



Expansion Des Ressources en Eau dans les Zones Arides: Techniques Prometteuses et Possibilites de Recherches (1977)

Pages
165

Size
5 x 9

ISBN
030935997X

Consulting Committee on Innovation Techniques;
Council of Science and Technology for International
Development; Commission on International Relations;
National Research Council

 [Find Similar Titles](#)

 [More Information](#)

Visit the National Academies Press online and register for...

- ✓ Instant access to free PDF downloads of titles from the
 - NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
 - NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING
 - INSTITUTE OF MEDICINE
 - NATIONAL RESEARCH COUNCIL
- ✓ 10% off print titles
- ✓ Custom notification of new releases in your field of interest
- ✓ Special offers and discounts

Distribution, posting, or copying of this PDF is strictly prohibited without written permission of the National Academies Press. Unless otherwise indicated, all materials in this PDF are copyrighted by the National Academy of Sciences.

To request permission to reprint or otherwise distribute portions of this publication contact our Customer Service Department at 800-624-6242.

Copyright © National Academy of Sciences. All rights reserved.



Expansion des ressources en eau dans les zones arides

**Techniques prometteuses
et
possibilites de recherches**

**Rapport d'un groupe de travail ad hoc
du Comité consultatif sur les innovations techniques
Conseil de la Science et de la Technologie pour le Développement international
Commission des relations internationales**

**NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
Washington, D.C. 1977**

NAS-NAE

MAR 24 1978

LIBRARY

Le présent rapport, publié pour la première fois en 1974, a été préparé par un groupe de travail consultatif ad hoc du Conseil de la Science et de la Technologie pour le Développement international, Commission des relations internationales, Conseil national de la recherche, pour le compte de l'Office de la Science et de la Technologie, Bureau de l'Assistance technique, Agence pour le Développement international, Washington, D.C., contrat no. AID/csd-2584, Task Order no. 1. La version française a été préparée dans le cadre du contrat AID/csd-2584, Task Order no. 22 passé avec la Division des opérations régionales, Bureau des affaires pour l'Afrique, Agence pour le Développement international.

NOTICE : Le projet qui fait l'objet de ce rapport a été approuvé par le "Governing Board" du Conseil national de la recherche, agissant au nom de l'Académie nationale des Sciences. Cette approbation reflète le jugement du Conseil sur le projet : celui-ci est d'importance nationale et est conforme aux buts que se propose de poursuivre le Conseil national de la Recherche, et à ses ressources.

Les membres du Comité, sélectionnés pour l'entreprendre et préparer le rapport qui le concrétise, ont été choisis en raison de leur compétence et du désir de maintenir une juste balance entre les disciplines scientifiques. Ils en portent la responsabilité entière.

Chaque rapport produit par un comité d'étude du Conseil national de la Recherche est revu par un groupe indépendant de personnes qualifiées, en accord avec les procédures établies et suivies par le "Report Review Committee" de l'Académie nationale des Sciences. La distribution du présent rapport a été approuvée par le président de l'Académie, compte tenu de l'achèvement satisfaisant du processus de révision.

Order from
National Technical Information Service,
Springfield, Va.

22161
Order No. PB 274-612

Groupe de travail sur les techniques prometteuses d'exploitation des eaux en région aride

- DEAN F. PETERSON, Vice President for Research, Division of Research, Utah State University, Logan, Utah, *Chairman*
- FALIH K. ALJIBURY, Soil Physicist, Agricultural Extension, University of California, Parlier, California
- BAHE BILLY, Executive Manager, Navajo Tribal Agriculture Products Industry, Farmington, New Mexico
- C. BRENT CLUFF, Associate Hydrologist, Water Resources Research Center, University of Arizona, Tucson, Arizona
- HAROLD E. DREGNE, Chairman, Department of Agronomy, Texas Tech University, Lubbock, Texas
- EARL A. ERICKSON, Department of Crop and Soil Sciences, Michigan State University, East Lansing, Michigan
- MICHAEL EVENARI, Botany Department, Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Israel
- JEROME GAVIS, Department of Geography and Environmental Engineering, The Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland
- ROBERT M. HAGAN, Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis, California
- JACK KELLER, Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, Utah
- FERNANDO MEDELLÍN LEAL, Director, Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S. L. P., Mexico
- LLOYD E. MYERS, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Western Region, Berkeley, California
- SOL D. RESNICK, Director, Water Resources Research Center, University of Arizona, Tucson, Arizona
- JAN VAN SCHILFGAARDE, Director, U.S. Salinity Laboratory, Soil and Water Conservation Research Division, A.R.S., U.S. Department of Agriculture, Riverside, California
- NOEL D. VIETMEYER, Board on Science and Technology for International Development, Commission on International Relations, National Academy of Sciences-National Research Council, *Staff Study Director*
- JULIEN ENGEL, Head, Special Studies, Board on Science and Technology for International Development

Collaborateurs

- LEON BERNSTEIN**, U.S. Salinity Laboratory, A.R.S., U.S. Department of Agriculture, Riverside, California
- KEITH R. COOLEY**, U.S. Water Conservation Laboratory, A.R.S., U.S. Department of Agriculture, Phoenix, Arizona
- ALBERT K. DOBRENZ**, Department of Agronomy and Plant Genetics, University of Arizona, Tucson, Arizona
- A. RICHARD KASSANDER, JR.**, Vice President for Research, University of Arizona, Tucson, Arizona
- L. K. LEPLEY**, Office of Arid Lands Studies, University of Arizona, Tucson, Arizona
- MARTIN A. MASSENGALE**, Department of Agronomy and Plant Genetics, University of Arizona, Tucson, Arizona
- JAMES J. RILEY**, Environmental Research Laboratory, University of Arizona, Tucson, Arizona
- W. T. WELCHERT**, College of Agriculture, Cooperative Extension Service, University of Arizona, Tucson, Arizona
- L. G. WILSON**, Water Resources Research Center, University of Arizona, Tucson, Arizona

Préface

Le présent rapport examine des techniques peu connues mais prometteuses pour l'utilisation et la conservation de ressources en eau limitées en région aride. Loin d'être technique, cet ouvrage cherche à attirer l'attention des responsables et chercheurs agricoles et communautaires sur les possibilités d'exécuter des projets de développement à valeur sociale indéniablement élevée.

Les techniques examinées devraient pour le moment être considérées comme des compléments et non comme des succédanés de méthodes standard de gestion et d'adduction d'eau. Toutefois, bon nombre d'entre elles ont une valeur locale immédiate pour l'exploitation et la conservation de l'eau à une échelle limitée, en particulier dans les régions éloignées de la planète où la pluviométrie n'est qu'intermittente. En procédant à d'autres recherches et à d'autres adaptations, certaines de ces techniques pourraient concurrencer économiquement les méthodes conventionnelles d'expansion des ressources ou de réduction de la demande d'eau.

A toutes fins utiles et pour faciliter la tâche du lecteur, chaque technique est présentée dans un chapitre distinct et chaque chapitre se divise comme suit :

Méthodes

Avantages

Limitations

Stade de développement

Recherches et développement nécessaires

Ouvrages de référence (une brève liste de critiques et d'articles à caractère général)

Contacts (Liste de personnes ou d'organisations qui participent à des travaux de recherches sur la question)

NOTE : Ni la liste des ouvrages de référence ni celle des contacts ne sont exhaustives.

Plusieurs points méritent d'être soulignés :

Le groupe de travail estime que toutes les techniques présentées dans le rapport ont prouvé leur utilité dans les milieux décrits. Lorsque ces techniques sont appliquées dans un environnement différent, il convient de tenir

compte de la situation locale qui risque d'influer sur leur succès. En raison de son caractère général, le rapport ne peut bien entendu pas répondre à toutes les questions.

Les techniques retenues et examinées dans le rapport ne sont pas nécessairement supérieures à toutes les autres, dont certaines méritent sans doute une attention égale. Ce choix se fonde sur les avantages techniques et les possibilités d'application, particulièrement dans les pays en développement. L'ordre dans lequel les chapitres sont présentés ne préjuge en rien de l'importance des techniques. Certaines techniques sélectionnées sont sans doute déjà appliquées sur une grande échelle; il n'en est pas de même de certaines autres dont les principes fondamentaux sont encore en cours d'élaboration. Bien que la plupart des idées discutées ne soient pas nouvelles, elles ne sont pas encore d'une application généralisée.

Dans son examen des techniques, le groupe de travail a tenu compte de leurs paramètres économiques sans pour autant pouvoir prendre en considération cette question en détail. Toute tentative pour estimer le coût futur de ces techniques dans les milieux économiques et écologiques très différents des dizaines de pays affligés par le problème de l'aridité aurait stérilisé le débat, de même d'ailleurs que les considérations d'ordre politique, institutionnel et social. En conséquence, le présent rapport se limite à faire un tour d'horizon technique, laissant au lecteur le soin d'évaluer les détails techniques à la lumière des ressources et des capacités de son pays.

Le groupe de travail ad hoc sur les techniques prometteuses pour l'exploitation de l'eau en région aride a élaboré ce rapport lors d'une réunion avec le concours du personnel de l'Académie nationale des Sciences. Chaque été évaluée et décrite par écrit avant la réunion par un membre du comité avec le concours du personnel de l'Académie nationale des Sciences. Chaque document a été analysé par les autres membres du comité, discuté pendant la réunion et modifié en fonction des décisions du groupe dans son ensemble. Le présent rapport est donc le résultat d'une unité de vue.

Le groupe de travail tient à exprimer sa profonde gratitude à Tresa Bass et Mary Jane Koob qui ont joué le rôle de secrétaires administratives pendant la réunion et qui ont contribué à l'élaboration du rapport; le groupe tient en outre à remercier A. Richard Kassander, Jr., et Jack D. Johnson de l'Université d'Arizona des dispositions qu'ils ont prises en vue de l'organisation de la rencontre à Tucson. Le projet de rapport a été préparé pour publication par Jane Lecht et la version française a été mise au point par Transemantics, Inc., Washington, D.C.

Ce projet fait partie d'une expérience visant à déterminer les méthodes grâce auxquelles scientifiques et ingénieurs peuvent contribuer plus efficacement aux activités de développement économique, particulièrement en transposant les résultats de recherches récentes en des formes utilisables par les responsables de décision. Si vous souhaitez présenter des observations à

l'égard du rapport et, en particulier, si vous l'estimez utile dans votre travail, veuillez vous adresser à : Dr. Noel Vietmeyer, National Academy of Sciences-National Research Council, 2101 Constitution Avenue, JH 215, Washington, D.C. 20418, U.S.A.

Introduction et Résumé

Les régions arides connaissent de nos jours des problèmes plus difficiles que jamais dans l'histoire de l'humanité. Les déserts sablonneux du monde semblent avancer tandis que les sécheresses contribuent à la dévastation économique de pays tout entiers. Les six pays du Sahel frappés par la sécheresse en sont un exemple extrême, mais certains pays industrialisés et en développement souffrent aussi de la crise. Le sud-ouest des Etats-Unis par exemple voit ses nappes phréatiques baisser tandis qu'augmente la salinité de ses eaux souterraines.

Toutefois, les terres arides ont des possibilités agricoles qui ne sont pas suffisamment exploitées. Il faut être conscient que ces possibilités peuvent être exploitées par des concepts et des méthodes qui se prêtent particulièrement aux régions sèches. Les pratiques hydrauliques mises au point pour les climats tempérés peuvent ne pas avoir le même succès dans les régions arides et ce pour des raisons techniques, écologiques, économiques et culturelles. Il nous faut de nouvelles méthodes innovatrices en matière de technologie de l'eau, particulièrement des méthodes destinées à satisfaire les besoins des régions arides dans le monde moins développé où les pratiques mises au point dans des régions où les précipitations sont plus élevées et dont l'approvisionnement en eau est plus abondant ont souvent été l'objet d'une application inappropriée. De plus, il nous faut examiner les pratiques utilisées dans les régions arides par les agriculteurs des temps anciens. Il existe fondamentalement deux méthodes : accroître les quantités d'eau utilisable et réduire la demande. Offre et demande ainsi que l'approvisionnement doivent être considérés comme un système global.

Nombreuses sont les possibilités d'accroître et de réduire simultanément l'offre et la demande d'eau, ce dont devraient tirer parti les régions arides. L'agriculture irriguée conventionnelle, de loin le principal utilisateur d'eau du monde aride offre d'excellentes possibilités d'économies. Cela vaut tant pour les systèmes traditionnels dont l'origine se perd dans la nuit des temps que pour les vastes systèmes modernes et capitalistiques. Les systèmes conventionnels ne sont pas le principal sujet du présent rapport car ils ont été discutés plus en détail dans d'autres ouvrages (voir les ouvrages de référence). Et pourtant, il convient de souligner les points suivants :

- Dans certaines régions arides, la meilleure façon d'accroître l'approvisionnement en eau consiste à améliorer les réseaux d'adduction existants et, partant, de rendre une plus grande quantité d'eau disponible sans devoir ériger une installation totalement nouvelle. Par exemple, le remplacement des canaux par des canalisations fermées (de plastique, de béton, de métal, etc.) réduira l'évaporation, alors que des canaux à revêtements intérieurs réduiront les pertes par infiltration (la plupart des chapitres du présent rapport traitent d'une manière ou d'une autre les améliorations à apporter aux réseaux d'adduction existants et de l'utilisation maximale des approvisionnements connus).

- Il est possible d'économiser de grandes quantités d'eau en améliorant la gestion des eaux au niveau de l'exploitation agricole, question que les spécialistes négligent souvent dans de nombreuses régions. La conception des réseaux de drainage et de distribution à la ferme et entre les divers champs n'a été que superficiellement étudiée. Les canaux de stockage, d'adduction et de détournement ainsi que les principales conduites peuvent être bien conçus (même pour les embranchements qui desservent de 100 à 200 hectares) mais la plupart des fossés qui desservent les champs de l'exploitation agricole sont insuffisants, sinon même inexistantes. De plus, l'irrigateur gère souvent mal l'application de l'eau.

- Dans la conception de nouveaux réseaux et la rénovation des anciens, les besoins de l'utilisateur devraient occuper une place importante. Le réseau doit fournir à l'utilisateur la quantité d'eau voulue au moment voulu. Il arrive fréquemment qu'un projet d'irrigation n'atteigne pas son potentiel parce que les besoins en eau n'ont pas été suffisamment pris en considération. Par exemple le réseau d'approvisionnement pour irrigation devrait être conçu pour permettre de modifier le débit lorsque la demande change avec le temps et la croissance des plantes. Toutefois, l'eau est souvent fournie d'une manière arbitraire et inflexible.

- Lorsqu'il existe des eaux souterraines, les réseaux d'approvisionnement et d'acheminement des eaux superficielles et souterraines devraient être pris en considération dans leur ensemble pour garantir une utilisation optimale des ressources totales en eau.

- Dans le monde entier, les agriculteurs tendent à irriguer excessivement lorsque l'eau ne fait pas défaut. Cela peut aboutir à des problèmes d'imbibation et de salinité du sol ainsi que de lessivage de la fertilité. Fréquemment, les dispositifs institutionnels (réseaux d'acheminement, d'adduction, droits d'eau, traditions, etc.) encouragent une irrigation excessive. Bien que cela puisse être nécessaire pour éliminer l'accumulation des sels, de récentes études montrent que la quantité requise peut être nettement inférieure à ce que l'on estimait antérieurement (chapitre 3).

- L'irrigation conventionnelle n'est ni bon marché ni simple; les problèmes de conception, de construction et d'exploitation efficace de projets d'irrigation type sont fréquemment par trop simplifiés et ignorés. Les champs sont souvent mal nivelés et les ondulations, même de faible amplitude, peuvent se solder par un gaspillage considérable. Aménagement précis des terres et main-d'oeuvre qualifiée sont indispensables. Le nivellement des terres et leur transformation en une surface plane sont d'ordinaire synonymes des coûts d'équipement, de combustible et d'entretien élevés.

- Plus l'eau est rare, plus il faut pouvoir compter sur des compétences techniques et administratives.

Les chapitres 1-6 du présent rapport traitent des techniques requises pour accroître les approvisionnements en eau; les autres chapitres traitent de la conservation. On trouvera ci-après un résumé des techniques décrites dans le présent rapport.

Collecte de l'eau de pluie

L'eau de pluie recueillie au pied des versants de collines et dans des bassins artificiels peut fournir des ressources d'eau supplémentaires à bas prix et de haute qualité pour les terres arides.

Agriculture par ruissellement

Elle implique la collecte de l'eau de pluie, mais l'eau est utilisée directement dans des systèmes agricoles spécialement conçus à cet effet.

Irrigation par eau salée

L'eau salée est facilement disponible, mais on l'utilise rarement parce qu'elle réduit la croissance et le rendement des plantes. Il est de plus en plus prouvé qu'avec des précautions, et dans certaines conditions favorables, on peut avantageusement irriguer avec l'eau salée.

Remploi des eaux

L'augmentation de la demande en eau impose que l'on réutilise beaucoup plus l'eau. Il est possible qu'à l'avenir l'évolution technique (recyclage et traitement perfectionné des eaux) revête une grande importance.

Puits

Le puits creusé de main d'homme, méthode qui remonte à des milliers d'années, connaît un regain de popularité avec l'aide de nouveaux matériaux et appareils de construction. Les "Qanats" et les puits horizontaux sont des

4 EXPANSION DES RESSOURCES EN EAU DANS LES ZONES ARIDES

procédés qui permettent de capter les eaux souterraines sans employer de pompes.

Autres sources d'eau et méthodes de détection

Dans ce chapitre, on évoque rapidement le captage des eaux phréatiques, la désalinisation, la distillation solaire, l'utilisation des satellites et des avions pour le repérage de l'eau dans les terres arides, l'augmentation de la pluviosité, la possibilité de se servir des icebergs comme source d'eau; enfin, la collecte de la rosée et du brouillard.

Réduction de l'évaporation des surfaces aquatiques

Comme l'évaporation est invisible, on la considère rarement comme une sérieuse cause d'épuisement des eaux accumulées, mais les pertes annuelles dues à l'évaporation, surtout dans les zones arides, sont considérables. L'abaissement de l'évaporation mérite qu'on lui prête de plus en plus d'attention comme moyen de conserver l'eau.

Novelles techniques de lutte contre les infiltrations

L'infiltration est à l'origine de graves déperditions d'eau dans les canaux et retenues. Les matériaux et techniques modernes peuvent réduire ou supprimer l'infiltration, mais les frais demeurent élevés.

Ralentissement de l'évaporation des surfaces pédologiques

Cette évaporation provoque une déperdition d'eau mais on peut la diminuer par des "couvertures" ou déchets organiques. Dans bien des cas, ceux-ci remplissent également d'autres rôles : arrêter la progression du désert ou favoriser l'agriculture par ruissellement.

Irrigation par filets d'eau

Cette méthode récemment mise au point utilise un système de tuyaux en matière plastique placés sur le sol parmi les plantes. L'eau circulant dans les canalisations s'écoule sur le sol à côté de chaque plante à un rythme soigneusement adapté aux besoins de la plante. Par rapport à l'irrigation traditionnelle, on a obtenu des rendements agricoles excellents avec un volume d'eau minimal.

Autres nouvelles méthodes d'irrigation

On présente, au moyen d'illustrations, quelques méthodes d'irrigation simples, laissées de côté dans les ouvrages techniques ou les manuels, et susceptibles de rendre des services dans les terres arides.

Allègement des pertes d'infiltration

Il y a, dans les zones arides, de vastes étendues de terrain sablonneux qui ne servent pas à l'agriculture parce que l'eau s'enfonce trop rapidement au-dessous du niveau des racines et que l'on ne dispose pas du supplément d'eau d'irrigation qui permettrait de compenser cette perte. On met actuellement au point des techniques visant à créer des barrières artificielles d'humidité souterraine destinées à empêcher ou à réduire le filtrage de l'eau et des éléments nutritifs.

Choix et exploitation des cultures en vue d'une utilisation plus rationnelle de l'eau

On n'a pas réalisé grand-chose en fait de procédés de culture permettant d'utiliser efficacement l'eau dans les terres arides. Beaucoup de possibilités de recherche restent à explorer, de la génétique phytologique à la technologie.

Réduction de la transpiration

Environ 99 pour 100 de l'eau absorbée par les racines des plantes est libéré dans l'air par les surfaces des feuilles. Si l'on peut trouver des moyens pratiques de réduire ce phénomène, on parviendra à réaliser d'énormes économies dans le volume d'eau nécessaire à la culture d'une plante donnée.

Agriculture en milieu surveillé

En cultivant les plantes dans des compartiments étanches mais transparents, on peut beaucoup diminuer la quantité d'eau normalement perdue, et on peut aussi régler l'atmosphère, autour des plantes, de manière à porter la productivité au maximum. Ce sont là des méthodes coûteuses, mais qui permettent d'atteindre un rendement agricole élevé avec de petites quantités d'eau.

Autres techniques prometteuses de conservation de l'eau

Ce chapitre aborde brièvement les améliorations pédologiques qui favorisent la conservation de l'eau, et la reconstitution artificielle des réserves phréatiques.

Ouvrages de référence

Arid Zone Research Liaison Officer, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Annual. *Arid Zone Newsletter*. (Booklet provides representative cross-section of arid-zone research in progress in Australia. Available from the authoring institution, Canberra, ACT, Australia.)

Arnon, I. 1972. *Crop Production in Dry Regions. Volume 1: Background and Principles*. Barnes and Noble, New York; Leonard Hill Books, London, 650 p.

- Bateman, G. H. 1971. *A Bibliography of Low-Cost Water Technologies*. Intermediate Technology Development Group, Ltd. (Parnell House, 25 Wilton Road, London SW1 V 1JS, England, Price £1.00). 45 p.
- Dixey, F. 1950. *A Practical Handbook of Water Supply*. 2nd ed. T. Murby, London.
- International Hydrological Decade. 1969 *The Progress of Hydrology*. Vol. 1, New Developments in Hydrology, Vol. 2, Specialized Hydrologic Subjects, Vol. 3, Hydrologic Education and Discussions. Urbana, Illinois, USA. 1295 p. (Available from V. T. Chow, Civil Engineering Building, Room 3118, University of Illinois, Urbana, Illinois 61801, USA.)
- Israelsen, O. W., and V. E. Hansen. 1962. *Irrigation Principles and Practices* 3rd ed. John Wiley and Sons, New York. 447 p.
- Kaul, R. W., ed. 1970. *Afforestation in Arid Zones*. Dr. W. Junk N.V. Publishers, The Hague, The Netherlands. 435 p.
- National Water Commission. 1973. *Water Policies for the Future*. Stock No. 5248-00006. Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402, USA. 579 p. (US\$9.30).
- Office of Agriculture, Technical Assistance Bureau, U.S. Agency for International Development. 1973. *Improving Farm Production in Tropical and Subtropical Regions of Limited Rainfall*. Technical Series Bulletin Number 4. 25 p. (Available from the authoring institution, Washington, D.C. 20523, USA.)
- Office of Science and Technology, Technical Assistance Bureau, U.S. Agency for International Development. 1972. *Desert Encroachment on Arable Lands: Significance, Causes and Control*. 55 p. (Available from authoring institution, Washington, D.C. 20523, USA.)
- Office of Science and Technology, Technical Assistance Bureau, U.S. Agency for International Development. 1973. *Techniques for Assessing Hydrological Potentials in Developing Countries: State of the Art and Research Priorities*. Report No. TA/OST 73-17. (Available from authoring institution, Washington, D.C. 20523, USA.)
- Paylore, P. 1967. *Arid Lands Research Institutions: A World Directory*. University of Arizona Press, Tucson, Arizona 85721, USA.
- Peterson, D. F. 1973. *Irrigation Practices Seminars 1956-70: an Evaluation*. Asia Bureau, U.S. Agency for International Development, Washington, D.C. 20523, USA.
- Rhodesia Agricultural Journal. 1972. *Water in Agriculture*. Technical Bulletin No. 15. 197 p. (Available from Department of Research and Specialist Services, Ministry of Agriculture, P.O. Box 8108, Causeway, Salisbury, Rhodesia.)
- Water for Peace: Proceedings of the International Conference on Water for Peace, Washington, D.C. 1967*. 8 Vol. Stock No. I-2; W29-5/V1-8, Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402, USA. (US\$60.00)
- Water Research Foundation of Australia. 1968. *Water on the Farm*. Report No. 25. 59 p. (Available from authoring institution, P.O. Box 47, Kingsford, New South Wales, 2032, Australia.)
- White, G. F., ed. 1956. *The Future of Arid Lands*. Publication No. 43. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C. USA. 453 p.

Première Partie

L'approvisionnement en eau

1 Collecte de l'eau de pluie

Bien qu'il pleuve rarement dans les zones arides, les pluies y apportent une quantité considérable d'eau; 10 mm de pluie équivalent à 100.000 litres par ha. La collecte des eaux de pluie (Figure 1) peut alimenter des régions où les autres sources sont trop éloignées ou trop onéreuses, ou bien où l'on ne peut pas creuser des puits soit parce que la structure géologique ne s'y prête pas, soit en raison du coût excessif des forages. La collecte des eaux de pluie est une technique qui convient plus particulièrement pour alimenter de petits villages, des écoles, des maisons, de petits jardins, le bétail et la faune.

Les anciens habitants du désert collectaient l'eau de pluie en acheminant l'eau recueillie au pied des versants de collines vers les champs ou des citernes (Figures 2-4). Les agriculteurs des temps modernes qui vivent dans les zones arides ont rarement collecté les eaux de pluie par ce moyen direct, bien qu'en 1929 un bassin artificiel de 2.400 m², situé dans une région aride de l'Australie (300 mm de précipitations annuelles en moyenne) ait fourni une quantité suffisante pour "6 personnes, 10 chevaux, 2 vaches, 150 moutons", même durant la période des plus faibles précipitations.¹

Aujourd'hui les chercheurs s'efforcent d'accroître le ruissellement en modifiant la surface du sol.

Méthodes

La collecte des eaux de pluie est possible même dans les régions où la pluviométrie moyenne est faible : 50-80 mm. Ces chiffres semblent constituer la limite inférieure de la pluviosité requise, bien qu'un bassin artificiel en Israël ait donné un ruissellement utilisable² avec seulement 24 mm de pluie. Dans certaines régions arides, comme le sud-ouest des Etats-Unis, la neige et les giboulées fournissent également des eaux de ruissellement. Le loess et les terres limoneuses, que l'on trouve dans presque tous les déserts, conviennent parfaitement pour la collecte des eaux de pluie car, même après une pluie légère, ces terres forment une croûte qui favorise le ruissellement.

¹ Kenyon. 1929. (Voir ouvrages de référence.)

² Evenari, Shanan, et Tadmor. 1971. p. 325. (Voir ouvrages de référence.)



