangulaires	. Lopez	Espagne
			_		
	υ		GOUTTE A GOUTTE ENTERRE		
		U.I	. G à g enterré sur coton et cérales d'hiver	. Tollefson . Davis, Phéné, Mc	E.U.
	43	U.2	. Fréquence d'arrosage et position de la rampe en surface ou enterrée, sur tomate, en g à g	Cormick, Hutmacher et Meek	E.O.
Ì	43	U.3	Effets du type de rampes g à g, de leur position et du niveau d'arrosage, sur la canne à sucre	. Soopramanien, Batchelor, Nayamuth	lle Maurice et G.B
-	44	U.4	(croissance et rendement)  G à g enterré sur cultures annuelles successives	et Wellings Chase	E.U.
		U.5	. Rotation coton-blé-orge en g à g sur sols salés	. Frenkel, Mantell Ziv et Meiri	Israël
ļ	37	м.9	et sodiques . Réponse du coton en g à g enterré	. Plaut,Rom et Meiri	
		٧.3	. Irrigation par vagues en g à g enterré pouvant servir au drainage en période humide	. Sardo	Italie
ı		I	1	1	I

Au total 19 pays pour 151 rapports monopays

5 rapports mixtes (Etats-Unis-Irak, Etats-Unis-Belgique, Chine-Australie,
Grande-Bretagne-Ile Maurice, Ile Maurice-Grande-Bretagne)

Total 156

#### Répartition par pays

•	Etats-Unis Israël Australie, Espagne Inde, RFA	96 15 5 4	rapports	soit	62 10 3 2,5	% % % %	par	pays	Etats-Unis Australie		% %			
	Canada, Hongrie, Italie	2			4				1	-	0/	In-tailmen		~
•	France, Irak, Liban	2	-		1,3	%			Irak	Z	%	Belgique	1,3	%
	Autriche, Belgique, Chine, Jordanie, Grande-Bretagne Ile Maurice, Nouvelle-Zélanc	l ie,			0,65	%			Chine	I	,3 %	Grande-Bretagne	2 2	% %
	Vénézuela		Pour	151 1	appor	ts			% pour i	56 i	арро	orts		

#### ANNEXE II

#### CONFERENCE - TABLE RONDE SUR LA MICRO-IRRIGATION

Organisée par la CIID\* et le Comité National Hongrois à Budapest (Hongrie) du 15 au 19 septembre 1986

OBSERVATIONS: Cette conférence, venant peu de temps après le Congrès de Fresno, n'a pas eu tout le succès qu'elle méritait. Elle a cependant permis aux pays de l'Est ainsi qu'à certains pays du Tiers Monde, de s'exprimer sur le sujet.

<sup>\*</sup> Commission Internationale des Irrigations et du Drainage

#### LISTE DES COMMUNICATIONS CLASSEES SELON LES THEMES DE FRESNO

Sur les 47 rapports, 42 sont écrits en anglais, 5 en français. Ils sont présentés en 3 volumes qui, en principe, correspondent chacun à un aspect de la micro-irrigation qui a été discuté par un panel spécial, au cours d'une discussion en table ronde.

- Volume I : Les conditions du milieu (écologie)
- Volume II : Les conditions de fonctionnement (technologie, calcul des réseaux, pilotage)
- Volume III : Les résultats et les problèmes posés (économie)

La liste a été remaniée pour être présentée suivant les thèmes adoptés au Congrès de Fresno. La lère colonne indique le numéro d'ordre dans lequel la communication est présentée dans les Actes de la Conférence. La 4ème colonne la langue utilisée (Anglais ou Français). Enfin les 2 dernières colonnes indiquent:

- (a) la page des Actes de la Conférence où figure le texte de chaque communication,
- b) la page de la présente étude où figure son analyse.

Comme pour le Congrès de Fresno, l'analyse des communications qui ont contribué à l'établissement des synthèses figure, en fin des chapitres correspondants, aux pages indiquées dans la dernière colonne de la liste.

29 rapports (sur 47) ont été utilisés, certains plusieurs fois, (ce qui porte à 42 le nombre total des citations).