FIGURE 1 La collecte de l'eau de pluie peut avoir un rendement surprenant. Ici dans le désert du Néguev, l'eau recueillie au pied des collines (arrière-plan) est amenée sur les lieux de l'exploitation agricole et répartie entre les différents champs. (N. Tadmor)

Parfois, l'eau de ruissellement provenant de la pluie peut être collectée à partir d'un bassin naturel qui n'a pas été modifié, une technique consistant à creuser des mares dans les petites dépressions où elles peuvent collecter l'eau de ruissellement (par exemple, la mare de la Figure 48, page 90). Il est souvent nécessaire d'aménager le bassin naturel, d'ordinaire pour rendre la surface du sol plus imperméable afin d'augmenter le ruissellement. On utilise plusieurs méthodes à cet effet.

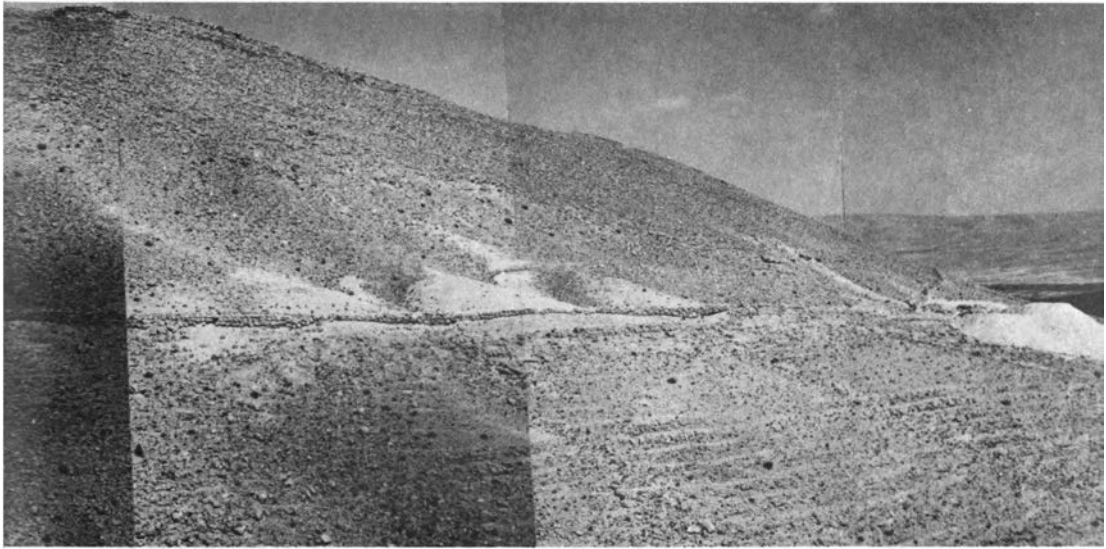


FIGURE 2 Il y a de cela deux mille ans les Nabatéens qui vivaient dans le désert du Néguev ont construit ce canal à travers le versant d'une colline pour collecter l'eau de ruissellement provenant des pluies. Le canal amène l'eau à la citerne de droite. Un autre canal, qui disparaît vers la droite, draine les versants de l'autre côté de la colline. (L. Evenari)



FIGURE 3 Ancien dispositif de collecte de l'eau de pluie dans le désert du Néguev. Le gravier qui recouvrait les pentes a été déblayé, laissant un bassin qui achemine l'eau de ruissellement vers une ferme dans la vallée. (M. Evanari)

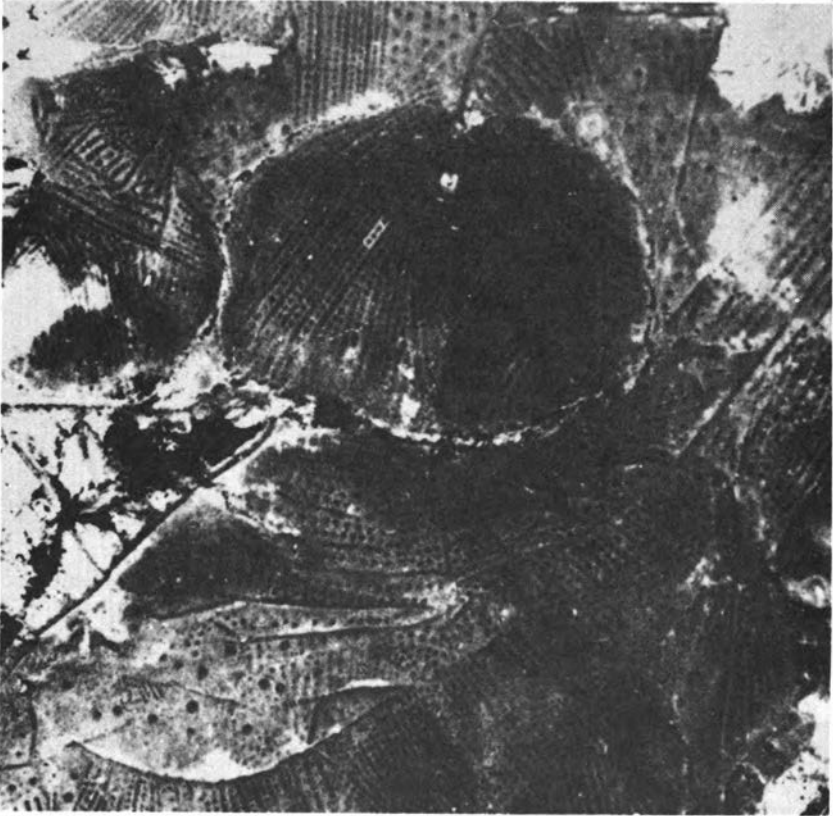


FIGURE 4 Vue aérienne des tertres et des rangées de gravier qui sont encore utilisés pour accroître la quantité d'eau de pluie recueillie au pied des collines dans le Néguev; comme ils ne pouvaient pas enlever tout le gravier, les Nabatéens l'avaient rassemblé en tas (indiqués par des points). Les conduites et les canaux sont disposés de telle façon que chacun d'eux recueille l'eau d'un petit bassin. Ce système qui répartit l'eau de ruissellement en petits courants, évite l'érosion et fournit à l'agriculteur des débits faibles mais aisément maniables. (N. Tadmor)

Aménagement du terrain

Dans certains cas, il suffit, pour collecter et acheminer l'eau de ruissellement, de creuser des rigoles ou d'édifier des murets de roches le long des versants (Figures 2 et 5). L'enlèvement des roches et de la végétation accroît d'ordinaire le ruissellement (Figures 3 et 4); le compactage de la surface du sol peut donner également le même résultat (Figures 6 et 7).

Dans le cas d'aménagements aussi simples, le principal problème qui se pose est celui de l'érosion; lorsque l'érosion n'est pas excessive et que des terrains situés sur les versants sont disponibles à bon marché, ces aménage-

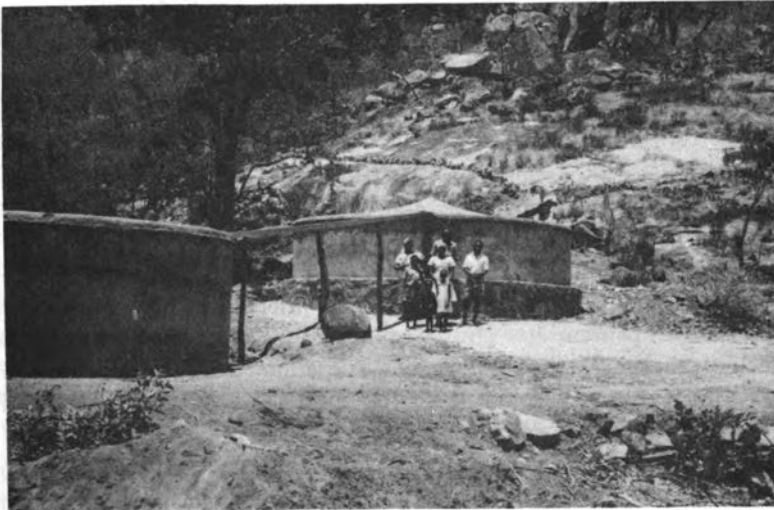


FIGURE 5 Collecte de l'eau de ruissellement au pied des versants d'une colline rocheuse. La capacité totale des deux réservoirs est de 110 m^3 ; 75 mm de pluie remplissent les deux réservoirs. Rowa African Purchase Land, Rhodesia. (Rhodesia Agricultural Journal)

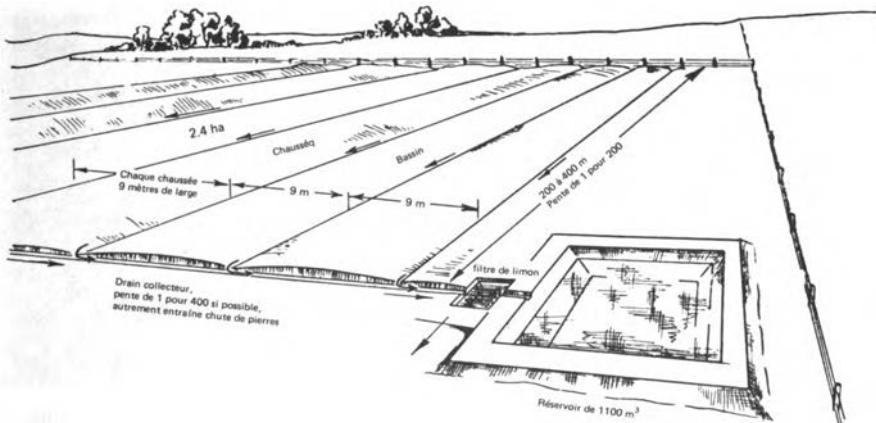


FIGURE 6 Dispositif de collecte de l'eau de pluie en Australie occidentale. Les bassins, dont la pente a été régularisée et la surface égalisée, retiennent de l'eau avec une pluviométrie minimum de 7,6 mm. Ils coûtent 30 à 40 dollars par acre (1968). Ils sont conçus de telle façon que pour un ruissellement de seulement 4,45 cm, 1,6 hectare de bassin fournira 800 mètres cubes d'eau. Les bassins sont bombés de sorte que l'eau de ruissellement coule rapidement sur le côté de la "chaussée" où une rigole l'achemine au collecteur principal et de là, à travers un filtre de limon, dans le réservoir de stockage (Tirée de : Department of Agriculture Western Australia, 1950. Voir ouvrages de référence.)

ments peuvent être un moyen économique de collecter les eaux de pluie dans les régions arides.

Traitement chimique

Une méthode prometteuse de collecte est celle qui consiste à soumettre les sols à un traitement chimique pour obturer les porosités ou accroître l'imperméabilité du sol.

Les sels de sodium, qui entraînent la désagrégation en particules fines de l'argile contenue dans le sol (ce qui obture partiellement les porosités du sol et les fissures) peuvent être utilisés pour accroître le ruissellement sur les sols argileux (chapitre 8). L'emploi des sels de sodium pour accroître l'étanchéité est très intéressant en raison de leur faible coût, de leur grande disponibilité et du fait qu'ils retardent la pousse des mauvaises herbes. (Figure 24, p. 36).

Les autres produits chimiques d'imperméabilisation couramment essayés sont les silicones, les latex, l'asphalte et la cire (voir chapitre 9). Bien que

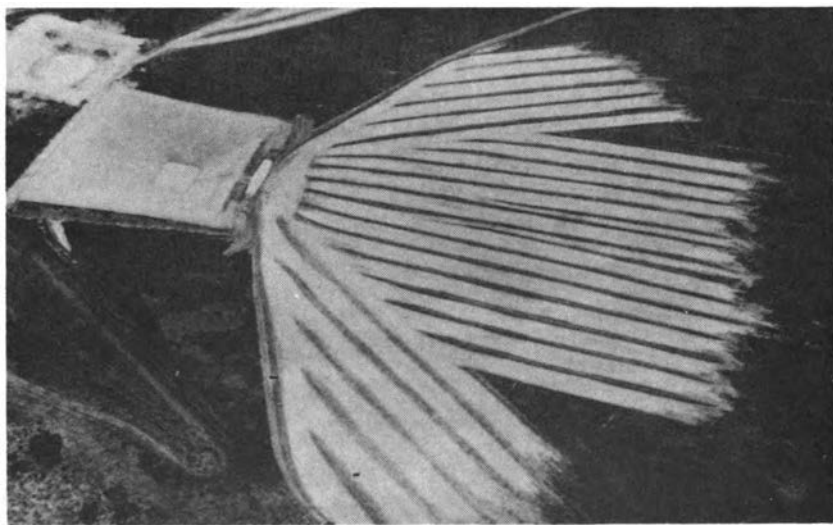


FIGURE 7 Bassin moderne de collecte de l'eau de pluie au sud du Sterling Range en Australie occidentale. La pluviométrie moyenne est de 500 mm; les pluies tombent pendant les 7 mois d'hiver. La surface du sol est sablonneuse, avec un sous-sol argileux. Le sable est déblayé et amassé en rangées; l'argile mise à nu par la construction de la chaussée est modelée et répandue pour couvrir toute la surface. Les buttes déversent l'eau de ruissellement dans un canal qui l'amène au réservoir carré (capacité 3.000 m³). Les principaux avantages de ce système sont qu'il utilise le sol existant et qu'il peut être construit avec des outils ordinaires. L'égalisation et le compactage des surfaces inclinées de la "chaussée" revêtent une très grande importance; ils ont été réalisés ici avec un rouleau compresseur à pneus de caoutchouc. Ce système semble convenir pour un grand nombre d'autres régions arides et semi-arides. (D. J. Carder et M. Hollick)

beaucoup de recherches restent encore à faire, il semble à l'heure actuelle que ces éléments d'étanchéité puissent être utilisés pour des sols stables qui ne se gonflent pas avec l'humidité.

L'asphalte offre de grandes promesses pour la construction à bas prix de bassins de collecte imperméables, surtout parce qu'il peut être facilement appliqué par pulvérisation. Aux Etats-Unis les bassins situés sur les versants ont été débarrassés de toute végétation, leur surface a été uniformisée, et on les a stérilisés chimiquement et on leur a appliqué deux couches d'asphalte pour en faire des collecteurs d'eau de pluie; la première couche d'asphalte obture les porosités, la seconde protège contre les intempéries. On a constaté que les bassins d'asphalte installés sur les versants appropriés fonctionnaient pendant 4 ou 5 ans. Les problèmes posés par l'instabilité du sol, l'oxydation, et la pénétration des pousses ont été résolus récemment en renforçant l'asphalte avec des matières plastiques ou de la fibre de verre et en recouvrant le bassin avec du gravier.

La cire de paraffine a été utilisée récemment comme agent d'imperméabilisation du sol (Figure 8). La cire en poudre répandue sur le sol fond au soleil et vient obturer les porosités pour produire une surface qui retient facilement l'eau. On peut également faire fondre la cire et en asperger le sol. Dans les expériences³ réalisées, les terrains traités à la cire permettraient en moyenne de faire ruisseler 90 pour cent de l'eau de pluie, contre 30 pour cent pour les terrains qui n'avaient pas subi le même traitement. L'eau de ruissellement provenant des terrains traités à la cire avait une faible teneur en sels (moins de 50 mg par litre) et ne contenait presque pas de matières organiques.

Couverture du sol

Au lieu de faire du sol lui-même la surface de retenue de l'eau, il est plus avantageux dans certaines situations de déposer sur le sol une couverture imperméable. Sur les sols poreux ou instables, notamment, l'emploi des autres méthodes serait trop onéreux.

Des feuilles de matière plastique, de caoutchouc au butyle et de métal permettent de construire des bassins de collecte à bas prix, mais ceux-ci sont facilement endommagés par le vent; les films plastiques recouverts de gravier (Figure 9) ont donné de meilleurs résultats; le gravier protège la membrane des rayonnements thermiques et du vent. Ces bassins, s'ils sont bien construits et entretenus, peuvent fonctionner pendant longtemps, leur durée projetée de vie étant supérieure à 20 ans. Ils sont particulièrement utiles dans les zones où l'on trouve du gravier en abondance et dans les cas où l'on n'a pas besoin d'un ruissellement maximum (le gravier retenant une partie de l'eau).

³Fink, et al, 1973. (Voir ouvrages de référence.)

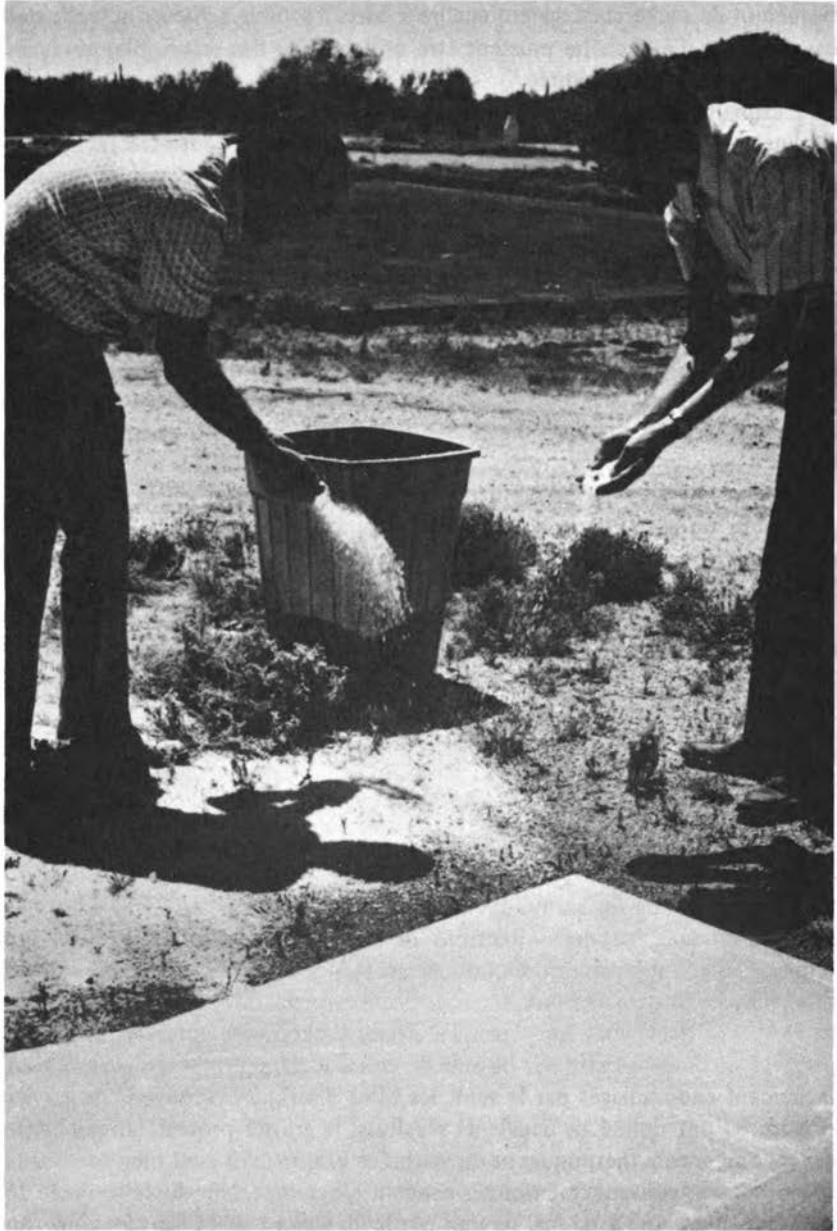


FIGURE 8 La cire de paraffine est pulvérisée et répandue sur le sol pour la collecte de l'eau de pluie en Arizona (Etats-Unis). La cire qui fond au soleil s'écoule dans les porosités du sol et les obture, formant ainsi une surface imperméable qui retient l'eau efficacement. (U.S. Department of Agriculture)



FIGURE 9 Pose d'une feuille de polyéthylène sur un bassin dans le désert de Sonora, Arizona (Etats-Unis). Le polyéthylène est ensuite recouvert de gravier pour assurer la protection contre les détériorations et le rayonnement solaire. (C. B. Cluff)

Principes généraux

Les méthodes de collecte des eaux de pluie doivent être adaptées aux conditions du site. Avant d'installer un dispositif, il faut connaître :

- la nature du sol (en particulier les caractéristiques de rétention d'eau, le ruissellement et les possibilités d'érosion);
- la topographie (la pente et la direction du ruissellement naturel);
- la pluviosité (fréquence des pluies, quantité, etc);
- le climat (vent, durée d'ensoleillement, température, etc).

Comme les pluies sont intermittentes dans les régions arides, le stockage doit faire partie intégrante de tout dispositif de collecte de l'eau de pluie. Toutefois, lorsque les techniques de collecte des eaux de pluie sont utilisées pour l'agriculture par ruissellement (chapitre 2), l'eau est "stockée" dans le sol cultivé lui-même. Il est parfois possible de construire des bassins pour alimenter des systèmes de stockage de l'eau—même anciens—qui existent déjà.

Avantages

Chose curieuse, en zone aride, la capacité de nombreux pâturages de satisfaire les besoins du bétail est plus limitée par l'absence d'eau d'abreuvoirs que

par l'absence d'aliments. La collecte des eaux de pluie peut fournir un apport supplémentaire d'eau. L'amélioration de la qualité de l'eau d'abreuvoirs dans les pâturages des régions arides ou d'autres zones éloignées accroît la valeur de ces terrains et permet d'utiliser plus efficacement les aliments qu'ils fournissent.

Un dispositif de collecte des eaux de pluie, une fois installé, fournira de l'eau sans consommation d'énergie ni de combustible. Les coûts de construction des bassins de collecte ont beaucoup diminué ces dernières années, et il semble qu'ils pourront encore diminuer. Les traitements chimiques plus prometteurs, et la couverture des sols (cire, couches d'asphalte renforcé et films plastiques recouverts de gravier) fournissent une eau sans sédiments et de bonne qualité pour moins de 0,05 dollar E.U. par m³, dans une zone du sud-ouest des Etats-Unis⁴ où la pluviométrie est de 300 mm. Dans des conditions favorables, l'aménagement des terrains est la méthode la moins coûteuse et elle peut fournir de l'eau pour la plupart des usages agricoles à un coût nettement plus avantageux.

Les pays en développement des zones arides qui produisent et raffinent du pétrole pourraient utiliser l'asphalte pour construire des bassins de collecte des eaux de pluie. La demande pour les produits lourds de distillation, tels que l'asphalte, est limitée; de plus ces produits sont souvent des agents de pollution dont il est difficile de se débarrasser.

Limitations

Comme la collecte des eaux de pluie dépend de la pluviométrie, cette méthode n'est pas plus fiable que les conditions climatiques. Sans un dispositif adéquat de stockage, il y aura solution de continuité pendant les années de sécheresse. Dans les zones où la pluviométrie est inférieure à 50-80 mm, la collecte de l'eau de pluie ne sera probablement jamais rentable.

Lorsque l'on emploie des méthodes de collecte dans une zone donnée, il faut prendre soin d'en limiter les effets secondaires. Un dispositif de collecte mal conçu et mal géré peut entraîner l'érosion du sol, son instabilité et des inondations locales. On peut lutter contre l'érosion, qui est un problème permanent si la déclivité n'est pas trop forte (et si les conduites ont une pente appropriée). La déclivité affecte le volume et la qualité du ruissellement. Le dispositif de collecte le plus efficace consiste en de petits bassins à pente douce (1 à 5 pour cent de préférence).

A l'heure actuelle, l'état des connaissances en matière de conception des systèmes de collecte des eaux de pluie est encore limité. De plus, les données

⁴Cluff, et al. 1972. (Voir ouvrages de référence.)

sur la répartition et la variabilité des pluies n'existent pas pour un grand nombre de zones arides.

Un dispositif de collecte des eaux de pluie doit pouvoir résister aux intempéries et aux passages d'animaux ou d'hommes. Il peut parfois être nécessaire d'entourer le dispositif d'une clôture. Il faut constamment tenir compte de la contamination par l'environnement. L'eau de ruissellement colorée ou contaminée devra être traitée avant d'être consommée par l'homme (un système simple qui utilise un filtre de sable est illustré aux Figures 10 et 11).

Le plupart des agents de traitement du sol (en particulier les moins chers) ont une action limitée dans le temps et doivent être renouvelés périodiquement. Ces agents doivent être entretenus de temps à autre, à cause des fissures causées par les sols instables, de l'oxydation et des plantes qui poussent à travers la couverture du sol, ou le sol traité. On ne peut affirmer qu'il existe un matériau idéal convenant à tous les sites de collecte.

Stade de développement

La collecte de l'eau de pluie est une méthode vieille de plus 4.000 ans; elle a commencé à l'âge du bronze, lorsque les habitants du désert ont égalisé les versants des collines pour accroître le ruissellement de l'eau de pluie et ont construit des rigoles pour collecter l'eau et la transporter aux champs situés plus bas (Figures 2, 4). Cette technique a permis aux civilisations agricoles de se développer dans des régions ayant une pluviométrie de 100 mm, ce qui est insuffisant pour l'agriculture classique moderne.

A l'époque moderne, mais avant 1950, seulement un petit nombre de bassins avaient été construits, par des organismes publics principalement, pour abreuver le bétail et les animaux sauvages dans les îles à forte pluviométrie et à sols poreux (Antigua⁵ aux Antilles, par exemple). Les coûts de construction étaient en général élevés. Dans les années 1950, on commença à s'intéresser davantage à la collecte de l'eau de pluie et on a mis en place quelques-uns des dispositifs les moins coûteux. Un de ces dispositifs, parmi les plus étendus, se trouve en Australie, où plusieurs hectares de bassins en terre compactée fournissent de l'eau tant pour les habitations que pour le bétail⁶ (voir Figures 6 et 7). Les résultats obtenus sont bons, lorsque ces bassins sont bien entretenus. Environ 240 hectares de bassins en asphalte ou en béton asphalé ont été construits pour alimenter en eau 32 petites villes de l'Ouest de l'Australie.⁷

⁵Bateman. 1971, p. 11. (Voir p. 6)

⁶Carder. 1970. (Voir ouvrages de référence.)

⁷Kellsall. 1962. (Voir ouvrages de référence.)

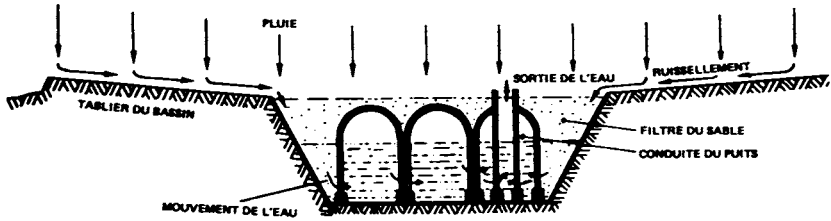


FIGURE 10 Bassin expérimental pour la collecte de l'eau de pluie avec un réservoir de stockage rempli de sable. Le sable réduit l'évaporation et filtre l'eau, la rendant potable. Les parois du réservoir sont tapissées de plastique fin; on accroît la capacité de stockage en construisant des cellules en nids d'abeille avec des boudins de plastique, comme le montre la Figure 12. (Intermediate Technology Development Group)



FIGURE 11 Des cellules intérieures de stockage d'eau, de 2 mètres de haut, sont coiffées d'une ogive faite de boudins remplis de terre et de ciment (Figure 12). L'excavation sera ensuite remblayée avec du sable. La mise en oeuvre de cette technique n'exige qu'une pelle, une trémie, un couteau à découper, et un maillet. Kordofan Province, Soudan. (M. G. Ionides)

A l'heure actuelle, la collecte de l'eau de pluie n'est utilisée que pour satisfaire des besoins limités, l'approvisionnement en eau d'exploitations agricoles, de villages, et abreuver le bétail. Les méthodes d'aménagement des terrains peuvent être mises en pratique dès maintenant dans tous les pays. L'Australie et Israël les utilisent déjà; au Soudan et au Botswana (Figure 12), des cuves de collecte ont été également construites dans le cadre de programmes d'assistance technique.

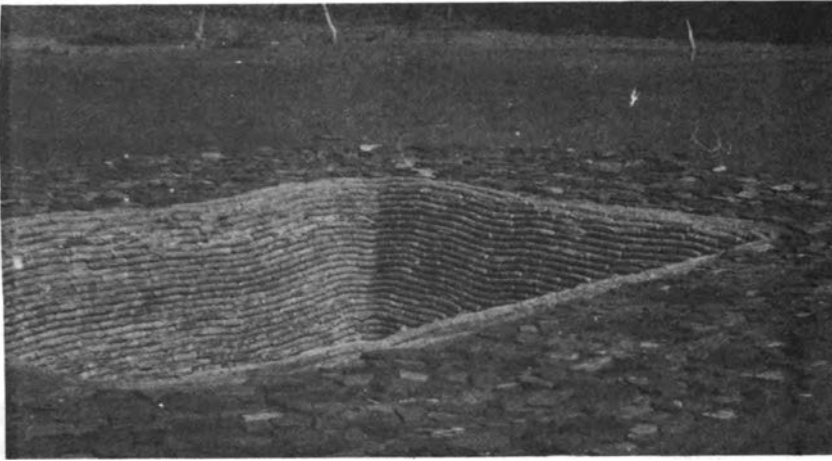


FIGURE 12 Bassin de collecte de Palapye Central School, Botswana, tapissé de boue et de pierres plates, et imperméabilisé par un revêtement de plastique. Le revêtement est fait de boudins de plastique fin remplis de terre et de ciment. Les boudins sont obturés à un bout et on y verse de la terre contenant une petite quantité de ciment. Les boudins sont alors percés avec des clous et placés dans un bac d'eau. Avant la prise du ciment les boudins sont mis en place. Aucun coffrage n'est nécessaire; le mélange terre-ciment est auto-durcissant, (voir aussi chapitre 9). La confection des boudins est une technique moderne peu onéreuse et d'une mise en oeuvre simple. Les réservoirs ou citernes accolés à un bassin de collecte qui amène l'eau de pluie sont des méthodes anciennes qui sont souvent oubliées aujourd'hui. (Intermediate Technology Development Group)

Les traitements chimiques et les couvertures, bien qu'ils soient encore au stade expérimental, sont utilisés à travers le monde, mais sur une petite échelle. Bien que leur factibilité et leur efficacité aient été démontrées, ces techniques ne présentent pas encore assez d'avantages, du point de vue économique, pour que leur utilisation se généralise à travers le monde.

Recherches et développement nécessaires

Aucune technique de collecte de l'eau de pluie n'a encore été soumise à une analyse économique à long terme. Il faudra procéder à de nombreuses expériences dans différentes zones pour constituer une base de données qui pourrait permettre de mieux connaître la rentabilité des diverses méthodes dans différentes conditions économiques. Les pays en développement en particulier ont besoin de ces données, parce que la technologie a été mise au point en très grande partie pour Israël, l'Australie ou les Etats-Unis. Les techniques de collecte de l'eau de pluie peuvent avoir immédiatement une très grande valeur, si des travaux de recherche sont entrepris pour les adapter aux

besoins et à la situation économique des pays en développement ainsi qu'aux matériaux dont ils disposent.

Le principal effort de recherche technique devra viser à réduire les coûts d'imperméabilisation des sols des bassins, et à permettre d'appliquer ce traitement à une gamme plus étendue de sols et de situations. L'industrie met continuellement au point de nouveaux matériaux qui doivent être analysés et évalués en vue de leur utilisation pour la collecte de l'eau de pluie.

Ouvrages de référence

(Voir aussi les ouvrages de référence au chapitre 2.)

- Carder, D. J., and G. W. Spencer. 1971. *Water Conservation Handbook*. Soil Conservation Service, Department of Agriculture (Jarrah Road, South Perth, Western Australia 6151, Australia).
- Chinn, S. S. W. 1965. *Water Supply Potential from an Asphalt-lined Catchment near Holualoa, Kona, Hawaii*. Geological Survey Water Supply Paper 1809-P. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., USA.
- Cluff, C. B. 1971. Plastic catchments for economical harvesting of rainfall. In *Proceedings of the Tenth National Agriculture Plastics Conference*, ed., J. W. Courter. (Available from J. W. Courter, National Agriculture Plastics Association, Dixon Springs Agriculture Center, Simpson, Illinois 62985, USA.) pp. 192-202.
- Cluff, C. B. 1974. Plastic reinforced asphalt membranes for precipitation harvesting and seepage control. In *Proceedings of the Eleventh National Agricultural Plastics Conference*, ed., J. W. Courter. (In press.) (Available from J. W. Courter; see Cluff, 1971.)
- Cluff, C. B.; G. R. Dutt; P. R. Ogden; and J. K. Kuykendall. 1972. *Development of Economic Water Harvesting Systems for Increasing Water Supply, Phase II*. Office of Water Resources Research Project No. B-015-ARIZ. (Available as Report No. PB-214 128, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, Virginia 22151, USA. US\$4.50.)
- Department of Agriculture of Western Australia. 1950. *Roaded Catchments for Farm Supplies*. Bulletin No. 2393. (Perth, Western Australia.)
- Evenari, M.; L. Shanan; and N. Tadmor. 1971. *The Negev: The Challenge of a Desert*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 02138, USA.
- Fink, D. W.; K. R. Cooley; and G. W. Frasier. 1973. Wax treated soils for harvesting water. *Journal of Range Management* 26:396-8.
- Frasier, G. W.; L. E. Myers; and J. R. Griggs. 1970. *Installation of Asphalt-Fiberglass Linings for Reservoirs and Catchments*. U.S. Water Conservation Laboratory. Report No. 8 (Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Phoenix, Arizona 85040, USA).
- Intermediate Technology Development Group, Ltd. 1969. *The Introduction of Rain-water Catchment Tanks and Micro-irrigation to Botswana*. (Parnell House, 25 Wilton Road, London SW1V 1JS, England.) 74 p.
- Jefferson, J. H. K. 1953. *A Note Based on Field Experience in Planning Hafir Excavation Programmes*. Memoirs of Field Division No. 4, Agricultural Publication Committee (Ministry of Agriculture, Khartoum, Sudan).
- Kellsall, K. J. 1962. *Construction of Bituminous Surfaces for Water Supply Catchment Areas in Western Australia*. Hydraulic Engineers Branch, Public Works Department (State Government of Western Australia, Perth, Western Australia.) (Mimeographed notes for field staff.)
- Kenyon, A. S. 1929. The ironclad or artificial catchment. *Journal of the Department of Agriculture of Victoria* 27:86-91.

- Myers, L. E., and G. W. Frasier. 1969. Creating hydrophobic soil for water harvesting. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 95, Number IR1:43-54.
- Myers, L. E.; G. W. Frasier; and J. R. Griggs. 1967. Sprayed asphalt pavements for water harvesting. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers* 93, Number IR3:79-97.
- Robertson, A. C. 1950. *The Hafir: What-Why-Where-How*. Bulletin No. 1. Agricultural Publication Committee (Ministry of Agriculture, Khartoum, Sudan).
- Tadmor, N. H., and L. Shanan. 1969. Runoff inducement in an arid region by removal of vegetation. *Soil Science Society of America Proceedings* 33:790-94.
- Velasco Molina, H. A., and O. Aguirre Luna. 1972. Una estimación del costo de captar y almacenar agua de lluvia en regiones desérticas y semi-desérticas del norte de Mexico. (An estimation of the cost of catching and storing of rainwater in arid and semiarid regions of North Mexico.) *Agronomia, Mexico* 145:74-9.

Reférences

(Voir aussi les références au chapitre 2.)

- Animal Husbandry Farms, University of Sydney, Camden, New South Wales, 2570, Australia (H. J. Geddes)
- Botany Department, Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Israel (M. Evenari, L. Shanan)
- Departamento de Suelos e Ingenieria Agronoma, Instituto Tecnologico de Estudios Superiores, Monterrey, Mexico
- Department of Soil and Water Science, Faculty of Agriculture, Hebrew University of Jerusalem, Rehovoth, Israel (D. Hillel)
- District Soil Conservationist, Western Soil Conservation District, Soil Conservation Service of New South Wales, P.O. Box 118, Condobolin, N.S.W. 2877, Australia
- Doxiadis Ionides Associates of London, Ockham Mill, Ripley, Surrey, U.K.
- Hydraulic Engineers Branch, State Public Works Department, Perth, Western Australia
- Irrigation and Water Supply Commission, P.O. Box 74, North Quay, Brisbane, Queensland 4000, Australia (A. M. Carmichael)
- Ministry of Agriculture, Khartoum, Sudan
- Northam District Office, Department of Agriculture of Western Australia, Northam, Western Australia (D. J. Carder)
- Soils Division, Department of Agriculture of Western Australia, Jarrah Road, South Perth 6151, Australia (I. A. F. Laing)
- Soil Conservation Service of New South Wales, Flotta Lauro Building, 18-24 Pitt Street, Sydney, N.S.W. 2001, Australia (J. C. Newman)
- University of Western Australia, Department of Civil Engineering, Nedlands, Western Australia (M. Hollick)
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Berkeley, California 94705, USA (L. E. Myers)
- U.S. Water Conservation Laboratory, Phoenix, Arizona 85040, USA (K. Cooley, G. Frasier)
- Water Resources Research Center, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (C. B. Cluff)

2 Agriculture par ruissellement

Dès que le ruissellement des eaux de pluie a été collecté des versants (voir chapitre 1), il peut être utilisé pour la production agricole (Figures 13 et 14). L'ensemble est connu sous le nom d'agriculture par ruissellement. Les Figures 15 à 24 montrent quelques-uns des systèmes d'agriculture par ruissellement ingénieux et simples qui sont employés dans diverses parties du monde.

L'agriculture par ruissellement a été mise au point il y a quelque 4000 ans pour permettre la culture de terres bénéficiant d'un régime pluviométrique moyen de 100 mm seulement par an. Des enquêtes intensives révèlent que d'anciens agriculteurs au Moyen-Orient défrichaient le versant des collines pour accroître l'écoulement de l'eau et construisaient des murs de rochers correspondant aux courbes de niveau pour la collecter ainsi que des fossés pour l'acheminer vers des champs situés en contrebas (Figures 2-4). Ces systèmes ont permis aux civilisations agricoles de survivre dans des régions désertiques qui, de nos jours, ne font vivre qu'un petit nombre d'habitants et produisent de rares cultures. Guerres et bouleversements politiques ont entraîné une mauvaise gestion et la négligence des anciennes fermes, mais les techniques de l'agriculture par ruissellement sont encore applicables aujourd'hui. A l'aide de techniques modernes et de variétés culturales choisies pour se prêter aux conditions locales (chapitre 14), ce système d'agriculture pourrait être avantageux à de nombreuses régions désertiques. Les artichauts, l'asperge, les fleurs à oignons, certains fruits et noix, l'orge, le sorgho, le mil à chandelles et les fourrages sont toutes des cultures potentiellement importantes pour ce genre d'agriculture; la plupart sont pratiquées à l'heure actuelle sur de vastes parcelles d'expérimentation dans le désert du Néguev.

Méthodes

Dans le domaine de l'agriculture par ruissellement les principes et les pratiques dépendent de la collecte des eaux de pluie (voir chapitre 1). L'élément de base est le bassin de réception des eaux de pluie qui forme suffisamment d'eau pour faire mûrir la culture. Il est évident que les besoins en eau de la culture (chapitre 14) et les techniques générales de conservation de l'eau (chapitres 7-16) sont des facteurs indispensables pour une bonne récolte. Les



FIGURE 13 L'agriculture par ruissellement dans le désert du Néguev fournit une excellente récolte d'orge. (L Evenari)

mauvaises récoltes durant les années de sécheresse sont d'ordinaire compensées par une bonne production pendant les années à pluviométrie élevée.

Le type d'agriculture pratiqué doit tirer meilleure partie de l'eau. En règle générale, les plantes vivaces à racines profondes s'adaptent mieux à l'agriculture par ruissellement, car elles peuvent utiliser l'eau qui s'accumule profondément dans le sol à l'abri de l'évaporation. Certains arbres fruitiers à racines profondes et résistantes à la sécheresse peuvent donner de très bons résultats. Les céréales de cycle plus court peuvent également être cultivées; les céréales comme le mil à chandelles qui mûrissent rapidement et ne nécessitent



FIGURE 14 Wadi Mashash, Israël (précipitations annuelles : 100 mm) à gauche : pâturage traité par ruissellement. A droite : pâturage naturel ayant fait l'objet d'un surpâturage. (U. Nessler)

qu'une seule chute de pluie sont particulièrement prometteuses.⁸ Des plantes qui deviennent dormantes pendant les périodes sèches et commencent à croître lorsque l'eau devient disponible se prêtent bien à l'agriculture par ruissellement.

Les sols désertiques et le climat du Néguev se prêtent quant à eux à une agriculture par ruissellement pour diverses espèces. D'excellents rendements ont été obtenus pour le fourrage, les cultures en plein champ et les vergers; ces rendements sont nettement supérieurs à ceux de l'arido-culture et comparables à ceux de l'agriculture irriguée (tableau 1).

Agriculture par ruissellement

Les anciennes fermes du Néguev (Figures 15 et 16) ont possédé plusieurs champs cultivés qu'alimentaient des bassins versants de 10 à 50 ha. Ces bassins étaient divisés en de petites zones de réception de 1 à 3 ha qui permettaient de collecter les eaux de ruissellement dans des canaux construits aisément sur les versants des collines et ils étaient suffisamment petits pour empêcher l'eau de s'accumuler démesurément (Figure 1). Les canaux

⁸Un rapport connexe sur les plantes tropicales intitulé *Underexploited Tropical Plants—with Promise of Economic Value* décrit quelques céréales moins connues qui peuvent être cultivées jusqu'à maturation avec une seule irrigation sur alluvions (voir BOSTID publication 16)

TABLEAU 1 Production par l'agriculture de ruissellement, au Négev en 1971

Cultures	Tonnes/hectare
Pêches	6 - 12
Abricots	3 - 8
Raisins	12 - 15
Figues	6 - 8
Amandes (séchées)	0,3 - 1,8
Orge	1,3 - 4,8
Blé	1,1 - 4,5
Pois (grains)	5,4 - 6,9
Graines de tournesols	2,2 - 2,7
Luzerne (<i>Medicago sativa</i> , poids frais)	16 - 37,7
Avoine sauvage (<i>Avena sterilis</i> , poids frais)	20 - 31,2
Pistache	0,4 - 1,8

Source: Evenari, Shanan, et Tadmor. 1971 (Voir page 22)

acheminaient l'eau vers les champs cultivés qui étaient disposés en terrasses et munis de déversoirs de sorte que l'eau excédentaire dans un champ pouvait être acheminée vers les champs inférieurs. Les agriculteurs endiguaient les petits canaux entre le bassin de réception et les champs avec des rochers; en enlevant les rochers stratégiques des parois du canal, ils pouvaient à volonté orienter l'eau vers des champs différents.

Au Botswana⁹ on a pratiqué une forme d'agriculture par ruissellement qui utilise l'eau de bassins de réception petits et construits délibérément. Cette eau est utilisée sur les potagers d'école. Les bassins comprenaient des terrains de jeux, des routes, etc. (Figure 12).

Dispersion de l'eau

Dans des régions arides, la pluie tombe d'ordinaire pendant de courtes mais de fortes tempêtes. L'eau s'écoule dans des petits ravins puis se dirige parfois sur de nombreux kilomètres vers la mer ou vers un lac intérieur. L'eau est perdue pour la région et les inondations que provoque cet écoulement peuvent être catastrophiques, souvent dans des régions que les tempêtes n'affectent normalement pas.

La dispersion de l'eau est une méthode d'irrigation simple qu'il convient d'utiliser dans de telles situations : les autres inondations sont délibérément détournées de leurs cours naturels et dispersées sur des plaines adjacentes (Figure 17) ou retenues dans les vallées (Figures 18 et 19). L'eau est détour-

⁹Intermediate Technology Development Group, Ltd. 1969. p. 70 (Voir p. 22.)



FIGURE 15 Ancienne ferme reconstruite à Avad dans le Néguev. La ferme est (et était) arrosée par le ruissellement des eaux venant des versants et des ouadi environnants. A l'avant-plan apparaissent quatre terrasses reconstruites; à l'arrière-plan quatre canaux reconstruits acheminent le ruissellement jusqu'à la ferme. A droite on peut distinguer les traces de trois canaux qui autrefois acheminaient l'eau de ruissellement vers les terrasses inférieures. Le rapport entre le bassin et la superficie cultivée est de 20:1—chaque hectare de terre cultivée reçoit un écoulement de 20 ha de versant ainsi que des précipitations directes. La superficie cultivée reçoit un volume d'eau grosso-modo égale à des précipitations de 300-500 mm de précipitations effectives. (L. Evenari)

née ou son avance retardée par des fossés, des digues, des petits barrages ou des barrières de taillis. Les plaines humides ou le sol des vallées peuvent ensuite être utilisés pour cultiver des plantes. La dispersion de l'eau est aussi fréquemment pratiquée sur les terres de pacage et de pâturage.

Les systèmes de dispersion de l'eau doivent faire l'objet d'une étude technique soignée pour empêcher les eaux d'inondation de s'échapper. A cet effet, il convient de trouver des sites éventuels sur de nombreuses terres arides et semiarides, parfois (comme dans les averses d'une chaîne montagneuse) là où les inondations sont plus courantes que la pluie. Il faut ensuite les choisir en tenant pleinement compte de la topographie, du type du sol et de la végétation. Deux éléments sont essentiels :

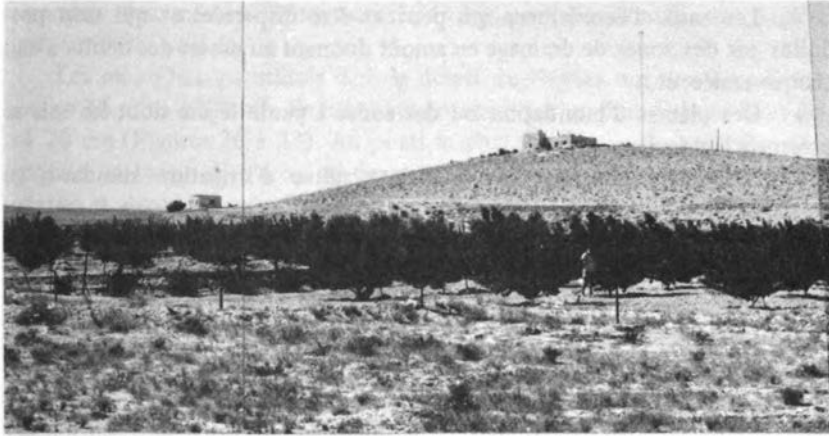


FIGURE 16 Verger dans le Néguev. Les eaux de pluie tombant sur le versant situé à l'arrière du verger s'écoulent vers des fossés situés stratégiquement qui acheminent ces eaux vers les arbres. Dans les régions tempérées, l'agriculture se fonde sur des précipitations directes ainsi que sur des techniques telles que le labour qui encourage la pluie à s'infiltrer dans le sol. L'agriculture par ruissellement est une méthode indirecte qui se prête bien aux terres arides; elle collecte l'eau d'une zone plus vaste et la concentre sur une superficie cultivée plus petite. (L. Evenari)

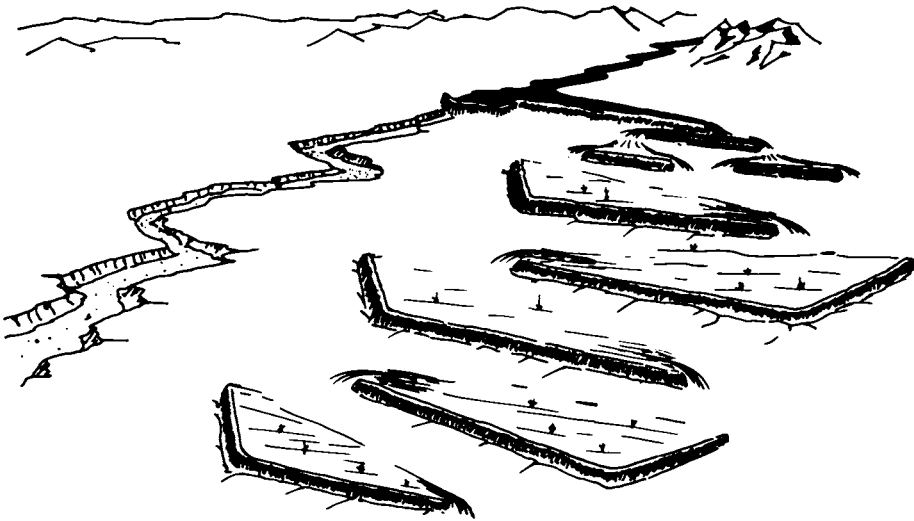


FIGURE 17 Croquis de digues de dispersion d'eau construites au Pakistan. Le tracé en ziz-zag ralentit le torrent des eaux d'inondation pour lui permettre de pénétrer dans le sol. Les cultures sont ensuite plantées dans les zones mouillées derrière les digues. (Tracé adapté de French et Hussain, 1964. (Voir ouvrages de référence)

- Les eaux d'écoulement qui peuvent être dispersées et qui sont produites par des zones de drainage en amont donnant au moins des débits d'eau chaque année; et
- Des plaines d'inondation ou des zones à pente légère dont les sols se prêtent à l'agriculture.

Implicitement plus aléatoire que le système d'irrigation standard, ce système est tributaire de précipitations et de sols (par exemple loess) qui facilitent le ruissellement. Ne jamais oublier que les sédiments et le gravier transportés par les eaux d'inondation peuvent avoir une influence défavorable sur les terres agricoles.

Agriculture par micro-réception

Une plante peut croître dans une région où les précipitations sont trop faibles pour en assurer la survie, à condition qu'un bassin de réception des eaux de pluie soit construit autour d'elle, forçant les pluies venant d'une zone plus grande que la normale à irriguer la plante. Cette pratique est appelée agriculture par micro-réception. Les principes décrits précédemment s'appliquent à ce type d'agriculture par ruissellement sur une petite échelle; bon

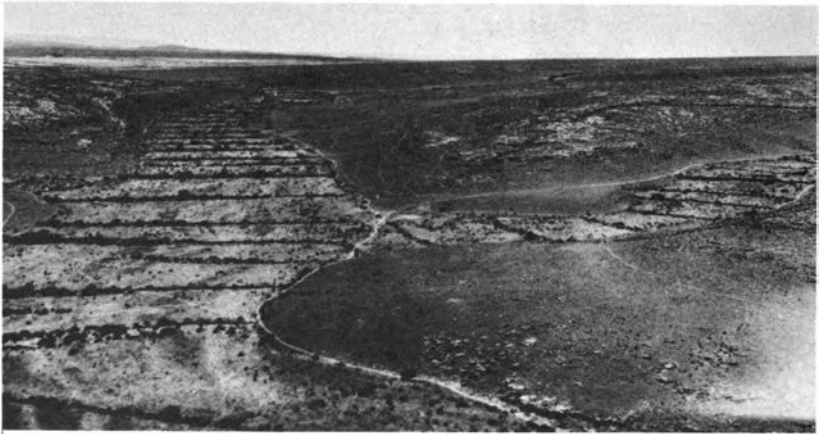


FIGURE 18 Terrasses artificielles (renforcées par des arbustes) construites jadis pour ralentir et capter les eaux d'inondation dans ce oued du Néguev. Construites il y a des milliers d'années, quelques-unes de ces terrasses sont encore utilisées par les Bédouins pour leur agriculture. Les murs des terrasses sont distants de 10 à 50 mètres et hauts d'environ 30 cm. La pluie provoque des inondations "sauvages"; l'excédent d'eau tombe des terrasses mais les murs conservent une mare qui s'infiltré lentement dans le sol. Les expériences faites ici ont montré que ces murs sont suffisamment hauts pour humidifier complètement la surface nécessaire à la culture de céréales comme l'orge ou le blé. La dispersion d'eau peut avoir précédé l'irrigation. Les anciens agriculteurs ont construit bon nombre de systèmes de ce genre au Moyen-Orient, en Arabie du Sud et en Afrique du Nord. (L. Evenari)

nombre des mêmes traitements hydrologiques mentionnés au chapitre 1 peuvent être utilisés.

Les micro-bassins utilisés dans le désert du Néguev ont une superficie qui va de 16 m^2 à 1000 m^2 . Ils sont tous entourés par un mur de boue haut de 15 à 20 cm (Figures 20 à 23). Au point le plus bas de chaque micro-bassin, on creuse un bassin d'environ 40 cm de profondeur et on y plante un arbre. Le bassin accumule le ruissellement du micro-bassin, l'ampleur du bassin est égale à la collecte des eaux prévues.

Les bassins sont fertilisés avec du fumier et, à la différence de la zone de réception, la surface de leur sol est maintenue meuble pour encourager la pénétration de l'eau. Un humus peut aussi être utilisé pour réduire l'évaporation de l'eau du sol (voir chapitre 9).