					LLLA	
N°	Auteurs	Pays	Langue	Titre en français	Réfé a	rences
TI	nème C : Obstruction e	t traitement de	l'eau			
4	Darab et Ligetvari	Hongrie	A	Critères de qualité de l'eau utilisée en g à g	27	
6	Haman, Smajstrla	E.U	A	en climat tempéré Problèmes de qualité de l'eau utilisée en	43	97
18 35	et Zazueta Boivin (Sté Lakos) Huska et Kabina	Belgique	Ą	Floride pour la micro-irrigation  La filtration en micro-irrigation	17 •	102
1	Moncef	Tchécoslovaquie	i	Fiabilité de fonctionnement du g à g. Méthodes d'amélioration	11	98
	Salek	Tunisie	A	L'irrigation g à g et les problèmes posés par son utilisation	27	
Ι.	ème E : Utilisation hors	Tchecoslovaquie	F	. Appareils de filtration de l'eau en micro-irrigation	67	130
i	Padmakumari, Kottis	Inde	A	Early afallants as materials of		
	Waran et Sivanappan Prodansky, Jovkov	Bulgarie	Â	Etude, réalisation et maintenance des réseaux g à g	43	169
1	et Kovachev Salih, Ismail et	Irak	Â	Quelques applications du g à g	57	169
l	Khorshid Uri (Netafim)	Israël	Â	Utilisation du g à g en Irak	63	
Ι.	ème F : Réponse des c	•	^	La révolution agricole due à l'introduction du g à g dans la vallée du Jourdain	83	65
	Falciai, Giacomin et	Italie	A	Feeni dirrigation a h a sa de fessionale		
	Rucchi Rzekanowski	Pologne	A	Essai d'irrigation g à g et de fertigation sur raisin de table	49	153
		. Stokile	^	Résultats de recherches sur l'utilisation du     g à g en verger	101	
The	ème H : Essais et évalu	ation des appar	eils de	distribution		
5	El Awady,Fouad,Tayel Wabby et Latif	Egypte	Α	. Caractéristiques du débit en continu fourni par une jarre enterrée	35	
23	Giay et Zelenka	Autriche	Α	CV de divers types de goutteurs par rapport au goutteur autorégulant HB	53	122
27	Pénadille	France	F	Critères de choix des distributeurs en micro- irrigation	81	123
46	Silberstein	Israël	Α	La normalisation internationale en micro-irrigation	77	118
Thè	me I : Fertigation		ʻ 1	,	! !	; i
3 ]	Assaf, Levin et Bravdo	Israël	Α	. Effet de la répartition de l'eau dans le sol	19	
Thà	eme J : Calcul des rése			sur la croissance et le rendement de pommiers irrigués en g à g		
	Da, Yuhua, Liu et			Duning diffusionate at the second		
	Zaiming Feyen, Pauwels et	Chine	^	Projet d'irrigation de vergers adultes par micro-asperseurs	29	
	Maes Kochanek, Vrana	Belgique	^	CALDRIP. Progiciel de calcul d'un réseau g à g	47	136
· ]	et Vaska Salek, Stary et	Tchécoslovaquie	A F	Calcul hydraulique des réseaux g à g dans les conditions de la Tchécoslovaquie	69	118
	Oujezdsky	Hongrie		Principes de calcul d'une rampe en g à g et en micro-aspersion	95	136
	Zazueta, Smajstria et Haman Nosenko	E.U	A	. CAO en micro-irrigation	109	137
"	. TOURING	URSS	^	. Considérations théoriques et pratiques sur la distribution rationnelle d'un débit d'irrigation	35	
Thè	eme N : Comparaison av	ec les autres m	éthodes	d'irrigation		
8	Jubboori	E.U	Α	Effet des facteurs du milieu sur le choix de la technique d'irrigation dans les Emirats	59	
15	Vucic, Lopicié et Merkovic	Yougoslavie	Α	Arabes Unis  Aspersion et micro-irrigation sur vigne en	107	85
45	Sharko	URSS	A	sol pierreux  Aspersion par pulsions synchrones. Comparaison	73	
Thè	erne O : Systèmes et m	atériels		avec l'aspersion classique et le g à g		
17	Agoston, Meszaros et Patay	Hongrie	Α	. Essai d'un système mixte de micro-irrigation	11	
	Hardie (Sté) Olbertz	Italie PDA	Ą	Micro-irrigation : le système Biwall	61	123 127
23	O.Del LE	RDA	^	Principes d'un nouveau système d'irrigation basse-pression utilisable en micro-irrigation, à	75	127
	Popov et Kanev Sharko, Michalev,	Bulgarie	F	la raie ou en irrigation souterraine L'automatisation des réseaux de micro-irrigation	85	131
-	Vestendorff, Nessler et Nolting	URSS	^	. Techniques d'irrigation localisée par pulsions	99	127
32	Weiduo	Chine	Α	. Système g à g manuel mobile	105	27
37	Lavi	lsraël	Α	. Automatisation de la micro-irrigation en Israël	21	131