FIGURE 19 En 1972, près de la petite ville de Tchirozérine (à proximité d'Agadès) au Niger des nomades Touareg construisirent un mur de roches pour capter les eaux de crue. Les sols absorbent une couche d'humidité et les précipitations se transforment en crues "éclair". Au moyen de pierres recueillies dans les champs, les ouvriers Touareg ont construit huit murs de 1 mètre de haut à travers les plaines pour que le sol puisse retenir et absorber l'eau. Lorsque les averses de l'été sont tombées en 1973, l'eau retenue par les barrages et murs de pierres a inondé près d'un mille carré sur la plaine et de l'herbe a poussé-événement extraordinaire dans cette région. (Oxfam-America)

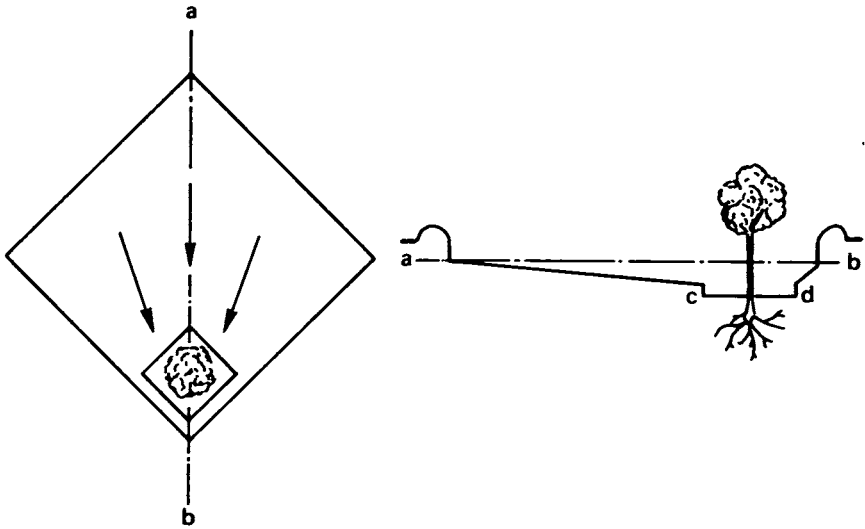


FIGURE 20 Plan et section transversale d'un micro-bassin. Les flèches indiquent l'orientation du ruissellement. Une parcelle cultivée (c-d) est placée au point le plus bas du terrain naturel dans le bassin sa position varie. Les murs sont hauts de 15 à 20 cm; c-d se trouve à environ 40 cm en dessous du bassin, retenant l'eau d'infiltration à proximité de la plante; le sol qui recouvre les racines doit être profond d'au moins 1,5 mètre; la distance a-b peut être inférieure à 5 mètres ou supérieure à 30 mètres selon le climat et la culture. (M. Evenari)

Sur une plaine désertique, les micro-bassins fournissent suffisamment d'eau additionnelle pour assurer la croissance d'arbres fruitiers et de plantes fourragères. Les micro-bassins et leurs variations sont utilisés en Tunisie pour cultiver les olives—et ils l'ont semble-t-il été depuis les temps anciens.

Dans le Néguev, les coûts de construction de micro-bassins sont très bas—de 5 à 20 dollars par hectare, selon la taille. Le revenu monétaire des récoltes permet de rembourser les coûts de construction en quelques années.¹⁰

Les micro-bassins sont plus efficaces que les vastes plans de collecte des eaux (chapitre 1) car les pertes de transport sont réduites au minimum. En cas de pluies fines, ils fournissent de l'eau d'écoulement tandis que d'autres ne le fournissent pas. Il est beaucoup moins coûteux de transformer une zone en micro-bassins que de construire une exploitation d'agriculture par ruissellement car les micro-bassins n'ont pas besoin de canaux, de conduites, de terrasses, et de murs de retenue. De plus, les micro-bassins peuvent être cons-

¹⁰Evenari, Shanan, and Tadmor 1971. (Voir p. 22)



FIGURE 21 Agriculture par micro-bassin dans le Néguev. Les grenadiers poussent sur des micro-bassins de 500 m^2 dans une région où les précipitations ne sont que de 100 mm. Le seul traitement pédologique est la mise en forme du sol. Le verger est moins dense que dans les climats tempérés (40 à 60 grenadiers par hectare). Les arbres plus petits (vigne) peuvent utiliser des plus petits bassins (80-100 plants par hectare); des bassins d'un peu plus de 30 m^2 (320 par hectare) sont suffisants pour cultiver une chénopodiacée et garantir un approvisionnement en fourrage même durant une grave sécheresse. (L. Evenari)

truits sur presque n'importe quel versant, y compris les plaines pratiquement planes, ce qui permet à l'agriculteur d'utiliser de vastes zones plates qui ne se prêtent pas à l'agriculture par ruissellement.

Agriculture sur une bande désertique (ou agriculture par bassin en courbe de niveau)

L'agriculture sur une bande désertique ou par bassin en courbe de niveau est une modification de l'agriculture par micro-bassin. Elle consiste en une série de terrasses qui déversent de l'eau sur une bande voisine de sol productif.



FIGURE 22 Micro-bassins au Botswana avec des abricotiers de deux ans. (U. Nessler)

Ces terrasses sont souvent disposées sur le versant d'une colline (Figure 24) bien que sur un terrain plat, une pente artificielle pour la collecte d'eau puisse être construite en accumulant de la terre entre les bandes.

La section de réception des eaux peut être laissée à l'état naturel ou nettoyée des rochers et de la végétation, plantée de fourrage ou rendue inaccessible par les méthodes d'imperméabilisation décrites au chapitre 1. Les bandes des déserts sont en général plus faciles à installer et à entretenir que les micro-bassins. Ces méthodes sont expérimentées dans l'Arizona; à Wadi Mashash, Israël, elles sont utilisées pour le pâturage des ovins (Figure 14).

Avantages

L'eau de ruissellement permet aux plantes de croître dans des zones normalement trop arides. Les bords d'une grande route illustrent souvent le principe: en effet, comme la route joue le rôle d'aire de collecte des eaux, la végétation qui pousse sur le bord inférieur est plus verte et plus dense. Il a même été proposé que des réservoirs de stockage d'eau soient construits le long des routes au pied du versant approprié pour collecter les eaux.

L'agriculture par ruissellement peut être utilisée pour créer de nouvelles terres agricoles là où la quantité d'eau est normalement insuffisante pour soutenir cette activité. De plus, il est possible d'accroître le rendement de superficies déjà cultivées sans installer des projets d'irrigation coûteux en vue d'amener de l'eau d'une région voisine. Ce type d'agriculture est particulièrement prometteur pour les zones marginales; il peut atténuer les risques de mauvaise récolte.



FIGURE 23 Des participants au cours international de formation dans le désert du Négev préparent des parcelles de micro-bassins. (Voir références chapitre 2). (U. Nessler)

L'écoulement pour cultiver des plantes fourragères peut réduire les pressions exercées par le pacage sur des pâturages voisins. Il est possible de donner de nouvelles végétations aux régions qui ont fait l'objet d'un surpâturage et d'accroître sensiblement la capacité des terres de pacage. Par exemple, la productivité moyenne pondérée d'une zone de 80 ha de dispersion d'eau "Conneybar" (Byrock, New South Wales, Australie) était de 1968 à 1973 de 2,66 moutons par ha. Sans dispersion d'eau, la capacité de la région est de 0,18 mouton par ha (calculée sur une période de 25 ans, 1947-1972). Des pénuries saisonnières d'aliments se produisent encore pendant les années de faibles précipitations à Conneybar mais leurs conséquences sont nettement moins défavorables qu'elles ne l'auraient été sans dispersion d'eau. Un brouillage intensif a eu lieu pendant de courtes périodes. Jusqu'à 586 moutons par ha ont été nourris sur un pâturage de 28 ha pendant des périodes allant jusqu'à quatre jours. Des champs irrigués par ruissellement sont utilisés comme champs spéciaux pour exercer un meilleur contrôle sur les animaux nouveau-nés, pour en réduire les pertes ainsi que pour en faire l'inventaire, la tonte, l'accouplement, etc.¹¹

L'agriculture par ruissellement peut étendre la saison pendant laquelle le fourrage est succulent et nourrissant, fournissant du fourrage vert lorsqu'il est particulièrement nécessaire.

¹¹Cunningham. 1973. (Voir ouvrages de référence.)

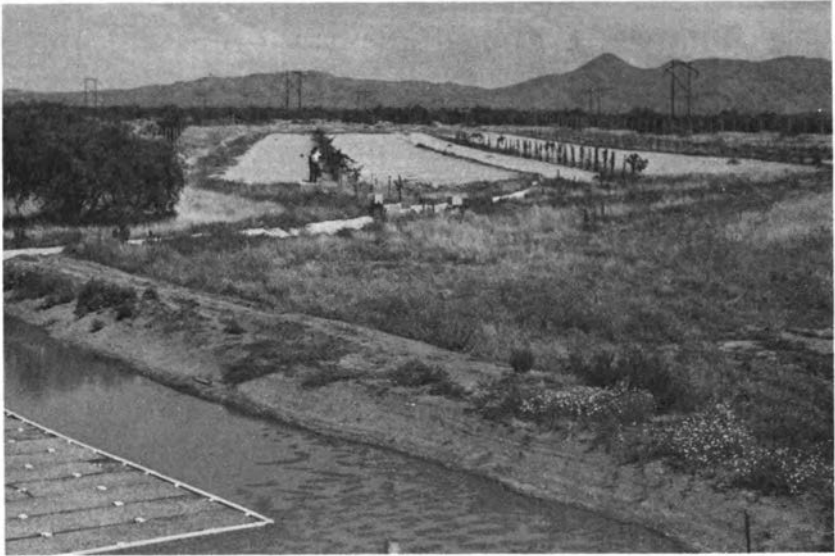


FIGURE 24 Agriculture par ruissellement sur une bande de désert au ranch expérimental de Page près de Tucson, Arizona, U.S.A. Du raisin est cultivé dans les rigoles de drainage. La zone de collecte traitée avec du chlorure de sodium reste nue; dans la zone non traitée, à l'avant-plan, les herbes ont recommencé à pousser. Le coin inférieur gauche fait ressortir une partie d'une couverture flottante de polystyrène conçue pour réduire l'évaporation de la mare (voir chapitre 7). (C. B. Cluff)

La dispersion de l'eau peut procurer un contrôle de l'érosion car elle détourne le torrent d'eau et en atténue la force.

Limitations

L'agriculture par ruissellement requiert un sol profond qui peut stocker de l'eau entre les pluies. Elle se prête particulièrement bien à la culture des plantes à racines profondes comme les arbres et arbustes qui peuvent puiser sur l'eau stockée et qui dépendent moins de précipitations fréquentes. En revanche, les cultures annuelles ont besoin de pluie au début de la saison de maturation et parfois à certains intervalles par la suite.

La méthode est recommandée pour les variétés de plantes capables de résister à l'alternance d'un sol humide et sec. Comme dans le cas d'une agriculture normale, le rendement dépend également de la lutte contre les insectes et les maladies.

Les conditions écologiques à remplir sont :

- Une précipitation minimale moyenne de 80 mm par saison des pluies, si cette saison coïncide avec la période froide de l'année, et de plus de 80 mm si elle a lieu pendant l'été lorsque le taux d'évaporation est plus élevé;
- des sols à croûte ou imperméables dans les zones de réception;
- des sols à capacité de stockage d'eau élevée dans les zones cultivées;
- une teneur en sel de 2 à 3 pour cent maximum dans le sol cultivé;
- une profondeur minimale de 1,5 à 2 m de sol dans la région cultivée (à moins que des installations de stockage d'eau ne soient disponibles).

Dans l'agriculture par ruissellement, l'eau doit être distribuée également dans la zone cultivée pour empêcher des mares de se former, une surirrigation, ou des pertes par infiltration. Dans certains cas, la superficie à cultiver peut être aménagée de telle façon que les excédents se déverseront à un niveau de collecte plus bas. La superficie cultivée doit être uniforme, sans ravinement ni arêtes. Avant de décider de pratiquer l'agriculture par ruissellement, il faut étudier :

- les caractéristiques des plantes à cultiver en matière d'utilisation de l'eau;
- le rendement de ces plantes;
- leur capacité de résister à la sécheresse;
- la question de savoir si les sols à cultiver peuvent accumuler suffisamment d'eau pour faire mûrir la plante;
- la quantité d'évaporation à la surface du sol.

Stade de développement

Jadis, l'agriculture par ruissellement était répandue dans toute la région aride du Moyen-Orient, de l'Arabie méridionale et de l'Afrique du Nord. Au Néguev, sur des milliers d'hectares, elle était la base même de la civilisation (Figure 4).

Il a été prouvé que l'agriculture par ruissellement est techniquement viable à l'époque moderne. Sa réapparition comme méthode systématique a eu lieu dans le désert du Néguev en Israël où ces quinze dernières années ces expériences ont eu lieu sur une vaste échelle (Figures 15, 16 et 21) et où un centre de formation réservé au personnel des pays en développement a été créé à Wadi Mashash (Figure 23). De nos jours, dans plusieurs autres pays arides comme le Mexique, le Botswana, (Figure 22), l'Inde, le Pakistan et l'Australie, on pratique l'agriculture par micro-bassins. Cette agriculture est utilisée pour cultiver du blé et des arbres fruitiers sur une superficie de 70.000 ha dans la province de Khost en Afghanistan.

Recherches et développement nécessaires

L'agriculture par ruissellement peut être utilisée aujourd'hui si l'on fait preuve de prudence dans le choix du site, la conception du système et la sélection des espèces. Bien administrée, elle peut rendre des terres arides productives et constituer un investissement économiquement sain. Cependant, l'expérience moderne se limite à quelques projets isolés. Des évaluations techno-économiques exhaustives sont nécessaires dans plusieurs régions du monde à climats, sols et cultures différents pour identifier ces possibilités futures.

Pour rendre l'agriculture par ruissellement plus efficace, il faut mettre au point des espèces qui s'y prêtent davantage (pour une analyse plus détaillée de la question voir au chapitre 10). Par exemple si les cultures mûrissaient en 60 jours au lieu de 80, le sol ne devrait pas stocker autant d'eau, les risques de mauvaises récoltes seraient atténués, le système exigerait moins de précipitations et les besoins d'exploitation seraient réduits.

Dans l'agriculture par micro-bassin, le problème est encore les dimensions optimales du micro-bassin pour chaque espèce. Il est manifeste que ce paramètre concerne non seulement chaque espèce, mais encore les précipitations, la qualité du sol et l'escarpement des pentes. Nous avons beaucoup à apprendre sur ces questions. D'autres problèmes concernent la profondeur optimale et les dimensions du bassin en fonction des dimensions de la zone de réception. Ces facteurs sont très importants car ils déterminent notamment l'ampleur de la superficie mouillée par les inondations ainsi que le volume et la profondeur de la colonne d'eau dans le sol. A leur tour ceux-ci influent sur le temps pendant lequel le sol contenant les racines est imbibé d'eau et l'aération du sol et des racines est mauvaise. Une bonne connaissance de ces facteurs peut même aboutir à différents schémas de construction des bassins et de plantations des arbres—sur une butte à l'intérieur du bassin peut-être. Il peut aussi être possible d'y accroître le volume d'écoulement en traitant au préalable la surface du sol des micro-bassins et ce de différentes façons.¹²

Il est indispensable de faire des études techno-économiques pour l'agriculture par ruissellement qui utilise des bassins chimiquement traités et recouverts de terre.

Ouvrages de Référence

(Voir aussi les ouvrages de référence au chapitre 1)

- Cull, J. K. 1964. Water spreading at Lanherne. *Queensland Agricultural Journal* 90:389a-93.
Cunningham, G. M. 1970. Waterponding on scalds. *Journal of the Soil Conservation Service of New South Wales*, 26:146-71.

¹²Evenari, Shanan, and Tadmor, 1971. Op. cit. p. 228.

- Cunningham, G. M. 1973. *Waterspreading and Waterponding on Australian Rangelands*. Paper presented at the Alice Springs Symposium on Water in Rangelands, October 1973. (S'adresser à l'auteur; voir Références.)
- Evenari, M., et al. 1968. Runoff farming in the desert. I. Experimental layout. *Agronomy Journal* 60:29-32. (Voir aussi Shanani, et al.; Tadmor, et al.)
- French, N., and I. Hussain. 1964. *Water Spreading Manual*. Range Management Record Number 1, West Pakistan Range Improvement Scheme, Lahore, Pakistan.
- Hauser, V. L., et al. 1968. Conservation bench terraces. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 11:385-98.
- Jones, R. M. 1966. Tree establishment on scalds in the Hay Plain. *Journal of the Soil Conservation Service of New South Wales* 22:2-7.
- Michelson, R. H. 1966. Level pan system for spreading and storing watershed runoff. *Soil Science Society of America Proceedings*. 30:388-92.
- Newman, J. C. 1963. Waterspreading on marginal arable areas. *Journal of the Soil Conservation Service of New South Wales* 19:49-58.
- Newman, J. C. 1966. Waterponding for soil conservation in arid areas in New South Wales. *Journal of the Soil Conservation Service of New South Wales* 22:18-28.
- Proceedings of the Water Harvesting Symposium 26 - 28 March 1974, Phoenix Arizona*. 1974. Published by Agricultural Research Service. (While supplies last, single copies available free from U.S. Water Conservation Laboratory, 4331 E. Broadway, Phoenix, Arizona 85040, USA.)
- Quilty, J. A. 1972. Soil conservation structures for marginal arable areas: diversion spreader banks and tank drains. *Journal of the Soil Conservation Service of New South Wales* 28:157-68.
- Shanani, L., et al. 1970. Runoff Farming in the desert. III. Microcatchments for improvement of desert range. *Agronomy Journal* 62:445-9.
- Tadmor, N. H., et al. 1970. Runoff farming in the desert. IV. Survival and yields of perennial range plants. *Agronomy Journal* 62:695-9.
- Tadmor, N. H., et al. 1971. Runoff farming in the desert. V. Persistence and yields of annual range species. *Agronomy Journal* 63:91-5.
- Zing, A. W., and V. L. Hauser. 1959. Terrace benching to save potential runoff for semiarid land. *Agronomy Journal* 51:289-92.

Références

(Voir aussi les références au chapitre 1)

- Central Arid Zone Research Institute, Jodhpur, India (H. S. Mann, Director)
College of Agriculture, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (W. G. Matlock)
- Department of Agronomy and Plant Genetics, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (N. F. Oebker)
- German Agricultural Group, P.O. Box 183, Kabul, Afghanistan
Intermediate Technology Development Group, Ltd., Parnell House, 25 Wilton Road, London SW1V 1JS, England
- Oxfam, B. P. 489, Ouagadougou, Haute Volta, Africa (M. Behr)
- Soil Conservation Service of New South Wales, Condobolin, New South Wales, 2877, Australia (G. M. Cunningham)
- Wadi Mashash, centre de formation pour l'agriculture par ruissellement dans le désert du Néguev, recevant des stagiaires de pays arides situés dans le monde entier. (M. Evenari, Botany Department, Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Israel). S'adresser aussi à: Wadi Mashash Information Center, 61 Darmstadt, Paulusplatz 1, West Germany (O. Schenk and U. Nessler).

3 Irrigation par eau salée

Le sous-sol de nombreux déserts du monde contient des réserves d'eau salée, tandis que de nombreuses eaux de surface—estuariennes, lagunes, lacs sans accès à la mer et courants de retour d'irrigation—contiennent d'assez grandes quantités de sel. Si l'eau salée pouvait être utilisée pour l'irrigation, d'autres terres désertiques pourraient être cultivées; l'eau non salée utilisée de nos jours en matière d'agriculture pourrait être destinée à la consommation de l'homme et, partant, réduirait la nécessité de recourir aux projets coûteux de dessalination qu'on envisage actuellement de mettre sur pied pour approvisionner les zones urbaines.

Aujourd'hui, la nouvelle évaluation de la physiologie des plantes et de la science du sol, ainsi que les nouvelles techniques d'irrigation, montrent qu'avec une bonne gestion, les eaux salées peuvent être utilisées pour cultiver une vaste gamme de plantes.

Méthode

La résistance des cultures au sel détermine dans une large mesure la viabilité des eaux salées pour l'irrigation. La tolérance des cultures au sel a fait l'objet d'études approfondies et des données appropriées permettant de choisir les cultures qui résistent bien aux eaux salées commencent à être publiées. Bien que quelques cultures seulement comme le coton, l'orge, le blé, la betterave sucrière, le fromental, l'herbe des Bermudes et le froment des chiens *Agropyron elongatum* et *A. desertorum* soient tolérantes au sel, elles revêtent une grande importance dans les pays en développement, car elles forment la base même de la plus grande partie de la production agricole. Le dattier, l'olivier, le grenadier et le pistachier sont des arbres tolérants au sel.¹³

En règle générale, les eaux d'irrigation dont le bilan de solides en solution est inférieur à 600 milligrammes par litre (mg/l) peuvent être utilisées quasiment pour n'importe quelle culture. Si le lessivage (examiné ultérieurement) et le drainage sont suffisants, les eaux contenant 500 à 1.500 mg/l peuvent

¹³ Quelques plantes moins connues tolérantes au sel sont décrites dans un rapport connexe sur les plantes tropicales négligées. (Voir publication 16).

être et sont normalement utilisées pour toutes les cultures à l'exception de celles qui sont très sensibles au sel. Les eaux contenant de 1.000 à 2.000 mg/l peuvent être utilisées pour les cultures à tolérance modérée, en particulier si l'irrigation est fréquemment employée. Les eaux contenant de 3.000 à 5.000 mg/l donneront un rendement élevé chez les plantes très tolérantes seulement, telles que celles énumérées plus haut. Bien que le contraire ait été affirmé, l'irrigation par eau de mer non diluée ne s'est pas avérée pratique pour l'agriculture. L'eau de mer a une teneur totale en sel d'environ 35.000 mg/l, soit nettement plus que le taux de tolérance de la culture la plus tolérante au sel que l'on ait étudiée à ce jour—l'herbe des Bermudes, *Cynodon dactylon*, qui peut tolérer environ 12.000 mg/l.

Le type de sel ainsi que sa concentration dans l'eau sont importants. Par exemple, les concentrations relatives de sels de sodium par rapport aux sels de



FIGURE 25 Palmiers dans le sud de la Tunisie qui ont été irrigués pendant 4 ans avec de l'eau contenant 2.000 mg/l de sels. Ce système de drainage intensif est requis pour faciliter le lessivage. (J. W. van Hoorn)

calcium et de magnésium influent sur l'emploi possible de l'eau car des rapports élevés de sodium affectent la structure des sols (comparez les Figures 46 et 47) et la nutrition des plantes. L'anion du sel (chlorure ou sulfate par exemple) peut aussi jouer un rôle important.

Dans l'irrigation par eau salée, la prémice de base est qu'une bonne exploitation de l'irrigation et du drainage empêche les sels de s'accumuler dans le sol. Il est essentiel d'éviter cette accumulation au moyen du lessivage qui consiste à appliquer une plus grande quantité d'eau d'irrigation que la plante nécessite de sorte que l'eau excédentaire entraîne les sels en deçà des racines de la plante. La viabilité de l'eau salée pour l'irrigation est donc aussi régie par les caractéristiques de lessivage de l'environnement, c'est-à-dire qu'il s'agit de savoir si ces caractéristiques facilitent ou retardent l'élimination des sels de la zone des racines (Figure 25). Si les caractéristiques de lessivage, des particules du sol ou du drainage global sont insuffisantes, la salinité du sol augmentera et il pourrait finalement en résulter une terre désertique. Les sols à texture fine ou moyenne qui ne sont pas l'objet de changements structurels limitant l'écoulement des eaux trouveront vraisemblablement avantage à être irrigués à l'eau salée.

D'après les récentes découvertes, de nouvelles méthodes d'irrigation peuvent accroître la tolérance à la salinité d'une espèce. Si on la compare à l'irrigation par infiltration, l'irrigation par filets d'eau (chapitre 10) améliore les cultures irriguées à l'eau salée (2.000 à 2.400 mg/l). Les pressions exercées



FIGURE 26 L'irrigation du coton avec des eaux saumâtres (2.500 ppm de sels dissous) a donné une plante rabougrié mais le rendement a été supérieur de 59 pour cent à celui obtenu par irrigation avec de l'eau douce. La pulvérisation des plantes avec un acide abscisique à hormone végétale pour supprimer la transpiration (voir chapitre 13) a accru davantage le rendement du coton. (M. Twersky)



FIGURE 27 Maïs et sorgho foragés en Tunisie irrigués avec de l'eau douce contenant 200 mg/l seulement de sel (à gauche) et avec de l'eau salée contenant 3.500 mg/l (à droite). Rendements respectifs du maïs—9.000 et 5.000 kg de grains par ha; rendement de sorgho foragé (à l'avant-plan)—90 et 50 tonnes de matière verte par ha. (J. W. van Hoorn)

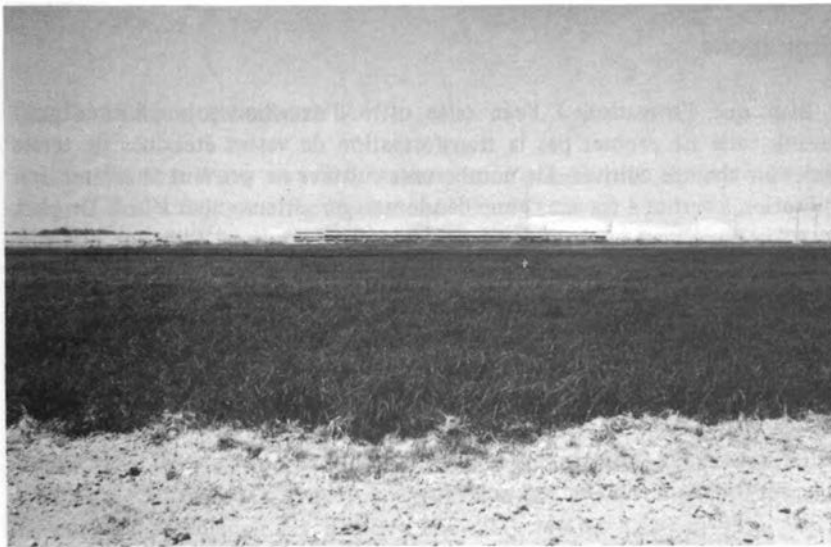


FIGURE 28 Herbe de Rhodes (*Chloris Gayana Kunth*) irriguée avec de l'eau salée 2.600 mg/l. (Kibbutz Mashabei S'deh, Israël)

par le sel sur une plante s'accroissent lorsque le sol sèche et la concentration de sel augmente. De fréquentes irrigations (comme dans le cas de la méthode par filets d'eau) atténuent ces pressions.

Avantages

Les eaux salées du sol, de la surface et des estuaires sont abondantes mais elles ne sont pas souvent utilisées pour l'irrigation. Les conclusions auxquelles ont abouti de nouvelles recherches permettent de les employer sur une plus vaste échelle pour l'agriculture, l'aménagement des sols, etc.

Le coût de l'utilisation de l'eau salée, en particulier de celle qui provient des couches aquifères peu profondes ne sera probablement pas excessif. Au Kiboutz Mashabei S'deh dans le désert du Néguev (100 mm de pluie), une usine d'électrodialyse de 4.800 m³/jour déssalinise les eaux saumâtres souterraines. A titre de comparaison, l'eau du même puits (2.600 mg/l) a été utilisée pour irriguer des champs de coton (Figure 26), de blé, de maïs, de sorgho (Figure 27) d'herbe de Rhodes (Figure 28), d'herbe des Bermudes, etc. et de divers légumes.

Après trois années d'expériences, les facteurs économiques et d'utilité générale favorisent l'utilisation directe de l'eau salée par rapport à l'électrodialyse, la couche aquifère saline est aujourd'hui employée à cette fin.¹⁴

Limitations

Bien que l'irrigation à l'eau salée offre d'excellentes possibilités pour l'avenir, elle ne promet pas la transformation de vastes étendues de terres arides en champs cultivés. De nombreuses cultures ne peuvent la tolérer; son utilisation à tort et à travers risque dédommager sérieusement le sol. De plus, un sol et un climat appropriés ne coïncident pas toujours avec une eau adéquate. Enfin, les aptitudes d'exploitation nécessaires peuvent ne pas être disponibles.

Irriguer avec de l'eau salée et maintenir un bon rendement exigent une bonne exploitation de l'eau par des spécialistes qualifiés. Le type et le dosage de sel ainsi que sa concentration doivent être étudiés avant de décider d'utiliser des eaux salées. L'irrigation par eau salée accroîtra la salinité de l'eau souterraine et la rendra peut-être inappropriée à d'autres fins. Si l'eau souterraine est utilisée à cette fin, le projet risque d'avoir une vie utile très courte. Si

¹⁴Des renseignements peuvent être fournis par J. Schecter, Directeur par intérim, University of the Negev Research and Development Authority.

elle est mal exploitée, l'irrigation par eau salée risque d'endommager sérieusement les sols et les rendre même désertiques.

Lorsque l'eau d'irrigation contient 5.000 mg/l ou plus de sels, les besoins de lessivage pour des cultures mêmes très tolérantes risquent d'être considérables. Par exemple, un volume additionnel minimum de 25 pour cent peut s'avérer nécessaire pour acheminer uniquement les sels en deçà de la zone des racines, si un volume inférieur au volume précité est utilisé, il se produit une salinisation du sol car les sels ne sont pas éliminés aussi rapidement qu'ils s'accumulent.

Même des cultures très tolérantes peuvent passer par des stades de sensibilité au sel lorsqu'elles nécessitent une eau à faible teneur en sel. Par exemple, les plantules de petites céréales et de la betterave à sucre sont sensibles, encore que les plantes adultes ne le sont pas. L'eau salée peut en empêcher le développement.

Il convient d'être très prudent lorsqu'on applique les résultats d'essais dans les régions tempérées à des terres arides des régions tropicales. La même plante cultivée dans des régions tempérées ou humides peut tolérer une eau à teneur en sel plus élevée qu'elle ne le pourrait dans des régions arides car les pluies (et les eaux du sol) diluent l'eau d'irrigation. Une température plus faible peut aussi accroître la résistance d'une plante au sel.

Stade de développement

L'utilisation d'une eau très salée pour l'irrigation a été assez limitée. Comme on l'a déjà mentionné, des expériences sont en cours sur une grande échelle dans le désert du Néguev où l'on utilise des eaux saumâtres pour irriguer des sols sablonneux et des sols limoneux. Le recours à des eaux saumâtres pour l'irrigation a été étudié pendant sept années de recherches sur le terrain par six stations expérimentales en Tunisie. Les principaux objectifs de ce programme patronné par l'UNESCO étaient de déterminer l'emploi optimal des eaux superficielles et souterraines salées et de contrôler la salinité du sol au moyen de meilleures techniques d'irrigation. En conséquence, des eaux salées de rivières contenant de 2.000 à 3.500 mg/l de sel sont aujourd'hui utilisées en Tunisie pour irriguer sur une grande échelle les terres de la vallée de Medjedah (et d'autres endroits), où les sols ont une texture moyenne ou forte et bénéficient d'un réseau développé de drainage couvert (Figures 25 et 27).

Recherches et développement nécessaires

La création et la sélection de plantes pouvant utiliser une eau dont la teneur minérale est plus élevée que d'ordinaire sont indispensables. Il ne fait aucun doute que les résultats les meilleurs seront obtenus avec des plantes qui montrent déjà une certaine tolérance à la salinité, comme l'herbe des Bermudes, l'orge, le coton, le blé, la betterave à sucre et peut-être aussi les légumes plus tolérants au sel. Certaines variétés à tolérance au sel plus grande que la tolérance habituelle sont connues et pourraient devenir la base d'un stock de reproduction.

L'utilisation de l'eau salée pour l'irrigation exige une exploitation perfectionnée dont les besoins ne sont pas encore totalement compris. C'est pourquoi ceux-ci doivent faire l'objet d'une étude minutieuse. A cet égard les besoins ci-après méritent une attention particulière.

- déterminer le rapport entre l'eau salée et la réaction des plantes aux contraintes physiologiques;
- atténuer les contraintes au moyen d'un système d'irrigation différent, d'une fertilisation, d'une aération du sol, de techniques de lessivage, de substances nutritives, d'hormones, d'un traitement chimique et physique etc., et
- appliquer sur le terrain les connaissances théoriques acquises.

Ouvrages de référence

- Arnon, I. 1972. *Crop Production in Dry Regions. Volume I: Background and Principles*. Barnes and Noble, New York and Leonard Hill Books, London. 650 p.
- Bernstein, L. 1964. *Salt Tolerance of Plants*. Agriculture Information Bulletin No. 283. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402, USA. 23 p. (US\$0.20).
- Casey, H. E. 1972. *Salinity Problems in Arid Lands Irrigation: A Literature Review and Selected Bibliography*. Arid Lands Research Information Paper Number 7, University of Arizona, Office of Arid Lands Studies, Tucson, Arizona 85721, USA. 311 p.
- FAO. 1971. *Salinity Seminar Baghdad*. Irrigation and Drainage Paper Number 7. Rome. 254 p.
- Levitt, J. 1972. *Responses of Plants to Environmental Stresses*. Academic Press, New York.
- Stylianou, Y., and P. I. Orphanos. 1970. *Irrigation of Shamouti oranges with saline water*. Technical Bulletin Number 6. Cyprus Agricultural Research Institute, Nicosia, Cyprus.
- Twersky, M. 1971. *Factors of Chemical Fertilization in Saline Water Irrigation: A Review*. The Negev Institute for Arid Zone Research, Beer Sheva, Israel.
- Twersky, M., and D. Pasternak. 1972. *Crop Irrigation with Brackish Water in Mashable Sadeh*. Preliminary Report, The Negev Institute for Arid Zone Research, Beer Sheva, Israel.
- UNESCO. 1972. *Hydrological Aspects of Saline Water Resources: A Provisional Annotated Bibliography*. Distribution No. SC/WS/438. Paris. 66 p.
- UNESCO/FAO. 1973. *Irrigation, Drainage and Salinity: An International Source Book*. Hutchinson. 510 p. (Available from Unipub, Box 433, New York, New York 10016, USA.)
- UNESCO. 1970. *Recherche et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées en Tunisie*. Paris. August 1970.

- van Schilfgaarde, J., et al. 1974. Irrigation management for salt control. *Journal of the Irrigation and Drainage Division Proceedings of the American Society of Civil Engineers*. (In press.)
- Waisel, Y. 1972. *Biology of Halophytes*. Academic Press, New York. 395 p.

Références

- Central Salt and Marine Chemicals Research Institute, Bhavnagar, Gujarat, India
- Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, Punjab, India
- Centre de Recherches pour l'Utilisation de l'Eau Salee en Irrigation, Route de Soukra, B. P. 10, Ariana, Tunisia
- Agricultural University, De Nieuwlanden, Nieuwe Kanaal 11, Wageningen, The Netherlands (J. W. van Hoorn)
- Kibbutz Revivim, Negev, Israel (J. de Malach)
- Ministry of Agriculture and Natural Resources, Nicosia, Cyprus
- Negev Institute for Arid Zone Research, Beer Sheva, Israel (J. Schecter)
- U.S. Salinity Laboratory, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, P.O. Box 672, Riverside, California 92502, USA (J. van Schilfgaarde, Director)
- Water Resources and Development Service, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.

4 Réemploi des eaux

Le réemploi des eaux peut réduire sensiblement la demande globale en ressources d'eau. Les eaux usées peuvent être utilisées pour l'irrigation, l'industrie, la reconstitution des eaux souterraines; dans des cas spéciaux, les eaux usées bien traitées ont été utilisées pour l'adduction d'eau. En procédant à une planification soigneuse, il est possible de satisfaire aux diverses demandes industrielles et agricoles au moyen d'eaux résiduelles purifiées, libérant ainsi l'eau douce pour approvisionner les municipalités qui requièrent une eau meilleure propre à la consommation humaine.

Le réemploi des eaux peut avoir sur le futur approvisionnement en eau utilisable dans les régions arides une incidence plus grande que n'importe quelle autre technique étudiée dans le présent rapport.

Méthodes

Emplois agricoles

Asperger d'eaux usées des terres marginales pour créer de nouvelles terres agricoles peut s'avérer un mécanisme particulièrement important dans les pays arides où les eaux recyclées seront vraisemblablement utilisées d'abord pour l'irrigation. Le filtrage des eaux usées dans le sol élimine toutes les matières solides; la plupart des cations et quelques anions (y compris les phosphates) sont fortement absorbés tandis que les matières organiques sont décomposées par les bactéries du sol. Ces mesures peuvent apporter des substances nutritives végétales au sol (Figures 29 et 30).

L'utilisation des eaux usées municipales pour l'irrigation est particulièrement attrayante lorsque les terres agricoles sont situées à proximité des villes car les substances nutritives végétales que contiennent les égouts sont normalement condamnées à être éliminées. Un traitement biologique des égouts doit précéder l'utilisation de ces eaux sur les terres, mais pour de nombreuses cultures, le degré de traitement requis est à ce point faible que les investissements en capital et les techniques requises ne sont guère importants (la ville de Mexico utilise de grandes quantités d'eaux d'égouts non traitées comme eaux d'irrigation). Là où des réseaux d'irrigation sont déjà en place, et où ils sont reliés aux réseaux municipaux, l'opération est relativement simple,



FIGURES 29 et 30 Deux cultures de maïs sur une parcelle de 10 ha au centre des eaux usées de Salisbury, Rhodésie (campagne 1971-71). Le grand maïs à gauche a bénéficié d'une irrigation préalable particulièrement forte avec des eaux usées traitées. Le maïs rabougri à droite a été irrigué dans sa quasi-totalité par les pluies. Aucun engrais complémentaire n'a été ajouté à l'une de ces deux cultures. Le contraste montre très clairement l'effet de fertilisation des substances nutritives que contiennent les eaux usées. (Rhodesia Agricultural Journal)

encore que les mécanismes institutionnels puissent s'avérer difficiles. L'Association américaine des Travaux publics a récemment déclaré que "sur la base de l'étude exhaustive qui a été entreprise, il faut conclure que l'utilisation des eaux usées sur les terres offre une solution viable aux processus de traitement perfectionnés et mérite d'être prise sérieusement en considération par de nombreuses collectivités et industries dans tous les Etats-Unis. Compte tenu du total des emplois de terres, les besoins en terre ne sont pas irréalistes et peuvent en fait jouer un rôle social désirable en fournissant des ceintures vertes et des zones de plein air et en préservant des terres agricoles riches et des régions fermées." Les conclusions du rapport mentionnent le succès quasiment sans réserve de cette méthode d'application, tant dans le pays que dans le monde lorsque le mécanisme a été bien exploité et lorsque des efforts ont été faits pour appliquer les connaissances techniques, géologiques et

agricoles nécessaires aux méthodes de conception, de construction et de contrôle.¹⁵

Depuis 1892, Melbourne (Australie) dont la population actuelle atteint près de 2 millions d'âmes, utilise ses eaux usées pour irriguer la ferme de 109 km² du Board of Works à Werribee (Figure 31). Un total de 4.200 ha de la ferme est utilisé pour les pâturages irrigués dont 1.370 ha sont réservés pour broutage de 15.000 têtes de bétail pendant l'année. De quarante à cinquante mille moutons sont engraisés le printemps et l'été. Les restrictions sanitaires sont imposées sur la vente des bovins et des ovins destinés à l'embouche. Toutefois le taux de condamnation de 0,02 pour cent des carcasses de bovins est le même que celui qui s'applique à la région avoisinante. Les cas de maladies parmi les ouvriers agricoles ne sont pas plus élevés que dans d'autres secteurs.¹⁶ Dans les projets d'irrigation par eaux usées moins bien gérés en Inde, les exploitants souffrent cependant d'un niveau anormalement élevé de parasites.¹⁷

Le recyclage de découlement des eaux d'irrigation par pompage à l'origine du réseau est une autre manière de réemployer les eaux dans l'agriculture bien que la salinisation du sol soit un sérieux danger (voir chapitre 3). Les eaux résiduelles industrielles peuvent aussi servir à l'irrigation mais elles doivent parfois faire l'objet d'un traitement lorsque le processus industriel ajoute des produits chimiques qui nuisent à la croissance des plantes ou à la santé publique.

Emploi industriel

Les eaux usées municipales des usines de traitement secondaires peuvent être utilisées pour des opérations de refroidissement, de séparation du minerai, etc. qui n'exigent pas de critères de qualité. Le degré et le type de traitement dépendent des exigences et de l'économie de l'application. On a constaté que pour la production de pâte à papier, l'emploi des eaux usées, ces dernières n'ayant subi qu'un traitement perfectionné restreint, est économiquement viable.¹⁸

Emplois municipaux

Au niveau des municipalités, la qualité de l'eau doit être extrêmement élevée. Les eaux usées doivent d'ordinaire subir un traitement secondaire et tertiaire pour qu'elles soient rendues potables. Il existe à cette fin des

¹⁵ American Public Works Association, p. viii. (Voir ouvrages de référence.)

¹⁶ Ibid. Section V.

¹⁷ Ibid. p. 147.

¹⁸ Communication personnelle du National Institute for Water Research, Pretoria, Afrique du Sud (voir références.)



FIGURE 31 Cette exploitation agricole du Conseil des Travaux Publics de la ville de Melbourne et de la zone métropolitaine à Werribee (Australie) utilise depuis longtemps des eaux usées traitées de la ville de Melbourne comme eaux d'irrigation. Autrefois désertique, aride et balayée par les vents, cette plaine est aujourd'hui la principale installation d'évacuation des eaux usées qui dessert plus de 1,5 million d'habitants (le volume des eaux usées est de 360 millions de litres par jour en moyenne et de 950 mld pendant les périodes de pluie). L'exploitation alimente 15.000 bovins par an; de 40.000 à 40.000 ovins sont engraisés pendant le printemps et l'été, ce qui se solde par la vente de 5.000 bovins, 36.000 ovins et 250 balles de laine une année moyenne. (Conseil des Travaux Publics de la ville de Melbourne et de la zone métropolitaine).

procédés d'élimination de l'ammoniaque, des nitrates et des phosphates; les composés résiduels potentiellement toxiques et les substances organiques dissoutes peuvent être réduits à des niveaux très bas par absorption sur charbon activé. Le cas échéant, les matières minérales dissoutes peuvent être ramenées à des niveaux acceptables par échange d'ions, électrodialyse ou osmose inverse; toutefois, le recours à ces procédés peut doubler ou même tripler les coûts en capital et les coûts d'exploitation d'une usine de traitement conventionnel.

Pour produire de l'eau d'une certaine qualité, il faut réaliser de gros investissements en matière de biens d'équipement, d'énergie, de produits chimiques. Le coût de cette eau est relativement élevé mais peut-être plus bas que celui de l'eau de mer désalinisée (chapitre 6); dans les régions arides, elle peut être inférieure au coût de la mise au point d'un autre approvisionnement en eau à moins qu'un traitement ne soit nécessaire pour éliminer les sels minéraux dissous.

Windhoek (Afrique du Sud-Ouest) est une zone métropolitaine de 84.000 habitants qui satisfait à ses besoins d'eau en traitant et recyclant en eau potable 4 millions de litres par jour de ses eaux usées, ce qui représente un tiers du total de ses besoins en eau quotidiens (Figure 32).

Avantages

Le réemploi des eaux a pour avantage qu'il peut, s'il est bien administré, réduire de plusieurs fois la demande en eau venant de sources naturelles. Le recyclage continu de 50 pour cent des eaux usées double en fait l'approvisionnement en eau.

Dans certains endroits arides, le réemploi des eaux usées par l'industrie peut fournir l'eau additionnelle nécessaire pour permettre une industrialisation normalement impossible.

Limitations

Tous les plans de réemploi des eaux doivent tenir compte des principaux éléments suivants des eaux usées :

- Bactéries et virus pathogéniques
- Oeufs de parasite
- Métaux lourds
- Sels
- Nitrates

Les bactéries et virus pathogéniques peuvent être éliminés au moyen d'une désinfection au chlore mais on ne connaît pas les dangers qui subsistent après



FIGURE 32 La ville de Windhoek au Sud-Ouest africain (84.000 habitants) au bord du désert de Namibie recycle ses eaux usées municipales grâce à cette usine de traitement pour ensuite les repomper dans le réseau d'adduction d'eau potable. (National Institute for Water Research, Pretoria, Afrique du Sud)

un traitement avancé des eaux. Bien que quelques poussées de maladies virales épidémiques aient été attribuées à la transmission des virus par l'eau, il est généralement admis que les processus de traitement actuels n'éliminent ces dangers que s'ils sont l'objet d'un contrôle soigneux.¹⁹ Trop d'incertitudes planent encore pour certifier que l'eau soumise à des processus de traitement même avancés est à l'abri des virus. Il est vrai que cela accentue la réticence à utiliser des eaux usées traitées pour boire ou pour irriguer des légumes qui sont mangés frais, il n'en reste pas moins que cela ne devrait pas empêcher leur utilisation à des fins moins importantes.

Le réemploi des eaux, si l'on veut éviter une catastrophe écologique, exige une bonne gestion et une bonne compréhension des besoins de l'usage. Les techniques utilisées peuvent être facilement mal administrées, provoquer de graves maladies ou causer de sérieux dégâts à l'environnement. Si plus de la moitié de l'approvisionnement en eau provient d'eaux usées, l'accumulation de sels peut soulever de sérieux problèmes, que l'eau soit destinée à l'agriculture, à l'industrie ou à un usage municipal.

L'évacuation des déchets par dépôts et assimilation sur les terres sans dommage permanent est sans aucun doute une chose très différente de l'évacua-

¹⁹Malina et Sagic. 1974. (Voir ouvrages de références.)

tion non contrôlée qui détruit le sol et risque de provoquer une sérieuse pollution des eaux souterraines. Trop peu d'ingénieurs connaissent avec exactitude les taux d'application de ces eaux au sol. Ils oublient qu'un taux légèrement trop élevé peut transformer la dilution en pollution. Si vous désirez utiliser une exploitation agricole ou une forêt comme site d'évacuation, rien ne remplace un bon agriculteur ou un bon sylviculteur pour l'administrer.²⁰

Le coût du réemploi des eaux et les difficultés que ce réemploi suscite dépendent des processus de traitement requis. Certains traitements secondaires, et la plupart des traitements tertiaires, requièrent de vastes investissements en capitaux ainsi qu'un personnel capable et qualifié. Les coûts d'exploitation sont élevés, dans certains cas trop élevés pour rendre viable le réemploi des eaux. Dans les régions arides, la structure des coûts est plus favorable. Le réemploi direct pour obtenir un approvisionnement en eau potable peut devoir surmonter des objections esthétiques mêmes si l'eau est réellement pure. De plus, les habitants peuvent refuser de manger les aliments cultivés avec des déchets humains. Le réemploi des eaux exige souvent que tous les secteurs—agriculture, industrie et administrations urbaines—soient intégrés dans la gestion et la politique y afférentes.

Stade de développement

Le réemploi des eaux se fait depuis que les habitants puisent l'eau des cours d'eau. En d'autres termes donc, cette technique n'est pas nouvelle. Le long de fleuves comme le Gange, le Nil et le Mississippi, des individus, des collectivités et l'industrie remploient l'eau de nombreuses fois. Rien ne prouve que cela leur nuit. Le présent chapitre traite cependant du réemploi planifié et délibéré des eaux qui ne cesse de croître. A mesure que les demandes d'utilisation des ressources existantes dans les régions qui souffrent d'une pénurie d'eau deviennent de plus en plus grandes, les possibilités de réemploi des eaux sont très encourageantes. Bien que l'on dispose aujourd'hui de techniques de réemploi, les considérations d'ordre économique en limiteront sans doute initialement l'utilisation à des lieux ou à des fins spécialisés. Même ainsi, ces utilisations peuvent libérer des sources naturelles d'eau pour approvisionner les régions en eau potable. En dernier ressort, au fur et à mesure que ce système est accepté, un recyclage généralisé des eaux usées en eau potable est une possibilité distincte. Déjà, certains ingénieurs sanitaires recommandent d'ajouter des eaux usées bien traitées aux eaux potables, encore qu'ils fassent preuve d'une grande prudence du fait des in-

²⁰Dean. 1971. (Voir ouvrages de références.)

certitudes actuelles au sujet des dangers que représentent les virus et les métaux lourds.²¹

Recherches et développement nécessaires

Etant donné que le réemploi des eaux fera sans aucun doute une vive concurrence à d'autres solutions, il mérite de faire l'objet d'une priorité élevée en matière de recherche. Des volumes considérables des recherches en cours ne mentionnent pas outre mesure le réemploi des eaux pour accroître l'approvisionnement en eau d'un pays alors qu'elles insistent sur la désalinisation. Les recherches devraient être axées sur les moyens de réduire les coûts, de combiner les processus de traitement secondaires et avancés et de répondre aux préoccupations concernant les risques virologiques.

L'importance des recherches à faire pour concevoir des traitements propres à réduire les dangers virologiques et des recherches nécessaires pour déterminer les dangers qui subsistent après traitement ne saurait être trop soulignée.

Des recherches sont également nécessaires pour réduire le coût des traitements tertiaires et inventer d'autres processus de traitement moins onéreux. L'électrodialyse et l'osmose inverse offrent des perspectives prometteuses d'élimination de nombreux types d'impuretés en solution, encore que de meilleures techniques et membranes anti-impuretés qui requièrent un traitement préalable moins poussé soient nécessaires. Il convient également d'améliorer les processus biologiques d'élimination de l'ammoniaque et des nitrates que contiennent les effluents secondaires et de créer de nouveaux échangeurs spécifiques d'ions peu coûteux pour éliminer les sels minéraux.

Dans l'utilisation agricole des eaux usées, nos connaissances sont particulièrement faibles dans le domaine des effets d'une application à long terme. Nous ne comprenons pas pleinement dans quelle mesure une application continue des eaux usées sur la terre altère la nature du sol. Nous ne connaissons pas la capacité qu'ont les sols d'absorber sans dommage permanent des différents métaux (le boron par exemple). De plus, nous n'avons pas encore appris comment empêcher ou reconstituer les sols altérés.

Les recherches doivent également être faites pour améliorer les techniques de gestion et les mécanismes institutionnels existants grâce auxquels l'eau potable employée de nos jours dans l'agriculture et l'industrie pourrait être remplacée par des effluents.

²¹American Society of Civil Engineers Committee on Environmental Quality Management. 1970. (Voir ouvrages de référence.)

Ouvrages de référence

Agriculture et aspersion des terres

- American Public Works Association. 1973. *Survey of Facilities Using Land Application of Wastewater*. Report Number EPA-430/9-73-006. Office of Water Program Operations, U.S. Environmental Protection Agency, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402, USA. 377 p. (Etude d'ensemble d'une centaine d'installations dans le monde entier utilisant des eaux usées ménagères ou industrielles pour l'irrigation.) (U.S.\$6.80)
- Bouwer, H. 1968. Returning wastes to the land, a new role for agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation* 23:164-8.
- Cluff, C. B.; K. J. deCook; and W. G. Matlock. 1971. Technical and institutional aspects of sewage effluent-irrigation-water exchange, Tucson region. *Journal of the American Water Research Association* 7:726.
- Dean, R. B. 1971. Ultimate disposal of industrial waste: an overview. *Massachusetts Institute of Technology, Technology Review* 73(5):20.
- Kirby, C. F. 1967. Irrigation with waste water at the Board of Works Farm, Werribee. *Symposium on Water on the Farm*. Water Research Foundation of Australia Report No. 25. (P.O. Box 47, Kingsford, New South Wales 2032, Australia.)
- Malina, J. S., and B. P. Sagie. 1974. *Virus Survival in Water and Wastewater Treatment*. Center for Research in Water Resources, The University of Texas, Austin, Texas (In press.)
- Metcalf and Eddy, Inc. 1973. *Wastewater Treatment and Reuse by Land Application*. (2 Vol.) Report No. EPA-660/2-73-006. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402, USA. (Vol. 1: U.S.\$1.10; Vol. 2: U.S.\$2.40)
- National Association of State Universities and Land-Grant Colleges. 1973. *Recycling Municipal Sludges and Effluents on Land*. Report No. PB 227-184A/S. (National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, Virginia 22151, USA. U.S. \$6.00.)
- Sopper, W. E., and L. T. Kardos, eds. 1973. *Recycling Treated Municipal Wastewater and Sludge through Forest and Cropland*. Pennsylvania State University Press, University Park and London. 479 p.
- Special Report on Land Disposal. 1973. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 45:1465-1507.
- Wolman, A. 1948. Industrial water supply from processed sewage treatment plant effluent at Baltimore, Maryland. *Sewage Works Journal* 20:15.

Recyclage municipal

- American Society of Civil Engineers Committee on Environmental Quality Management. 1970. Engineering evaluation of virus hazard in water. *Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers* 96(SAL):111.
- Stander, G. J., and J. Funk. 1969. Direct cycle water reuse provides drinking water in South Africa. *Water and Wastes Engineering* 6(5):66.

Ouvrages de caractère général

- Culp, G. L., and R. W. Culp. 1971. *Advanced Wastewater Treatment*. Van Nostrand Reinhold Co., New York.
- Fair, G. M., and J. C. Geyer. 1968. *Water and Wastewater Engineering Volume 2*. John Wiley, New York.

- Gavis, J. 1971. *Wastewater Reuse*. (Prepared for the National Water Commission.) National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22151, USA. Accession No. PB 210-535.
- Metcalf and Eddy, Inc. 1971. *Wastewater Engineering*, McGraw Hill, New York. 782 p.
- National Water Commission. 1973. p. 306-315. (Voir ouvrages de référence, p. 6)
- U.S. Department of Housing and Urban Development, Office of International Affairs, 1970. *Sewage Lagoons for Developing Countries*. Ideas and Methods Exchange No. 62. 35 p. (Available from the authoring institution, Washington, D.C. 20410, USA.)
- Weber, W. J., Jr. 1972. *Physicochemical Processes for Water Quality Control*. Wiley Interscience Co., New York.