Thème	р.	Fau	caláa
meme	P :	cau	saiee

1	cine i . Laa sarce	ı		1		
	Mohamed, Ragab, Genead et Mehana Ragab, Mohamed,	Egypte Egypte	A	Efficacité du dessalage intermittent en sols salés irrigués     Efficacité du dessalage continu en sols salés	73 93	
The	ème Q : Développement	du système rad	cinaire	irrigués		
16	El Awady, Fouad,Tayel Wahby et Latif	Egypte	Α	. Humidification du sol à partir d'une jarre enterrée	5	
The	ème S : Pilotage de l'i	rigation et gest	tion de	l'eau		
9	Meron, Levin et Meiri	Israël	A	. Influence, sur le coton irrigué en g à g, de l'espacement des rangs et du coefficient de couverture du sol	65	73
29	Rossiter et Pogue	E.U	Α	Pilotage de l'irrigation par tensiomètres	89	143
The	ème T : Uniformité d'ap	pport				
36	Jeznach	Pologne	Α	. Problèmes d'exploitation des réseaux g à g en pologne	15	159
The	ème U : Goutte à gout	e enterré		ch pologic		1
11	Pak	URSS	Α	. Techniques et matériels utilisés en irrigation souterraine avec des eaux propres ou usées	83	46
12	Pierzgalski	Pologne	Α	Maîtrise de l'humidité du sol en irrigation souterraine	87	47
34	Horanszky	Hongrie	Ą	L'irrigation souterraine en Hongrie : développe- ment, champ d'application, pratique	5	48
41	Phéné, Hutmacher, Davis, Mc Cormick et Meek	E.Ų	A	Conduite et réponse de la tomate en g à g souterrain	49	49
Ho	rs sujet					1
1	Abdel-Aal et Waly	Egypte	A	Etude génétique de la tolérance au sel du petit pois et de la fève	5	
2	Amer	Egypte	A	Approche de l'estimation de la surface spécifique des particules de sol à partir de la courbe caractéristique de teneur en eau	11	
19	Bykor et Grjukin	URSS	A	Aspersion par impulsions synchrones en plantations pérennes	23	
21	El Awady, Ansary et Awada	Egypte	A	Aspersion mobile pour les petites exploitations (Calcul et essai)	37	

## Au total 17 Pays pour 47 rapports se répartissant comme suit :

	7 rapports 5 rapports	•		2 rapports 2 rapports	Inde Irak	l rapport l rapport	Yougoslavie I rapport
URSS	5 rapports 5 rapports	Tchecoslovaquie Belgique		l rapport	RDA	l rapport	

### ANNEXE III

# RECENSEMENT MONDIAL DES STATIONS D'ESSAIS DE MATERIELS DE MICRO-IRRIGATION

(d'après l'enquête de la C I I D).