Références

- American Public Works Association, 1313 East 60th Street, Chicago, Illinois 60637, USA
- Bureau of Sanitary Engineering, State of California, Department of Public Health, Berkeley, California 94720, USA (E. Sepp)
- Central Public Health Engineering Research Institute, Nagpur, Maharashtra, India (G. B. Shende)
- College of Agriculture, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (C. B. Cluff, A. D. Day, and T. C. Tucker)
- Civil Engineering Department, University of Nairobi, Nairobi, Kenya (R. Jones)
- Civil Engineering Department, University of Texas, Austin, Texas 78712, USA (J. F. Malina)
- Community Water Supply and Sanitation, Division of Environmental Health, World Health Organization, Geneva, Switzerland (L. A. Orihuela)
- Department of Soil Science, University of California at Riverside, Riverside, California 92501, USA (A. L. Page)
- Department of Water Affairs, South-West Africa Branch, Windhoek, South-West Africa (Namibia) (S. W. Burger)
- Department of Watershed Management, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (G. S. Lehman and L. G. Wilson)
- Environmental Health Laboratory, Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Israel (H. I. Shuval)
- Institute for Research on Land and Water Resources, Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania 16802, USA (W. E. Sopper)
- Institute for Water, Berlin, Germany (W. Niemitz)
- Instituto De Ingeniero Sanitaria, Universidad De Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina (R. A. Trelles)
- Melbourne and Metropolitan Board of Works, 625 Little Collins Street, Melbourne, Victoria, Australia
- Municipal Treatment and Reuse Section, Advanced Waste Treatment, Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio 45268, USA (R. B. Dean)
- Muskegon County Department of Public Works, Muskegon, Michigan 49440, USA (J. C. Postlewait)
- National Institute for Water Research, Council for Scientific and Industrial Research, P.O. Box 395, Pretoria, South Africa
- Negev Institute for Arid Zone Research, Beer Sheva, Israel (J. Schecter)
- Office of Water Programs Operations, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 20460, USA (B. L. Seabrook)
- Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Environmental Protection Agency, P.O. Box 1198, Ada, Oklahoma 74820, USA (C. Harlin, R. Thomas)
- U.S. Water Conservation Laboratory, U.S. Department of Agriculture, ARS, Phoenix, Arizona 85040, USA (H. Bouwer)

5 Puits

Le présent chapitre traite des puits ordinaires, des qanats et des puits horizontaux.

Les puits ordinaires

Les puits ordinaires, creusés à la main (Figure 33) ont été utilisés pendant des milliers d'années, mais ils ont perdu de leur popularité avec l'avènement des forages.²² Aujourd'hui, on s'intéresse de nouveau aux puits ordinaires, qui peuvent encore rendre de grands services dans les régions arides. Les matériaux, l'outillage et le matériel modernes permettent de transformer des excavations sommaires qui sont des foyers de maladies parasitaires et bactériennes, en des points d'eau sûrs, hygiéniques et bien construits.²³ Les puits ordinaires sont peu coûteux, faciles à construire et tant leur construction que leur entretien peuvent être assurés par une main-d'oeuvre non spécialisée. Ils constituent à la fois un réservoir d'eau et une source.

Dans la plupart des cas, les forages remplaceront les puits ordinaires, mais ces derniers peuvent constituer une mesure de transition importante, et dans certains cas, les puits ordinaires seront toujours les plus adaptés, par exemple, lorsqu'il s'agit de nappes peu profondes, à faible rendement, et pour les régions inaccessibles, où le transport du matériel de forage pose des problèmes.

En Afghanistan et en Inde, on envisage sérieusement la possibilité de revenir aux puits ordinaires.²⁴ Depuis l'année 1954 environ, époque où l'usage des compresseurs et des marteaux piqueurs est devenu chose courante, on a pu augmenter la profondeur d'un grand nombre de puits ordinaires qui existaient sur le plateau du Deccan en Inde centrale, et cela a été possible grâce aux nouveaux outils qui ont permis de creuser à travers les couches de lave. Au cours des dix dernières années, l'Inde a également amélioré le débit des puits ordinaires en y adjoignant des pompes. Entraînées par des moteurs à combustion interne ou électriques, ces pompes centrifuges peu onéreuses sont

²² Gibson and Singer. 1969. (Voir ouvrages de référence.)

²³ Wagner and Lanoix. 1959. (Voir ouvrages de référence.)

²⁴ Government of India, Ministry of Food and Agriculture. 1962. (voir ouvrages de référence.)



FIGURE 33 Creusement d'un puits ordinaire dans le désert du Néguev. (U. Nessler)

installées sur plateformes à 1 ou 2 m au-dessus du niveau de l'eau et refoulent celle-ci à la surface du sol. A l'heure actuelle, un grand nombre de pays en développement, y compris l'Inde et le Pakistan, fabriquent des pompes bien adaptées.

Mais les puits ordinaires comportent des inconvénients :

- On ne peut pas les utiliser pour atteindre une nappe aquifère à plus de 20 ou 30 mètres de profondeur
- Leur débit est généralement faible
- La technique de creusage des puits est connue et utilisée dans la plupart des pays, mais l'art du revêtement des puits est en régression; il importe donc d'améliorer les revêtements. Le revêtement protège contre les effondrements et empêche l'eau polluée de surface de pénétrer dans le puits. Le principal problème est posé par le revêtement des parois au-dessous du niveau de la nappe.

Il y a lieu également d'améliorer les techniques de forage, en les rendant plus sûres, plus rapides et plus efficaces.

Qanat

Un qanat est une galerie souterraine destinée à exploiter l'eau d'infiltration dans un cône d'éboulis et de l'amener, sans pompe ni matériel, à la surface du sol pour être utilisée.

Un système de qanat consiste en trois parties essentielles (Figure 34) :

- Un ou plusieurs puits d'amont verticaux creusés dans les couches aquifères du cône d'éboulis pour capter l'eau
- Une galerie souterraine légèrement inclinée qui amène l'eau des puits d'amont à un point du sol situé en aval (la galerie agit, en partie, comme un drain souterrain pour collecter l'eau)
- Une série de puits verticaux entre la surface du sol et la galerie pour la ventilation et l'enlèvement des débris d'excavation (Figure 35)

Comme les qanats transportent l'eau sans pompe ni frais de pompage (Figure 36), on peut les utiliser partout où le pompage revient trop cher.

La longueur des qanats varie considérablement selon la profondeur de la formation aquifère et la pente du terrain. La conduite peut mesurer, du point d'amont à l'embouchure, de 1 à 4 km; un qanat, en Iran du Sud, avait une longueur de plus de 28 km. La longueur moyenne est comprise entre 10 et 16 km. La quantité d'eau fournie par chaque galerie varie considérablement. Une étude portant sur 200 qanats dans la plaine de Varamin, au sud-est de Téhéran, a révélé que le débit le plus fort était de 270 litres par seconde et le plus faible de 1 litre par seconde.

Il y a 3.000 ans les Perses ont appris à creuser des qanats (mot sémite qui a donné naissance au mot "canal") pour amener l'eau des montagnes vers les plaines arides. Leurs qanats ont été édifiés sur une grande échelle, et ils

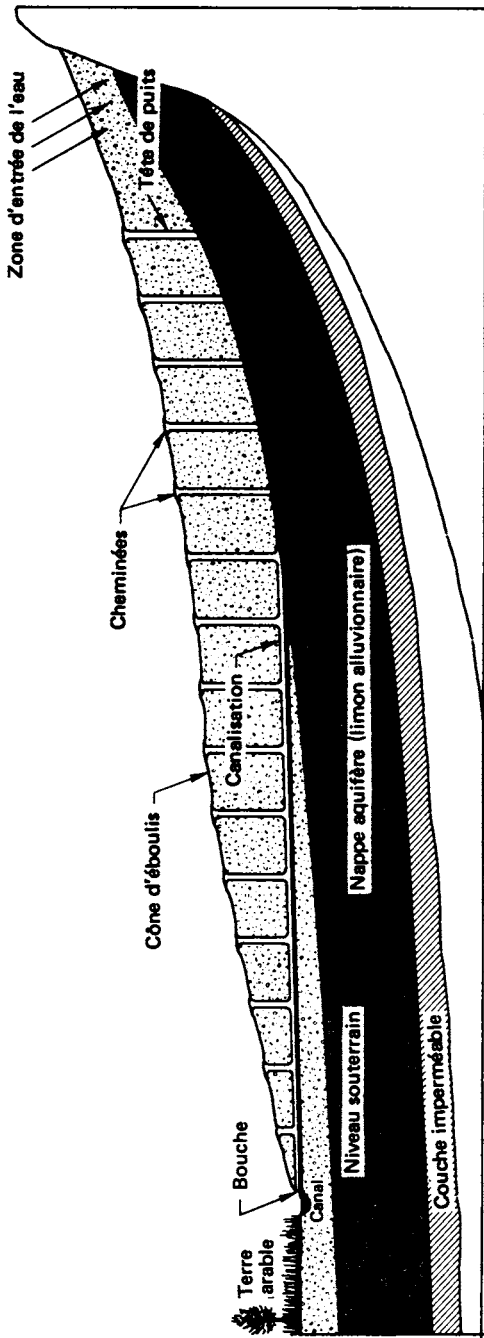


FIGURE 34. Mettant à profit la dénivelité naturelle du terrain, le qanat est constitué par une série de puits creusés dans une nappe d'eau souterraine et reliés par des galeries qui transportent l'eau par gravité vers les terrains situés en aval. (A partir d'un diagramme tiré de *Scientific American*, Wulff, 1968. (Voir ouvrages de référence.)

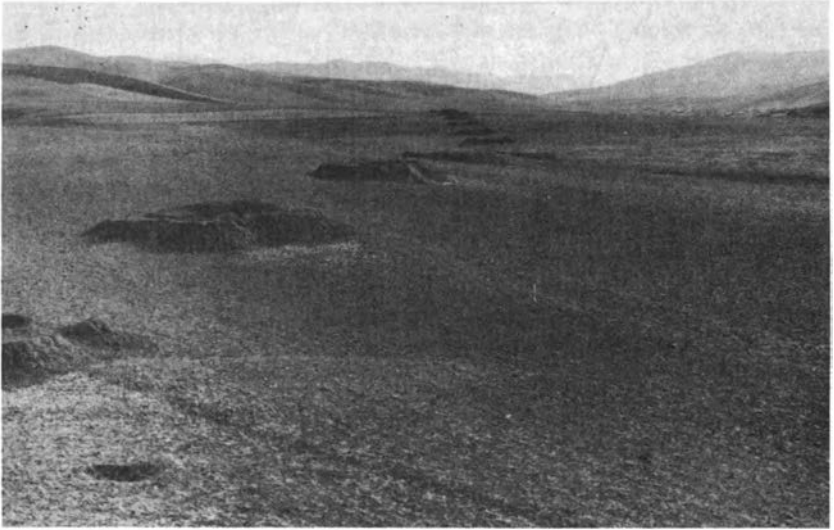


FIGURE 35 Rangées de cratères, chacune marquant l'orifice d'un puits d'aéragé d'un qanat, dans une plaine aride de l'Iran occidental. Les parois du cratère protègent les puits et la galerie souterraine de l'érosion causée par l'écoulement de l'eau lorsqu'un fort orage s'abat sur le désert. (FAO)

peuvent rivaliser avec les aqueducs romains. Le système a depuis lors été utilisé dans différentes régions du Pakistan à l'Afrique du Nord. En Afghanistan et au Pakistan les qanats sont connus sous le nom de karez; en Afrique du Nord ils sont appelés foggaras et falaj dans les Emirats Arabes Unis. On construit rarement aujourd'hui de nouveaux qanats, mais les anciens sont encore utilisés, surtout en Afghanistan et en Iran où il y a 40.000 qanats environ qui forment un réseau de galeries souterraines de plus de 270.000 km, qui fournit au pays 35 pour cent de son eau.

En Iran, des régions ayant une pluviométrie comprise entre 150-250 mm seulement produisent leur propre nourriture et produisent même du coton, des fruits secs et des oléagineux pour l'exportation—et cela n'est possible que grâce aux qanats. Tout récemment encore (avant la construction du barrage de Karaj), les 2 millions d'habitants de Téhéran recevait leur eau des versants des Monts Elbouz, qui étaient sillonnés de qanats. La production agricole rendue possible par les qanats permet de rembourser le coût d'investissement pour la construction et l'entretien. En 1967, le rendement des investissements, sur la vente de l'eau et des récoltes, allait de 15 à 25 pour cent, selon les dimensions du qanat, le débit, et la culture.²⁵

²⁵ Wulff. 1968. (Voir ouvrages de référence.)

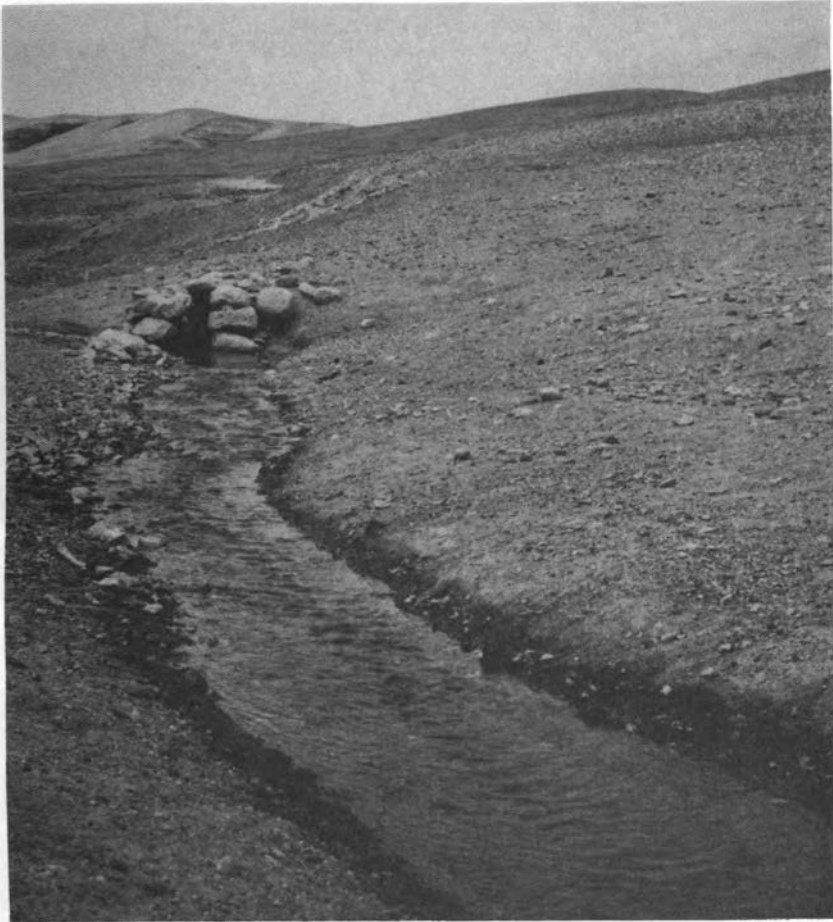


FIGURE 36 L'eau qui coule du qanat principal dans le village de l'Iran, est utilisée surtout pour l'irrigation. Le qanat peut fournir de l'eau à des terres qui, sans cela, seraient très arides. (FAO)

Une innovation récente, que l'on utilise actuellement en Iran, est un hybride entre un puits ordinaire et un qanat. Un puits ordinaire est creusé à une profondeur qui dépasse le niveau de la nappe et alors des galeries horizontales sont percées au moyen des méthodes d'excavation des constructeurs de qanats. Dans la cheminée du puits ordinaire, on installe une pompe centrifuge pour refouler vers la surface l'eau collectée par les galeries horizontales.

Les qanats comportent des inconvénients :

- Ils transportent l'eau sans arrêt pendant toute l'année; de ce fait, l'eau qui n'est pas utilisée est perdue. Le débit est à son maximum pendant la

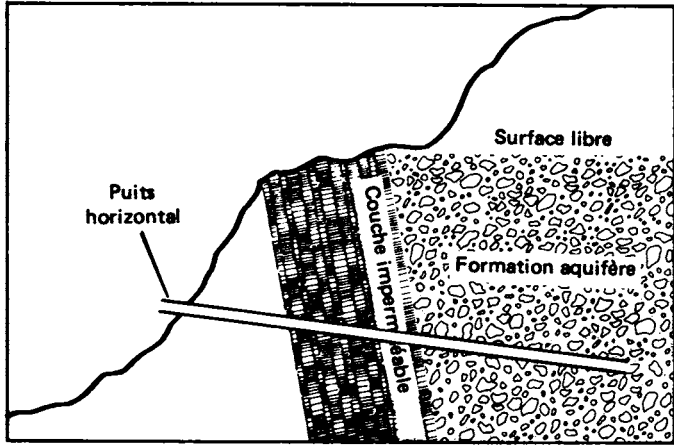


FIGURE 37 Un puits horizontal, mis à l'essai, débite plus de 200 l/min. La tuyauterie comporte deux conduites d'alimentation, un clapet de sécurité et un raccord de réduction. (W. T. Welchert)



FIGURE 38 Forage d'un puits horizontal. Un tubage classique est enfoncé selon un plan légèrement incliné. Le matériel, léger et portatif, peut être transporté facilement, même sur des terrains accidentés. (W. T. Welchert)

FIGURE 39 Les sites appropriés pour les puits horizontaux sont les formations de dyke, les argiles imperméables légèrement inclinées ou les murailles rocheuses qui forment un barrage naturel. (W. T. Welchert)



saison des pluies, époque où la demande d'eau pour l'irrigation est au minimum, alors que pendant la principale période d'irrigation (l'été) les qanats peuvent ne donner aucune eau durant les années de sécheresse.

- Au lieu d'arroser les terrains situés en amont des cônes d'éboulis, les qanats desservent les terrains situés en aval, qui sont souvent les sols les plus salins et les plus pauvres.

- L'eau de qanat est souvent de moins bonne qualité que l'eau des puits creusés dans les hauteurs du cône d'éboulis. Le qanat coûte cher et sa construction comporte des dangers, si elle est réalisée à l'aide des techniques primitives d'excavation du passé. Ces dernières années, les coûts de construction ont suivi l'élévation des niveaux de vie et la hausse des coûts de main-d'oeuvre. Toutefois, si l'on applique des techniques modernes de construction, les connaissances géologiques et hydrologiques actuelles, et la télédétection, la formule du qanat pourrait jouer à l'avenir un rôle non négligeable dans la production de l'eau dans les régions arides.

Des recherches sont nécessaires pour définir des méthodes de construction offrant toute sécurité, pour mettre au point des revêtements qui accroissent la sécurité et diminuent l'entretien, et pour trouver le moyen d'arrêter le débit, lorsque l'eau n'est pas utilisée.

Les puits horizontaux ou inclinés

Dans la mise en valeur des ressources en eau, on néglige souvent les petites sources. Pourtant, dans de nombreuses régions arides et montagneuses, seules les sources peuvent assurer un approvisionnement régulier en eau de bonne qualité pour les usages domestiques. La technique des puits horizontaux, qui

est un procédé perfectionné d'exploitation des sources, offre un grand potentiel en ce qui concerne la fourniture et le stockage de l'eau de bonne qualité dans les régions où la géologie permet de l'employer.

Un puits horizontal est une source "encaissée" (Figure 37). Un appareil de forage horizontal (Figure 38) est utilisé pour creuser un trou et installer un tubage d'acier dans une montagne ou une colline pour exploiter une nappe captive (Figure 39).

Le captage de l'eau des sources est un art ancien. D'une manière générale, lorsqu'une source ou un point d'infiltration est localisé, on y procède à des excavations soit avec des outils ou à la dynamite afin de mettre à nu la roche aquifère. Les résultats ne sont pas réguliers, et il y a toujours le risque de dommages à la barrière naturelle qui ferme le réservoir souterrain. Le débit, une fois obtenu de cette façon, est presque impossible à contrôler et peut entraîner à bref délai le tarissement du gîte aquifère.

Les puits horizontaux éliminent tous ces risques. Il sont forés sur les sites prometteurs où l'on trouve des sources, des filets ou des traces d'eau. La présence de phréatophytes (chapitre 13), de sources taries et de formations géologiques propices sont les indicateurs retenus pour choisir le site de forage. Un puits horizontal permet d'exploiter le gîte aquifère avec précision et en toute sécurité. De plus, il protège l'eau contre la contamination par les animaux, les poussières, l'érosion, etc. L'emploi de pompes n'est pas nécessaire. Les frais et les difficultés d'entretien sont insignifiants par rapport à ceux des autres méthodes de captage des sources.

Si le débit est faible, on peut installer un bassin de stockage pour emmagasiner l'eau la nuit ou pendant la morte saison. Les sources, qui ne coulent que quelques semaines seulement durant l'année, peuvent rendre des services si on dispose d'installations adéquates de stockage.

Durant ces 15 dernières années, 2.000 puits horizontaux ont été forés avec succès dans les zones arides du sud-ouest des Etats-Unis. Une étude réalisée en 1967 par l'Université de l'Arizona indique qu'un débit utile a été obtenu dans 45 cas sur les 53 forages réalisés dans le cadre d'un programme. Les débits variaient de 1 à 230 litres/minute; la plupart étaient de l'ordre de 10-40 litres/minute. Le temps de forage était en moyenne de 32,3 heures par puits en production.²⁶

Le matériel de forage horizontal est d'une fabrication courante; il est simple, portatif et d'un fonctionnement sûr. Le processus de forage fait intervenir une sonde rotative (Figure 38), un trépan de carbone ou de diamant, une petite pompe à eau avec recyclage, une épanduse de laitier de ciment, un point d'eau pour le forage et quelques outils et accessoires de plomberie.

²⁶Welchert and Freeman. 1973. (Voir ouvrages de référence.)

La technologie des puits horizontaux est différente de celle du forage des puits verticaux et demande beaucoup de pratique pour être maîtrisée.

Ouvrages de référence

Puits ordinaires

- Bennison, E. W. 1947. *Ground Water, Its Development, Uses and Conservation*. E. E. Johnson, Inc., 319 N. Pierce St., St. Paul, Minnesota 55104, USA.
- Gibson, U. P., and R. D. Singer. 1969. *Small Wells Manual*. Office of Health, 633 PP, U.S. Agency for International Development, Washington, D.C. 20523, USA. 156 p.
- Government of India, Ministry of Food and Agriculture. 1962. *Handbook on Boring and Deepening of Wells*. Report Number Agr. 77, New Delhi, India.
- U.S. Department of Agriculture. 1971. *Water Supply Sources for the Farmstead and Rural Home*. Farmers Bulletin No. 2237. 18 p. (Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402, USA. U.S. \$0.15.)
- Wagner, E. G., and J. N. Lanoix. 1959. *Water Supply for Rural Areas and Small Communities*. World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Qanat

- Butler, M. A. 1933. Irrigation in Persia by kanats. *Civil Engineering* 3 (2):69-73.
- U.S. Agency for International Development. 1973. *NESA Irrigation Practices Seminars—An Evaluation*. Office of Agriculture, Technical Assistance Bureau, U.S. Agency for International Development, Washington, D.C.
- Wulff, H. E. 1968. The qanats of Iran. *Scientific American* 218:94-101.

Puits horizontaux ou inclinés

- Freeman, B. N. *Horizontal Wells: New Water Source*. Five-minute motion film produced by Deere and Company as a public service. Contact: Advertising Department, Deere and Company, Moline, Illinois 61265, USA.
- Welchert, W. T., and B. N. Freeman. 1973. 'Horizontal' Wells. *Journal of Range Management* 26(4):253-6. Also available in Spanish as: Pazos Horizontales. *Selecciones del Journal of Range Management* 2(4). Agosto 1973.

Références

Puits ordinaires

- Ministry of Agriculture, Government of India, Krishi, Bhawan, New Delhi, India (J. K. Jain, Irrigation Adviser)
- Servico especial de Saude Publica, Government of Brazil, Brasilia, Brazil
- University of the Negev, Beer Sheva, Israel (A. Issar)

Puits horizontaux ou inclinés

- Cooperative Extension Service and Agricultural Experiment Station, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (W. T. Welchert)

6 Autres sources d'eau

Dans ce chapitre on signale rapidement les autres sources d'eau, situées dans les régions arides, qui sont décrites très complètement dans d'autres ouvrages ou dont l'exploitation a un caractère trop spéculatif pour qu'on lui consacre des développements distincts dans un rapport général.

Le captage des nappes fossiles

Dans les régions arides du monde, de nombreuses formations aquifères productives renferment d'énormes quantités d'eau qui peuvent être exploitées au moyen des techniques bien connues d'extraction en profondeur. On rencontre des formations aquifères de ce type sous les déserts dans le nord du Mexique, le sud-ouest des Etats-Unis, l'Afrique du Nord, l'est de l'Arabie séoudite, dans le Sinai et dans d'autres régions du sud-ouest asiatique. L'eau de ces formations aquifères, une fois enlevée, n'est pas remplacée; elle doit être considérée comme un "apport non renouvelable", comme n'importe quel autre produit minier fossile. L'exploitation de cette eau doit être entreprise, en étant bien entendu que dans quelques décennies la source sera tarie et que les capitaux investis devront être amortis dans ce délai. Dans certaines conditions, ces formations aquifères peuvent fournir des ressources provisoires pour créer le capital qui permettra de financer des systèmes coûteux qui peuvent aller chercher l'eau hors de la région et assurer un approvisionnement permanent. L'exploitation de ces nappes fossiles a été entreprise en Algérie, en Lybie (Figure 63), en Egypte, en Arabie séoudite, au Mexique et aux Etats-Unis.

Le dessalement de l'eau de mer

Si l'eau de mer pourrait être dessalée à bon marché, cela serait une bénédiction pour les terres arides situées en bordure des mers ou de lacs salés; au cours des dernières décennies, plusieurs propositions tendant à construire de vastes usines de dessalement de l'eau de mer pour fournir de l'eau pour les besoins agricoles, ont fait l'objet d'une grande publicité et d'une promotion intense. Bien que d'autres méthodes de dessalement, plus perfectionnées, utilisant des membranes et les échanges d'ions, aient été mises au point,

aucune technique actuelle ne peut vraiment donner de l'eau douce à bas prix. Les réductions de coût envisagées pour les usines de dessalement sont fondées sur l'hypothèse que le coût du produit diminue au fur et à mesure que s'accroît l'importance de l'usine. Mais il y a une limite pratique aux réductions de coûts obtenues par ce moyen. En outre, il y a les problèmes que posent l'enlèvement de vastes quantités de saumure, le pompage et le transport de l'eau dessalée au point d'utilisation, et son stockage, en attendant qu'elle soit utilisée pour l'irrigation. Un autre problème fondamental tient au fait que les usines de dessalement consomment des quantités énormes d'énergie.

La plupart des partisans des projets de dessalement de l'eau de mer reconnaissent à l'heure actuelle que l'eau reviendra trop cher pour être utilisée dans l'irrigation, telle qu'elle est pratiquée de nos jours—néanmoins, le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres pourrait s'avérer être une technique économiquement rentable dans certains cas spéciaux, comme celui des centres touristiques.

On peut se procurer sur le marché des usines de dessalement produisant plusieurs millions de litres d'eau douce par jour. De telles usines fournissent de l'eau pour les usages domestiques et industriels dans certaines régions arides des pays qui ont les moyens de se payer de telles installations.

La distillation solaire

Dans la distillation solaire, les rayons du soleil passent à travers un couvercle transparent avant d'atteindre une source d'eau salée; l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se condense sur le couvercle qui est conçu pour la recueillir et l'emmagasiner. Cette technique a été utilisée pour la première fois, en 1872, dans le désert d'Atacama, au Chili, dans une usine qui fournissait de l'eau potable pour les bestiaux utilisés dans l'extraction du nitrate. Cette usine, dit-on, aurait fonctionné pendant 30 années. Cette technique en est encore à ses débuts, bien que des petits dispositifs de distillation, à l'usage de petites communautés, soient sur le point d'être commercialisés. Des dispositifs robustes, nécessitant peu de soins et d'entretien ont été mis au point aux Etats-Unis, en France, en Espagne et en Australie (Figure 40). La distillation solaire est utilisée commercialement à petite échelle pour alimenter en eau des petites agglomérations dans les régions isolées de l'Australie, et des petites communautés dans le bassin méditerranéen et dans les Caraïbes. Actuellement, les travaux de recherche en matière de distillation solaire s'orientent vers la mise au point de nouveaux matériaux et de nouveaux modèles économiques, de construction robuste, afin de réduire le coût produit/eau.

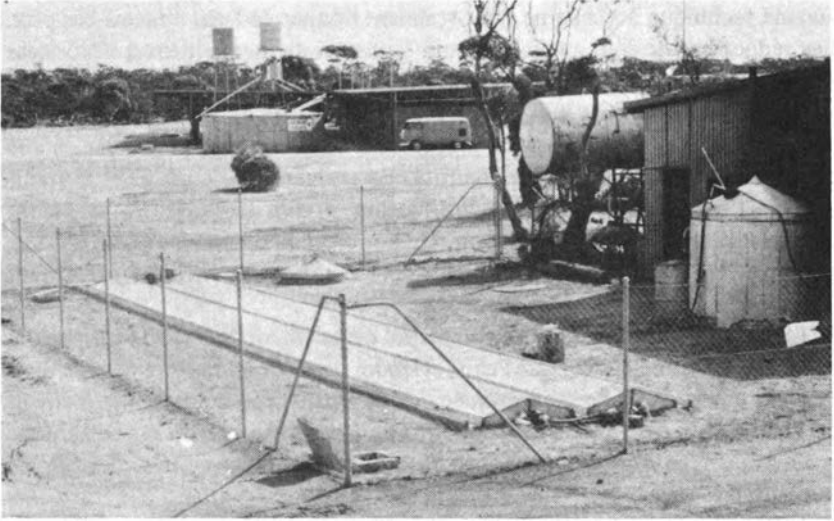


FIGURE 40 Appareil solaire à Caijuna, Australie occidentale. De la chaleur résiduaire d'un moteur à combustion interne complète la chaleur solaire, augmentant sensiblement l'efficacité de l'appareil. (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Highett, Victoria, Australia)

Les capteurs de mesure à distance

Les photographies prises par des satellites ou des avions volant à haute altitude sont très utiles aux planificateurs dans les régions arides. Voici quelques-unes des utilisations fructueuses de la mesure à distance.

- Des oasis avec émergence de nappes aquifères profondes ont été repérées, et on a utilisé plusieurs séries d'images pour déterminer leur stabilité
- Des données géologiques pour déterminer la forme et l'étendue des nappes aquifères profondes ont été obtenues à l'aide de la plupart des types d'images obtenues à distance, y compris des images radar, thermiques et optiques obtenues à partir d'avions ou de satellites. Des capteurs géophysiques aéroportés, tels que magnétomètres, permettent de dresser la carte des structures souterraines qui contrôlent la circulation et la répartition des eaux souterraines.
- L'étendue des sources, des émergences locales et des nappes peu profondes dans les chenaux d'alluvion peut souvent être déterminée à partir même des satellites, parce que l'on peut repérer les arbres et les arbustes dont la présence est liée à celle de l'humidité.
- On peut détecter les effets des pluies sur le désert; après un orage, on peut distinguer la couleur foncée du sol mouillé et quelques semaines plus tard on décèle la présence de la végétation correspondant à l'humidité.

- Les colonnes d'eau douce qui jaillissent de sources sous-marines peuvent être détectées au moyen de capteurs thermiques, parce que leur température est d'ordinaire différente de celle de la mer environnante.

- L'étendue et le déplacement des eaux de crue ont pu être déterminés et portés sur une carte.

- On a évalué l'épaisseur de la couche de neige qui recouvre les sommets des montagnes afin de calculer la quantité d'eau de ruissellement qui sera disponible aux altitudes inférieures après la fonte des neiges.

Les sujets ci-après sont traités afin de donner des mises en garde et de donner également une idée des spéculations qui sont échaffaudées au sujet de l'approvisionnement en eau dans l'avenir lointain.

L'augmentation de la pluviosité

Certains nuages contiennent des gouttes d'eau surfondues; l'augmentation de la pluviosité accélère la précipitation de cette eau. Lorsque l'on projette sur ces nuages de la glace, de la neige carbonique et de l'iodure d'argent, dont les cristaux entraînent la condensation (nucléation) des gouttes d'eau surfondues, on provoque la multiplication des cristaux de glace, ce qui déclenche la formation de grosses gouttes de pluie. Cette méthode est connue sous le nom de "ensemencement des nuages".

Pour produire de la pluie artificielle par cette méthode, il faut avoir les conditions météorologiques voulues. Même dans ce cas, l'ensemencement "peut aboutir à plus de précipitations, à moins de précipitations, parfois, et d'autres fois, les particules n'ont aucun effet".²⁷

Bien que l'on s'intéresse beaucoup à la technique de la pluie artificielle en vue de son emploi dans les régions arides, l'expérience indique que les meilleures conditions pour augmenter la pluviosité sont réunies lorsque des masses d'air froides et humides sont poussées vers les sommets de montagnes par des courants ascendants. Les perspectives d'accroître la pluviosité au-dessus des terres arides de plaine ne semblent guère encourageantes, en raison principalement de la rareté de nuages riches en vapeur d'eau. Les terres arides qui tireront profit des pluies artificielles sont probablement celles qui sont arrosées par les cours d'eau qui descendent des montagnes.

Les résultats de la pluie artificielle sont difficiles à prévoir parce que l'on ne connaît pas avec beaucoup de précision les phénomènes physiques qui provoquent les précipitations et parce qu'il est difficile, sur le plan de la technique, de projeter des particules sur les nuages en quantités optimales, au moment voulu et à l'endroit qu'il faut. Une autre cause d'incertitude est le point de savoir si la pluie artificielle provoquée dans un endroit ne modifie

²⁷Committee on Atmospheric Sciences, National Academy of Sciences-National Research Council. 1973. (Voir ouvrages de référence.)

pas le régime des précipitations dans un autre lieu. L'analyse de données très détaillées sur certaines formations de nuages pourra permettre de prédire à l'avenir, les effets de l'ensemencement des nuages, mais les recherches n'en sont qu'à leurs débuts.

Les icebergs

Quatre-vingt-cinq pour cent des ressources en eau du monde sont bloquées sous forme de glace dans les régions polaires, et l'on pense d'une manière générale que cette eau est inutilisable. Des ingénieurs, des géologues et des physiciens se demandent à l'heure actuelle si cette ressource ne pourrait pas être exploitée avec profit en remorquant les icebergs jusqu'aux régions qui manquent d'eau. De l'avis de certains "l'idée semble réalisable techniquement, intéressante du point de vue économique, et mérite d'être étudiée".²⁸ Les données relatives à la taille et à la répartition des icebergs indiquent qu'il existe des icebergs en nombre plus que suffisant et que des satellites peuvent être utilisés pour choisir les icebergs convenables. Les régions de l'Antarctique pourraient fournir des icebergs à l'Australie, au désert de l'Atacama au Chili, et à d'autres régions arides de l'hémisphère austral et peut-être, de l'hémisphère septentrional.

Les icebergs existent, le problème consiste à les déplacer. D'après un rapport,²⁸ un super-remorqueur hypothétique, que l'on pourrait construire avec la technologie actuelle, pourrait remorquer des icebergs de 16 km de long, de 3,5 km de large et de 200 m d'épaisseur. A la livraison, la valeur de l'eau contenue dans ces icebergs représenterait des centaines de millions de dollars.

Les pertes dues à la fonte de la glace sont importantes parce que le délai de remorquage, à une vitesse raisonnable, pourra dépasser 10 jours, et que la température de la mer aux lieux de livraison est supérieure à 15°C. Malheureusement, les calculs détaillés et les observations sur le terrain qui sont nécessaires pour déterminer les vitesses de remorquage et les taux de fonte n'ont pas encore été entrepris.

Deux autres questions qui se posent sont celles de savoir comment faire fondre la glace après le remorquage et comment pomper l'eau dans le réseau de distribution à partir du niveau de la mer. Peut-être que la glace pourrait constituer un "puisard réfrigéré" pour les centrales électriques côtières, ainsi la chaleur perdue pourrait être utilisée pour faire fondre la glace, ce qui accroîtrait l'efficacité thermodynamique de la centrale.

Comme c'est le cas avec les idées pour l'exploitation des autres ressources en eau, une évaluation critique des choix technologiques doit précéder toute conclusion selon laquelle l'exploitation des icebergs est une idée réaliste, dont

²⁸Weeks and Campbell. 1973. (Voir ouvrages de référence.)

la réalisation est souhaitable. La question de l'exploitation des icebergs pose de délicats problèmes politiques et de droit international à propos des droits des nations sur cette ressource, problèmes que ne sont pas tranchés par le régime subtil prévu par le traité sur l'Antarctique, et qui font l'objet d'intensives négociations dans le cadre de la refonte du droit de la mer qui est entreprise actuellement. De plus, au fur et à mesure que l'importance des régions polaires dans le climat mondial devient plus évidente, il devient également de plus en plus clair que notre connaissance des fondements physiques du climat est insuffisante pour nous permettre de prévoir avec précision les effets à long terme de modifications, même très légères apparemment, de l'environnement polaire.

La collecte de la rosée et du brouillard

La possibilité de condenser au moyen d'une technique simple, la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère a piqué la curiosité de plusieurs chercheurs. D'aucuns ont suggéré que les civilisations anciennes y étaient parvenues et utilisaient à des fins agricoles l'eau ainsi obtenue. "Les mottes de rosée" dans le Néguev (Figure 4) et les anciens "puits aériens" de Théodosie en Crimée étaient des amas de roches qui, pensait-on, se refroidissaient la nuit et provoquaient la condensation de la rosée du matin. Les expériences n'ont pas pu apporter la preuve que ce phénomène se produit à une échelle notable; par ailleurs, il a été démontré que les mottes de rosée du Néguev proviennent d'opérations d'égalisation du sol destinées à augmenter le débit de l'eau de ruissellement.²⁹ (chapitre 1). La rosée se condensera sur des amas de pierres, mais pas en quantité suffisante pour être récoltée et utilisée.

Ouvrages de référence

Captage des nappes fossiles

- United Nations, Department of Economic and Social Affairs. 1973. *Ground Water in Africa*. Report No. ST/ECA/147. (UN Publication Sales No. e.71.II.A.16.) United Nations, New York. 170 p.
- Vohra, B. B. 1972. *Ground Water Comes of Age: Some Policy Implications*. Ministry of Agriculture, New Delhi, India. January 31, 1972. 8 p.

Dessalement de l'eau de mer

- Clawson, M.; H. H. Landsberg; and L. T. Alexander. 1969. The economic impracticability of desalting seawater for large-scale agriculture. *Science*. 164:1141-8.

²⁹ Evenari, Shenan, and Tadmor. 1971. p. 127. (Voir ouvrages de référence.)

Fried, J. J., and M. C. Edlund. 1971. *Desalting Technology for Middle Eastern Agriculture; an Economic Case*. Praeger Special Studies in International Economic and Development, Praeger, New York. 113. p.

United Nations. 1964. *Water Desalination in Developing Countries*. United Nations, New York.

Distillation solaire

Proctor, D. 1973. The use of waste heat in a solar still. *Solar Energy*. 14(4):433-49.

Talbot, S. G.; J. A. Eibling; and G. O. G. Lof. 1971. *Manual on Solar Distillation of Saline Water*. Prepared for Office of Saline Water, U.S. Department of the Interior. Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio 43201. USA.

United Nations Department of Economic and Social Affairs. 1970. *Solar Distillation as a Means of Meeting Small-Scale Water Demands*. Report No. ST/ECA/121. (U.N. Publication Sales No. E 70.II.BI) United Nations, New York. 86 p.

Capteurs de mesure à distance

Goddard Space Flight Center. 1973. *Symposium on Significant Results Obtained from Earth Resources Technology Satellite-1*, Report No. X-650-73-155. (Available from Center, Greenbelt, Maryland 20770. USA.)

International Hydrological Decade. 1969. Vol. 1. pp. 61-125. (Voir ouvrages de référence, p. 6)

Thomson, K.; R. Lane; and S. Csallany, eds. 1973. *Remote Sensing and Water Resources Management*. American Water Resources Association (Box 434, Urbana, Illinois 61801, USA price U.S.\$15.00).

Augmentation de la pluviosité

Committee on Atmospheric Sciences, National Research Council. 1973. *Weather and Climate Modification: Problems and Progress*. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 258 p. (U.S.\$6.25)

Center of Scientific and Technological Information. *Artificial Rainfall Newsletter*. A monthly review with abstracts from technical literature. Available from the authoring institution, P.O. Box 20125, Tel Aviv, Israel (U.S.\$18.00/year)

Icebergs

Hult, J. L., and N. C. Ostrander. 1973. *Antarctic Icebergs as a Global Fresh Water Resource*. Report No. R-1255-NSF. National Science Foundation, Washington, D.C., USA.

Hult, J. L., and N. C. Ostrander. 1973. *Applicability of ERTS for Surveying Antarctic Iceberg Resources*. Report No. R-1354-NASA/NSF. Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20770. USA.

Weeks, W. F., and W. J. Campbell. 1973. Icebergs as a fresh water source: an appraisal. *Journal of Glaciology*. 12:65.

Collecte de la rosée et du brouillard

Evenari, M.; L. Shanan; and N. Tadmor. 1971. *The Negev: The Challenge of a Desert*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA. pp. 126-47.

Gindel, I. 1965. Irrigation of plants with atmospheric water within the desert. *Nature*. 207:1173-5.

Deuxième Partie

Conservation de l'eau

7 Réduction de l'évaporation des surfaces aquatiques

Dans les terres arides, les réservoirs et les canaux sont sujets à de fortes pertes par évaporation, mais elles ne sont pas souvent visibles car, par définition, l'évaporation est invisible. Les pertes par évaporation des petits réservoirs, des citernes, et des marais agricoles dont une grande superficie est exposée à l'air (par rapport au volume d'eau stockée) excèdent souvent la quantité d'eau utilisée à des fins productives.

La réduction de l'évaporation est donc un moyen important d'accroître l'approvisionnement en eau. Elle accroît la capacité des réservoirs sans que de nouveaux travaux de construction soient nécessaires; dans les régions arides, elle peut faire la différence entre un réservoir à sec et un réservoir plein.

Méthodes

En règle générale, la réduction de l'évaporation se fait en couvrant la surface d'eau d'une barrière qui empêche la vaporisation. Pour les petites citernes, un couvercle ou un toit est la solution qui s'impose mais pour les marais et les réservoirs plus grands la solution n'est pas aussi simple. Parmi les méthodes expérimentées en vue de protéger ces derniers figurent : les produits chimiques liquides qui s'étendent automatiquement à la surface et forment une couche hermétique; des blocs, des masses ou des bulles qui flottent à la surface de l'eau et réduisent la surface où se produit une vaporisation; le stockage de l'eau dans les barrages de sable et de roches.

Produits chimiques

Les alcools aliphatiques, par exemple l'alcool cétylique, sont de longues molécules fines qui s'alignent côte à côte sur une surface d'eau, la couvrant pour former une pellicule dont l'épaisseur est d'une molécule. De nombreuses recherches et une publicité considérable ont été consacrées à la possibilité



FIGURE 41 Expérience dans l'Arizona (Etats-Unis) où la cire est utilisée pour supprimer l'évaporation. Des blocs de cire ont été ajoutés à la citerne du premier plan. La chaleur du soleil fait fondre la cire et la transforme en une pellicule continue que l'on peut voir sur les citernes à l'arrière-plan. Pendant quatre ans, cette pellicule a supprimé plus de 85 pour cent de l'évaporation normale. (K. C. Cooley).

d'utiliser ces pellicules pour réduire l'évaporation de surface. Malheureusement les pellicules ne réduisent pas la quantité d'énergie solaire que l'eau absorbe et elles réduisent la quantité de chaleur normalement perdue car, en empêchant l'évaporation, elles empêchent aussi l'effet de refroidissement de la vaporisation. Bien que l'évaporation diminue lorsque la couche d'alcool est intacte, la température plus élevée de l'eau accroît l'évaporation en tout endroit de la surface d'eau que la barrière ne couvre pas. De plus, la barrière d'alcool est impossible à préserver intacte en raison du vent et des remous. Ces problèmes rendent aujourd'hui cette méthode impossible à appliquer.

La couche d'alcool aliphatique mono-moléculaire est néanmoins une méthode intéressante et potentiellement fructueuse. Elle ne requiert que de petites quantités de matériau (moins de 60 grammes par hectare de surface d'eau); elle ne limite pas la transmission d'oxygène à l'eau et elle se compose de matériaux qui ne sont pas toxiques pour la faune aquatique ou l'homme. Des efforts sont actuellement faits pour résoudre le problème que soulève le maintien d'une pellicule continue à la surface de l'eau. Une technique consiste



FIGURE 42 Une couverture protectrice de dalles de béton léger a réduit l'évaporation d'environ 80 pour cent à l'occasion d'essais réalisés récemment sur une vaste échelle dans deux réservoirs à Ovamboland (Afrique du Sud-Ouest). Des ingénieurs couvrent les réservoirs de dalles flottantes de polystyrène, de sable et de béton d'une épaisseur de 5 cm/60 cm.² La surface exposée de chaque dalle est peinte en blanc pour refléter le rayonnement solaire qui accélère l'évaporation.

La gravité spécifique du matériau (0,8) maintient la dalle flottante immergée à 80 pour cent réduisant ainsi la possibilité de voir les dalles s'emplier lors des vents forts. La partie submergée est recouverte de bitume pour protéger la dalle et pour empêcher le matériau d'affecter le goût de l'eau. Les dalles ont des coins arrondis pour permettre au vaste plan d'eau situé en dessous de respirer proprement lorsqu'il est couvert de dalles bien placées. (National Institute for Water Research, Afrique du Sud).

à utiliser un filet plastique pour limiter les mouvements et la rupture de la couche d'alcool.

Cire

La cire est un suppressant inhabituel de l'évaporation qui a récemment fait l'objet d'essais. Des blocs flottants de cire sont ajoutés à l'eau. Ils s'amolissent au soleil et se transforment en une pellicule flexible et continue. En Arizona, un couvercle de cire posé sur une petite citerne (Figure 41) est encore en bon état après quatre années d'usage; l'efficacité de la suppression de l'évaporation atteint plus de 85 pour cent. Même si la pellicule se fend et se rompt lorsqu'il fait froid, la chaleur du soleil la reconstitue rapidement.



FIGURE 43 Les feuilles de caoutchouc-mousse flottantes (9 m de diamètre et 5 mm d'épaisseur) couvrent un réservoir d'eau près de St-George, dans l'Utah (Etats-Unis). L'expérience semble indiquer à ce jour que la couverture aurait une durée de vie de 10 ans et empêche l'évaporation à 80-90 pour cent. Le coût estimé de l'eau dans une zone d'évaporation de 120 cm par an est de 1,80 à 2 dollars E.U. (U.S. Department of Agriculture)

Blocs solides

Les matériaux flottants qui couvrent la surface de l'eau, réduisent la superficie où peut se produire l'évaporation. Les blocs de béton léger, de polystyrène, de cire, de caoutchouc, et de matières plastiques sont expérimentés comme retardants de l'évaporation. Des blocs de béton flottants faits d'aggloméré léger ont été utilisés pour réduire l'évaporation d'un réservoir de 10.000 m² en Afrique du Sud-Ouest³⁰ (Figure 42).

Pour surmonter le problème de l'échauffement de l'eau qui est inhérent à la suppression de l'évaporation, les chercheurs travaillent avec des flotteurs en matériaux isolants et à surface de couleur réfléchissante qui empêchent l'énergie solaire d'entrer dans l'eau. Par exemple, des feuilles de polystyrène, peu coûteuses et très isolantes, d'une épaisseur de 2,5 cm et recouvertes d'asphalte et de gravier ont été expérimentées. Assemblées avec des crampons peu coûteux pour former de vastes radeaux d'une superficie pouvant aller jusqu'à 160 m², elles peuvent constituer d'excellentes barrières contre l'énergie et la

³⁰ Les dalles de béton réduisent les pertes de réservoir. 1966. (Voir ouvrages de référence.)



FIGURE 44 Barrage de retenue d'eau rempli de sable en Afrique du Sud-Ouest Ce barrage a été construit en béton. La construction par palières est nettement visible. Le puisard derrière la paroi du barrage est utilisé pour extraire l'eau. Les dimensions du barrage peuvent être estimées par comparaison à la taille des personnes à droite. (O. Wipplinger)

vapeur (voir Figures 24, p. 36; et 43). Le caoutchouc butyle en mousse peut aussi être efficace; il est certes coûteux, mais peut résister pendant plus de 10 ans.

Reservoirs de sable

L'évaporation peut être contrôlée en remplissant des réservoirs de sable et de roches. L'eau est stockée dans les pores entre les particules et le niveau d'eau est maintenu plus de 30 cm en dessous de la surface pour la protéger de l'évaporation (voir les couvertures de gravier au chapitre 9). Récemment, de petits réservoirs bordés de plastique ont été construits près de Safford dans l'Arizona et remplis de roches. Les roches ont réduit le volume du réservoir de 55 pour cent, mais l'évaporation de 90 pour cent.³¹ Une autre technique connexe est celle qui consiste à remplir le réservoir de sable comme c'est le cas au Soudan où ce système est utilisé pour collecter les eaux de pluie (Figure 11).

De petits barrages de sable sont utilisés depuis 1907 dans le désert de Namib pour approvisionner le bétail en eau potable. Ces barrages peuvent retenir l'eau pendant de longues périodes, beaucoup plus longues que celles

³¹ Cluff, et al. 1972. (Voir ouvrages de référence.)

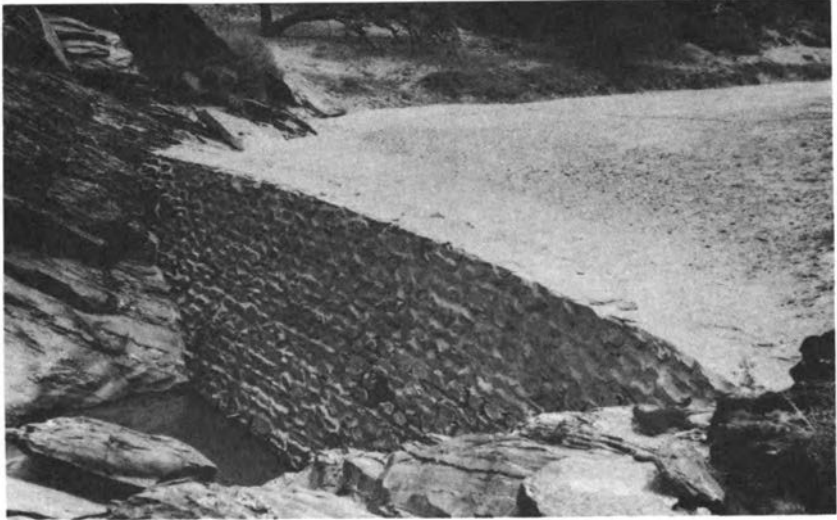


FIGURE 45 Barrage de sable en Afrique du Sud-Ouest construit de rocher et de béton. (O. Wipplinger)

permises par les techniques de stockage à ciel ouvert. Ils peuvent fournir de l'eau pendant les années de sécheresse totale; lorsque la nappe aquifère est un mètre au-dessus de la surface du sable, l'évaporation cesse à toutes fins pratiques.³² L'eau est puisée au moyen d'une conduite qui traverse la paroi du barrage ou au moyen d'un puits creusé dans le sable (Figures 44 et 45).

La paroi du barrage est construite à travers le lit du fleuve pendant la saison sèche; ultérieurement, les crues déposeront le sable et le gravier nécessaires. Normalement, le sol entraîné par les eaux de crue se compose de 3/4 de sédiment et de boue et d'1/4 seulement de sable et de gravier. Un barrage qui retiendrait ce mélange s'ensablerait rapidement. Pour veiller à ce que seul du sable et du gravier soient déposés, la paroi du barrage est rehaussée par étapes d'un mètre seulement (encore que d'ordinaire de 2 mètres la première fois) les eaux de crue déposent du gravier et du sable à gros grains mais la vase et le sol passent au-dessus du barrage et sont entraînés par les eaux. Chaque fois que le barrage est rempli de sable et de gravier (ce qui peut exiger une saison des pluies complète) le mur est relevé de 1 m jusqu'à ce que la hauteur de 6 à 10 m soit atteinte.

Les barrages de sable sont particulièrement efficaces lorsqu'ils sont construits au-dessus de fissures qui mènent les eaux souterraines à des nappes aquifères naturelles car le barrage peut suffisamment ralentir les eaux de crue

³²Wipplinger, 1958. (Voir ouvrages de référence.)

impétueuses pour permettre à la nappe aquifère de se reconstituer (chapitre 16).

Une technique simplifiée est celle qui consiste à utiliser une pompe et un système de puisards qui peuvent facilement être creusés dans les lits secs pour extraire l'eau que retient naturellement le sable quelques mètres au-dessous de la surface.³³

Avantages

Le contrôle de l'évaporation est une méthode particulièrement importante pour conserver l'eau, car elle n'exige d'ordinaire guère de nouvelles constructions tandis que l'eau additionnelle devient immédiatement disponible. Dans de nombreux cas, il sera moins cher de réduire l'évaporation que de collecter et de stocker une quantité équivalente d'eau provenant d'autres sources. Les meilleurs matériaux fournissent de l'eau pour moins de 0,025 dollar E.U. le m³ dans une zone d'évaporation de 200 cm par an.³¹

L'évaporation atteint son maximum pendant les saisons les plus sèches qui sont également les périodes de pointe pour l'utilisation de l'eau. Contrôler uniquement l'évaporation qui a lieu pendant les saisons sèches et ce, avec des méthodes de courte durée pourrait avoir une importance économique considérable dans les régions arides.

Le fait de supprimer l'évaporation des eaux de retenue permet d'éviter l'augmentation de la salinité qui se produit avec l'évaporation. Des matériaux flottants de contrôle de l'évaporation suppriment la lumière, et partant, réduisent la croissance des algues indésirables et des herbes aquatiques.