#### ANNEXE III.

#### STATIONS D'ESSAIS DES MATERIELS DE MICRO-IRRIGATION

#### (Recensement mondial CIID)

Pays	Nom et adresse du laboratoire d'essai	Eventuellement activité et publication des résultats
Afrique du Sud	Department of Agriculture and Water Supply Agriculture Engineering and Water Supply Private Bag X 515 - Silverton 0127 South Africa	- Filtres pour la micro-irrigation, manuel et bulletins d'essais 84003 à 84017, déc. 1986 - Bulletins d'essais individuels 86221 à 86228
Australie	South Australian Department of Agriculture Research Station Loxton South Australia 5333 Australie	- Résultats publiés (rapport) Evaluation des appareils d'irrigation par Watson et Sluggett
	Institute for Irrigation and Salinity Research Ferguson Road - TATURA VICTORIA 3616 Australie	
Canada	Alberta Agriculture - Irrigation Division Lethbridge TIJ 4C7 - Canada	- Résultats publiés dans un rapport annuel 1972 à 1983)
Chine Populaire	Mr. Xu Da and Qui Weiduo Water Conservancy and Hydroelectric Power Research Institute - P.O. Box 366 BEIJING - Chine	
	Mr. Fu Ling Farm Irrigation Research Institute Xin Xian Henan - Chine	
	Mr. Dong Wenchu Wuhang Institute of Hydraulic and Electric Engineering - Chine	
Chypre	Agricultural Research Institute Ministry of Agriculture and Natural Resources NICOSIA CYPRUS	- Essai de minidiffuseurs (spitters = "cracheurs"
Espagne	Regional Government of Cataluna (Agency of Generalidad de Cataluna) c/- ICID Comite Espagnol De Riegos y Drenajes Ministerio De Obras Publicas Neuvos Ministerios - Madrid 3 - Espagne	- Fournit aux fabricants de matériels des certificats de qualité.
Etats-Unis	Kenneth H. Solomon Director, Centre for Irrigation Technology California State University - Fresno Fresno, CA 93740-0018 - USA	
France	Groupement d'Aix-en-Provence B.P. 3I - Le Tholonet 13612 AIX-EN-PROVENCE CEDEX I - France	- Essais des distributeurs (goutteurs, minidiffu-, seurs, mini-asperseurs), tuyaux, rampes et gaines, filtres à tamis et à sable (essais des caractéristiques mécaniques et hydrauliques). Publication prochaine de l'ensemble des essai sur les distributeurs réalisés depuis 1972 (modèles encore sur le marché).
Israël	Israeli Standards Institute Ramat Aviv - Tel Aviv - Israël	- Essais de tous les types de distributeurs depuis quelques années pour contrôler leur conformité aux normes. A commencé des essais sur les filtres.
<u>Italie</u>	Institute of Agricultural Hydraulics Via S, Michele Degli Scalzi PISA - Italie	- Essais sur des goutteurs
	Institute of Agrarian Hydraulics University of Pisa - Via Del Borghetto - N.80 PISA - Italie	
<u>Jordanie</u>	Royal Scientific Society (RSS) P.O. Box nº 925819 - Amman - Jordanie Télex : 21276	
Maroc	SASMA - Allée des Jardins Casablanca 206 - Maroc	
Tchécolslovaquie	Soil Fertility Research Centre (Vyskumne Centrus Podnej Urodnosti) Research Institute of Irrigation Management Vrakunska 29, 825 63 Bratislava - Tchécoslovaquie	- Goutteurs et filtres (système T.M.)

TABLEAU V COMPARAISON 1981-1986 DES SURFACES IRRIGUEES EN MICRO-IRRIGATION

PAYS	1986 ha	*	1981 ha	*	1986/ 1981	Observations	
Etats-Unis Israël Espagne Afrique du Sud Egypte Australie France Portugal Italie Brésil Mexique Jordanie Taïwan Chine populaire Chypre Canada Chili Maroc Grande-Bretagne Yougoslavie Thaïlande Pays-Bas Hongrie Tchécoslovaquie RFA Pologne Japon Malaisie Malawi Autriche Equateur URSS Nouvelle-Zélande Iran RDA Sénégal Argentine Tunisie Costarica		11,7	185 370 81 700 pr 44 000 20 050 22 400 pr 10 300 2 000 5 500 1 020 pr 8 040 6 600 4 985 pr 3 600 3 150 pr pr 2 500 830 640 pr 11 200 pr 11 200 1 000 800 205 205 205 205 205 205 205 205 205 2	11 4,5 5,5	2,11 1,55 2,32 2,93	pr=pas de réponse	
Inde	pr 1 081 631	100	20 416 665		2,60		
Tomon	+ 36 335 (13 975 x 2.60) pays ayant répondu					•	

+ 36 335 (13 975 x 2,60) pays ayant répondu en 1981, et non en 1986

1 117 966 ha soit environ 1,12 sur 203 millions d'ha irrigués, c'est-à-dire 0,55 %





ISBN: 2-85362-134-0 Édition CEMAGREF-DICOVA