Limitations

A l'heure actuelle, la suppression de l'évaporation se limite à de petites installations de stockage comme les mares, les citernes et les oasis. Dans la pratique, les grands réservoirs, les lacs et les cours d'eau restent encore hors de portée des techniques disponibles car il est très difficile pour le système de suppression de l'évaporation de survivre à des bourrasques, à des tempêtes et à des inondations.

Les effets des méthodes de contrôle de l'évaporation sur la faune aquatique peuvent ne pas revêtir d'importance dans les petits récipients, mais devraient être pris en considération dans les réservoirs.

³³ Ball et van Rynveld. 1972. (Voir ouvrages de référence.)

³¹ Cluff, et al. 1972. (Voir ouvrages de référence.)

Les barrages de sable ne peuvent être construits que lorsque la géologie le permet. Les eaux de crue doivent contenir du gravier et du sable (granite grossier ou fin, quartzite, microschiste et sable de dunes sont tous d'excellents matériaux), tandis que le site du barrage doit être rendu absolument étanche (ne pas hésiter, si besoin, à recourir à des injections de ciment pour empêcher les fuites). La construction d'un barrage de sable exige de la patience, du temps et de nombreux calculs. Tous sont nécessaires pour faire face aux retards lorsque chaque phase de la paroi du barrage est construite étant donné que dans bien des cas il n'est pas possible d'ajouter plus d'un mètre par an. C'est pour cette dernière raison que la technique étudiée n'a pas encore été acceptée partout.

Le contrôle des fuites (chapitre 8) est d'ordinaire plus facile et moins coûteux que celui de l'évaporation; aussi le contrôle de l'évaporation ne devrait-il pas être envisagé pour un réservoir ou un réseau de distribution d'eau tant que les fuites ne sont pas colmatées.

Stade de développement

Hydrologistes et ingénieurs sont depuis longtemps conscients de la quantité d'eau perdue chaque année dans les régions arides par évaporation; malheureusement, la suppression de l'évaporation en est encore au stade expérimental. De loin le plus grand nombre d'études se sont intéressées aux pellicules d'alcool. Bien que les recherches faites sur l'utilisation de matériaux flottants solides soient limitées, les progrès accomplis ont été considérables. Cette méthode semble très prometteuse pour les petites superficies de stockage. Des barrages de sable ont été construits par dizaines en Afrique du Sud-Ouest durant les 50 dernières années. Quelques-uns ont été également érigés au Kenya et dans d'autres pays de l'Afrique de l'Est.

Recherches et développement nécessaires

Il n'existe aucune méthode économique pour réduire l'évaporation des grands réservoirs à usages multiples. Des recherches dans ce domaine sont indispensables.

Des essais sur le terrain sont nécessaires pour expérimenter le caractère pratique des couvertures flottantes comme les radeaux de polystyrène expansé ou les couches de cire sur les réservoirs d'eau. Elles ne requièrent ni matériel ni compétence d'une nature particulière et peuvent être facilement introduites dans les régions arides pour des projets pilotes.

Des recherches sont nécessaires pour surmonter les difficultés mécaniques que posent la stabilisation d'un système de contrôle de l'évaporation sur les

surfaces d'eau exposées aux vents, aux vagues et aux courants. Cela est particulièrement le cas pour les couches d'alcool monomoléculaires.

Il est probable que des méthodes totalement différentes seront découvertes; c'est pourquoi il est souhaitable d'encourager la réalisation de recherches sur des méthodes totalement nouvelles.

Le barrage de sable est une technique qui doit faire l'objet d'essais sur le terrain dans de nombreuses régions arides. Des recherches sont nécessaires quant à sa conception rationnelle, par exemple pour la hauteur des paliers par rapport à la superficie du bassin de collecte.

Ouvrages de Référence

- Ball, J. A., and J. A. van Rynveld. 1972. The development of water-supplies from sand riverbeds. In Rhodesia Agricultural Journal, 1972. *Water in Agriculture*, pp. 27-36. (Voir p. 6)
- Cluff, C. B. 1966. Evaporation reduction investigations relating to small reservoirs. *Technical Bulletin*. 47 p. Agricultural Experiment Station, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA.
- Cluff, C. B.; G. R. Dutt; R. R. Ogden; and J. K. Kuykendall. 1972. (Voir p. 22) Concrete slabs cut reservoir losses. 1966. *Engineering News-Record* 177(15):140.
- Cooley, K. R. 1970. Energy relationships in the design of floating covers for evaporation reduction. *Water Resources Research*. 6(3):717-25.
- Cooley, K. R., and L. E. Myers. 1973. Evaporation reduction with reflective covers. *Journal of the Irrigation and Drainage Division of the American Society of Civil Engineers*. 99:353.
- Frasier, G. W., and L. E. Myers. 1968. Stable alkanol dispersion to reduce evaporation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, American Society of Civil Engineers*. 94:79-89.
- Ionides, M. G. 1967. Water in dry places. *Engineering* (London, England) 27(Oct):662-6. (Décrit les réservoirs de sable et l'utilisation de revêtements pour les tubes en plastique.
- Roberts, W. J. 1969. In *International Hydrological Decade* Vol. 2:666-93. (Voir p. 6)
- Wipplinger, O. 1958. *The Storage of Water in Sand*. South-West Africa Administration. Windhoek. (Décrit les barrages de sable)

Références

Généralités

- Department of Agricultural Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma 74074, USA (F. R. Crow)
- Director of Water Affairs, Kaiser Street, Windhoek, South-West Africa.
- U.S. Water Conservation Laboratory, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Phoenix, Arizona 85040, USA (K. R. Cooley)
- University of New South Wales, Kensington, New South Wales, Australia (G. J. Wiesner)
- Victorian State Rivers and Water Supply Commission, Victoria, Australia
- Water Resources Research Center, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (C. B. Cluff)

Réservoirs de Sable

- Department of Civil Engineering, University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa (O. Wipplinger)

**Department of Conservation and Extension, Ministry of Agriculture, P.O. Box 8108,
Causeway, Salisbury, Rhodesia (J. S. Ball)**
Hydraulic Research Laboratory, C.S.I.R., P.O. Box 395, Pretoria 0001, South Africa
Illinois State Water Survey, Urbana, Illinois 61801, USA (W. J. Roberts)

8 Réduction des pertes par infiltration

Pour des raisons économiques, la plupart des régions arides sont forcées d'utiliser des canaux et des réservoirs de terre. Comme leurs sols sont souvent poreux, bon nombre de ces installations et de ces conduites de stockage subissent de sérieuses pertes d'eau par infiltration. En détournant l'eau de son objectif prévu, l'infiltration peut aussi causer une sérieuse imbibation, salinification et érosion des sols voisins.

L'infiltration peut être réduite si les parois des réservoirs et des conduites sont rendues étanches. Les récentes techniques ont permis de créer de nombreux matériaux peu coûteux et étanches qui pourraient rendre des services utiles.

Des diverses manières de réduire l'infiltration, seules quelques-unes des méthodes les plus nouvelles et les plus coûteuses sont examinées dans le présent rapport.

Méthodes

Il existe maintes façons de rendre les sols imperméables pour la collecte des eaux de pluie (voir la liste au chapitre 1) et pour réduire l'infiltration dans les voies d'eau—damage, traitement chimique et couverture du sol au moyen de caoutchouc butyle, de feuilles de plastique, d'asphalte renforcé avec des matières plastiques ou de la fibre de verre, et ferrociment.³⁴

L'infiltration est causée dans une large mesure par le calcium que contient le sol. Le calcium transforme l'argile en agrégat formant des failles et une structure poreuse qui laissent l'eau s'infiltrer facilement. Dans cette situation, l'infiltration peut être considérablement réduite en traitant le sol avec un sel de sodium tel que le carbonate de sodium (Figure 46). Le sodium peut faire éclater les agrégats d'argile (Figure 47), gonfler les particules d'argile et remplir les pores du sol (Figure 48). Cette méthode ne réussira que si les

³⁴ Voir par exemple, *Ferrocement : Applications in Developing Countries*. (Gratuit. Voir publication 8, p. 151)



FIGURE 46 Les fissures dans le sol révèlent la forte teneur en calcium du lit d'un étang à sec dans la forêt nationale Coconino (Arizona) aux Etats-Unis. L'eau s'infiltré par les fissures; initialement les pertes d'infiltration dans cet étang de retenue de 1000 m² étaient de 5 à 12 cm par jour. Roches et mauvaises herbes ont été enlevées et une tonne (80 dollars E.U. environ) de carbonate de sodium a été répandue à la main. Ce carbonate a été ensuite mélangé au sol sur une profondeur de 8 cm environ au moyen d'un petit tracteur et d'un disque, et . . .

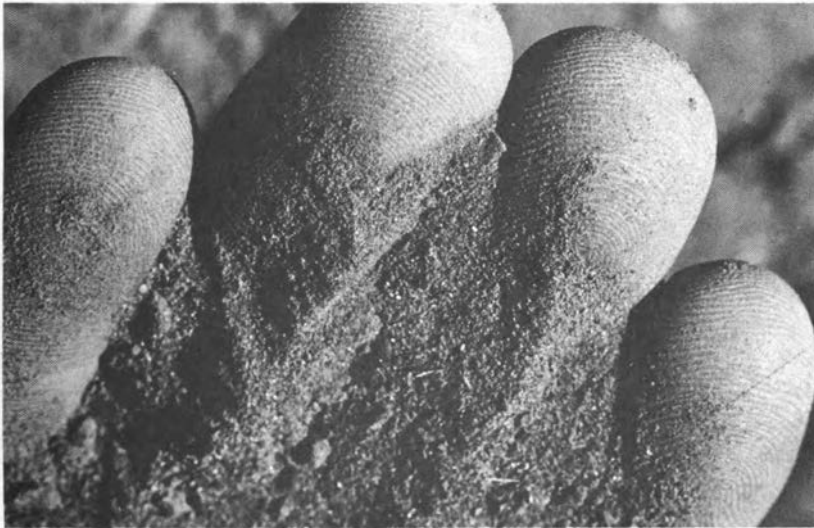


FIGURE 47 . . . dans ce sol de la même mare, après que le traitement au carbonate de sodium a causé la rupture des agrégats d'argile en fines particules qui retardent l'infiltration . . .

conditions sont favorables (le sol doit avoir au minimum 15 pour cent d'argile sur une fondeur de 30 cm au moins et avoir la capacité chimique d'échanger du calcium contre des ions de sodium).

Des réservoirs de terre peu profonds mais sans roche (moins de 3 mètres de profondeur) peuvent être rendus étanches avec des pellicules de polyéthylène et de polypropylène peu coûteuses alors que les réservoirs plus profonds ou ceux qui sont construits sur des sols de pierre exigent des pellicules de vinyle ou de polypropylène renforcées plus épaisses et plus solides. Dans les deux cas, les pellicules devraient être protégées avec une couche de sol ou de gravier. En Europe et aux Etats-Unis, le caoutchouc butyle est de plus en plus utilisé pour le revêtement des parois des réservoirs, des chenaux et des citernes de stockage. Ce type de caoutchouc est solide, durable, à l'épreuve des intempéries et des parasites mais il est très coûteux.

Des matériaux à base de béton comme le sol stabilisé par du ciment, le ferrociment et la toile imprégnée de béton offrent des possibilités.

Un des problèmes rencontrés pour le revêtement des réservoirs est la stabilisation des berges de terre. Le sol est d'ordinaire instable sur les pentes supérieures à 1:3. Des pentes plus abruptes sont souhaitables pour maximiser le stockage, minimiser les pertes d'évaporation et empêcher les mauvaises herbes de s'implanter. Parmi les méthodes prometteuses de revêtement pour



FIGURE 48 . . . l'infiltration est ensuite tombée à 0,4 cm par jour. Après un "rappel" avec 200 kg de sels de sodium (33 mois après le traitement initial) ce faible taux d'infiltration a été maintenu dans la mare pendant cinq ans. (U.S. Department of Agriculture)

protéger des rives abruptes figurent l'utilisation de vieux pneus, le ferrociment, les mélanges ciment-sol sous sacs de plastique en forme de boudins (Figure 10-12, pp. 20-21). Des pentes quasiment verticales peuvent être construites avec des revêtement en boudin. Le sol local est mélangé avec une petite quantité de ciment et humidifié par le jeu de trous d'épingles percés dans le tube de plastique. Les boudins qui sont empilés étroitement sur place se tassent peu à peu.³⁵ Cette technique se prête aussi au revêtement des canaux et des fossés.

³⁵ Intermediate Technology Development Group, Ltd. 1969. (Voir ouvrages de référence.)

Avantages

Toute réduction de l'infiltration fournit de l'eau supplémentaire sans exiger un nouveau matériel ou de nouvelles installations et la plupart des méthodes n'interfèrent pas avec l'utilisation des retenues d'eau destinées aux loisirs, à la pêche, etc. Dans certaines régions, la réduction de l'infiltration empêche l'apparition de problèmes connexes comme l'imbibation et la salinification des sols environnants. Le revêtement des canaux atténue aussi les problèmes d'entretien et de lutte contre les mauvaises herbes.³⁶

En règle générale, la réduction des pertes par infiltration dans les réservoirs et les conduites est plus facile et plus économique que la réduction des pertes par évaporation (chapitre 7).

Limitations

Le principal inconvénient du contrôle des infiltrations est son coût.

Dans la plupart des méthodes l'entretien du revêtement est un problème constant car même des petits trous peuvent permettre à de grandes quantités d'eau de s'échapper, spécialement si le sol environnant est poreux.

Stade de développement

Le contrôle de l'infiltration est pratiqué dans les régions arides depuis le début de la civilisation. Toutefois, la plupart des techniques examinées dans le présent chapitre—y compris le recours aux sels de sodium, aux plaques plastique et au caoutchouc butyle—ont été employées ces 20 dernières années et sont commercialement disponibles. L'asphalte renforcé est à l'essai depuis environ 10 ans. L'utilisation de polypropylène bon marché est une découverte récente qui n'a pas encore fait l'objet d'essai ou d'utilisation extensible. Le ferrociment qui n'a pratiquement fait l'objet d'aucun essai à cette fin mais que l'on sait étanche, présente de grandes promesses car il peut être construit dans les pays en développement par de la main-d'oeuvre non qualifiée et à l'aide de matériaux disponibles localement.

Recherches et développement nécessaires

Il est indispensable de procéder à des essais généralisés sur le terrain, particulièrement dans les pays en développement à régions arides en vue

³⁶Pour une étude des problèmes que soulèvent les herbes aquatiques voir publications 11 et 21, pp. 151-152.

d'expérimenter et de comparer l'efficacité de différents systèmes et d'examiner les principes économiques de leur application.

De nouveaux matériaux plus économiques sont nécessaires car ils pourraient rendre possible le contrôle de l'infiltration dans le monde entier. A mesure que de nouveaux matériaux à membrane étanche deviennent disponibles, leur utilisation dans cette application devrait être évaluée.

Les améliorations apportées à l'étanchéité et la pose de barrières d'humidité souterraine (chapitre 12) pourraient constituer un grand pas en avant. Un film étanche pourrait être posé directement dans le sol où il serait à l'abri des dégâts mécaniques et des intempéries.

Ouvrages de référence

- Board on Science and Technology for International Development. 1973. *Ferrocement: Applications in Developing Countries*. National Academy of Sciences. Washington, D.C. (See publication 8, p. 151.)
- Boyer, D. G., and C. B. Cluff. 1973. An evaluation of current practices in seepage control. *Hydrology and Water Resources in Arizona and Water Resources in Arizona and the Southwest*. 2:125-51. Arizona Section of the American Water Resources Association, Tucson, Arizona. (Complete volume available from Water Resources Research Center, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA.)
- Intermediate Technology Development Group, Ltd. 1969. *The Introduction of Rainwater Catchment Tanks and Micro-irrigation to Botswana*. 74 p. (Pour l'adresse de l'ITDG, voir Références.)
- Kraatz, D. B. 1971. *Irrigation canal lining*. Irrigation and Drainage Paper Number 2. Water Resources and Development Service, FAO, Rome, 170 p.
- Myers, L. E., ed. 1963. *Seepage Symposium, Phoenix, Arizona, Proceedings*. Agricultural Research Service Report A.R.S. 41-90. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., USA. 180 p.
- Reginato, R. J.; L. E. Myers; and R. S. Nakayama. 1968. *Sodium Carbonate for Reducing Seepage from Ponds*. Report Number 7, U.S. Water Conservation Laboratory, A.R.S., U.S. Department of Agriculture, Phoenix, Arizona, USA. 6 p.
- Second Seepage Symposium, Phoenix, Arizona, Proceedings*. 1968. Agricultural Research Service, Report Number A.R.S. 41-147. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., USA, 150 p.
- The University of Arizona, Cooperative Extension Service and Agricultural Experiment Station. 1965. *How to Make a Plastered Concrete Water-Storage Tank*. Bulletin A-41. Tucson, Arizona, USA. 12 p.

Références

Dans certains pays, les fournisseurs de matières plastiques (et de matériel agricole) devraient avoir en stock des produits appropriés au revêtement des bassins et des conduites. Certains fournisseurs agricoles vendent aussi des sels de sodium et des sels phosphatés pour l'imperméabilisation des bassins. Les organismes suivants s'intéressent aux recherches dans ce domaine:

- Bamangwato Development Association, Radisele, Botswana
Doxiadis Ionides Associates, Ltd., Ripley, Surrey, England
Intermediate Technology Development Group, Ltd., Parnell House, 25 Wilton Road, London SW1V 1JS, England

REDUCTION DES PERTES PAR INFILTRATION

93

Water Resources and Development Service, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Via delle Terme di Caracalla, 00100, Rome, Italy

**Water Resources Research Center, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA
(C. B. Cluff)**

9 Ralentissement de l'évaporation des surfaces pédologiques

L'évaporation des surfaces pédologiques est la cause du gaspillage de grandes quantités d'eau—facteur important dans les régions arides où la faible humidité encourage substantiellement l'évaporation. De 25 à 50 pour cent de l'eau répandue sur une culture s'évapore à la surface du sol.³⁷

Cette perte peut être réduite et l'eau d'irrigation préservée en plaçant des barrières étanches ou des paillis à la surface du sol.³⁸ Dans de nombreux cas, ces barrières stabiliseront les sols meubles, arrêteront l'avance du désert, permettront une agriculture de ruissellement, faciliteront l'aménagement des terres ou réduiront l'accumulation de salinité.

La suppression de l'évaporation du sol conserve l'eau au lieu où son effet est le plus grand : dans la zone des racines de la plante. Dans une région aride, une faible économie d'eau peut être plus importante pour la survie d'une culture que d'importantes améliorations apportées à des stades antérieurs à l'approvisionnement en eau.

Méthodes

Quelques barrières d'humidité sol-surface se composent de matériaux non poreux comme le papier, l'asphalte, le latex, l'huile, la pellicule plastique ou l'enveloppe de métal mais une couche de 5 à 25 mm d'épaisseur de matériaux poreux peut aussi réduire sensiblement l'évaporation. L'eau et la vapeur d'eau se déplacent si lentement à travers un matériau sec et poreux que l'humidité du sol subsiste. Dans la pratique, les bons matériaux poreux sont les résidus

³⁷ Viets. 1966. p. 270. (Voir ouvrages de référence.)

³⁸ Ou en créant des paravents d'arbres, de grillages ou de plantes à taille élevée—méthode bien connue et très spécifique qui n'est pas examinée dans le présent rapport. (Voir aussi Figure 50)

de végétaux comme le paillis, la sciure de bois, l'écorce de bois ou les chardons de coton ainsi que le gravier, le sable ou les cendres.

Résidus végétaux

Planter directement dans les résidus permanents de la récolte antérieure est une manière de retarder l'évaporation (et réduire l'érosion) car les résidus et la surface dure du sol fournissent une meilleure barrière d'humidité que la surface meuble laissée après les labours. Cette méthode est connue sous le nom de labour minimum (Figure 49). Etant donné que les mauvaises herbes qui sont normalement enterrées par la charrue deviennent un plus grand problème avec cette méthode, un contrôle rigoureux des mauvaises herbes (au moyen d'herbicides ou du sarclage mais non pas au moyen de méthodes qui détruisent la surface du sol) est essentiel pour en assurer le succès. Parfois, la surface du sol peut être durcie suffisamment pour retarder la pénétration de l'eau et une rupture du sol en divers endroits peut s'avérer nécessaire pour humidifier suffisamment les racines.

Répançus sur le sol, les résidus végétaux comme le paillis et les chardons de coton retardent aussi l'évaporation. La conservation de l'eau et du sol est optimale lorsque les résidus couvrent 90 pour cent ou plus de la surface du sol. La quantité de résidus nécessaires pour ce faire est d'environ 1,5 tonne/ha dans le cas de paillis et 11 tonnes/ha pour les chardons de coton. Quant aux résidus répançus à la surface du sol, la réduction la plus forte dans l'évaporation se fait dans les 5 premiers millimètres d'épaisseur.

Couverture de gravier

L'infiltration de l'eau dans le sol et la conservation de l'humidité sont fortement améliorées par des couvertures de gravier même lorsque les couches ne dépassent pas 5 à 10 mm. Les couvertures réduisent l'érosion causée par le vent et l'eau; lorsqu'elles sont légèrement colorées elles refroidissent, lorsqu'elles sont légèrement assombries elles réchauffent le sol. Dans un environnement approprié, elles peuvent toutes deux favoriser la croissance des plantes.

Les principaux problèmes sont leur coût, la nécessité de redéposer périodiquement le gravier à la surface du sol et l'interférence des semis et des moyens de cultures mécanisés. Une machine mise au point pour creuser des bassins plastiques recouverts de gravier (chapitre 1) peut être utilisée pour séparer le gravier et le déposer au-dessus du sol lorsqu'elle passe.

Dans la région de Lanzarote (Iles Canaries) les cendres volcaniques noires sont répançues sur des champs de légumes et dans les vignobles et elles servent à supprimer avec succès l'évaporation (Figure 50).



FIGURE 49 Labour minimal au Texas (E.U.). Du sorgho à grain est planté des deux côtés d'une rangée de tiges de coton. Une fois récolté le sorgho, du coton sera planté entre les rangées de tiges de sorgho. (U.S. Department of Agriculture)

Couvertures de papier et de plastique

Les couvertures de papier et de plastique polyéthylène sont de nos jours utilisées sur une grande échelle pour contrôler les mauvaises herbes, accroître la température du sol et accélérer la germination et la croissance des plantes. Elles font de nos jours l'objet d'études approfondies pour voir s'il est possible de les utiliser spécifiquement en vue de retarder l'évaporation dans les régions arides (Figures 51 et 52). Les rendements de champs de maïs irrigués par unité d'eau évaporée et transpirée ont pratiquement doublé à l'occasion d'une expérience où le sol a été recouvert d'une pellicule de plastique, montrant que jusqu'à concurrence de la moitié de l'eau utilisée par un champs de maïs non recouvert peut se perdre par évaporation de la surface du sol.³⁹

Latex, asphalte ou couches d'huile

Le latex, l'asphalte et l'huile ont été essayés dans des situations désertiques particulières pour voir si l'on pourrait ainsi conserver l'humidité du sol, con-

³⁹Doss, et al. 1970. (Voir ouvrages de référence.)

centrer les précipitations (en créant un ruissellement) et supprimer suffisamment longtemps les mouvements des sables éoliens pour permettre aux plantes de croître.

Ces couvertures ont été utilisées commercialement pour créer une végétation dans les dunes de sable en Lybie, en Inde, et en Australie par exemple (Figures 53-55). En conservant la chaleur absorbée pendant le jour, elles peuvent maintenir le sol des déserts chauds pendant les nuits froides. Cela augmente les possibilités de survie des plantes dont les racines doivent autrement supporter chaque jour des fluctuations de température de grande amplitude.

Autres produits chimiques

Les silicones, oxydes polyéthylènes, mélanges de gomme polysaccharide, alcools gras, produits chimiques cationique, anionique et nonionique ont été expérimentés sans beaucoup de succès comme moyens pour supprimer l'évaporation.

Avantages

Les principaux avantages des couvertures sont qu'elles conservent l'humidité, réduisent l'érosion éolienne et hydraulique et accroissent les rendements agricoles, spécialement pendant les années sèches. Les couvertures qui augmentent la température du sol (plastique, asphalte, huile, graviers de couleur sombre et roches) accélèrent la germination et la croissance des semis dans les régions où les sols sont froids à l'époque de la plantation. Elles peuvent améliorer la qualité de certains fruits en les empêchant d'entrer en contact avec le sol. Les couvertures de plastique et d'huile peuvent être utilisées pour collecter les eaux d'écoulement dans les dépressions autour des plantes, constituant ainsi une forme d'agriculture par ruissellement (Figure 52).

Limitations

Pour la plupart des couvertures, le principal obstacle est le coût. Le traitement des sols avec des produits chimiques ou les revêtements de feuilles de plastique ne sont pas bon marché. Aujourd'hui, ces traitements ne se prêtent qu'à l'agriculture intensive à revenu élevé comme l'ananas et la fraise ou lorsqu'une caractéristique complémentaire comme la stabilisation des dunes de sable constitue un nouvel avantage économique substantiel. Les coûts des couvertures chimique et plastique peuvent aussi être justifiés dans des en-



FIGURE 50 Couverture de cendre à Lanzarote aux Canaries. Après que des éruptions volcaniques du 18^{ème} siècle ont couvert les champs de cendre, de nombreuses plantes ont prospéré. Les cendres préservent l'humidité pendant les mois sans pluie. Les murs semicirculaires de pierre et de cendre renforcent la protection contre le vent dont bénéficie ce vignoble. (Flip Schulke, Black Star (c) National Geographic Society)



FIGURE 51 Couverture biodégradable de papier recouvert de plastique. Dans le cadre d'expériences, les rendements des melons ont augmenté de 123 pour cent, le nombre total de melons a doublé et leur diamètre a augmenté de 12 mm environ. Le pourcentage de fruits commercialisables et le total des solides solubles par fruit n'ont pas changé. (W. N. Lipe)

droits où il est possible d'empêcher l'érosion du sol. Les prix sont subordonnés aux facteurs ci-après :

- disponibilité des ingrédients (par exemple, latex, huile, eau)
- topographie de la zone à traiter, besoin d'engrais et volume de préparation et de terrassement requis;
- disponibilité de machines et de personnel appropriés pour la préparation et le traitement de la région; et
- types de végétation implantée.

Le principal inconvénient des résidus végétaux comme les couvertures est leur durée de vie relativement courte. Ces résidus ont par ailleurs du mal à rester en place lorsque le vent souffle. D'autre part le plastique se dégrade lentement et peut interférer avec les semis de cultures ultérieures. Les couvertures de gravier et de roche ne sont pas déplacées par le vent et elles permettent la pénétration des eaux. Toutefois, leur installation peut s'avérer coûteuse et elles risquent d'interférer avec les activités de labour.



FIGURE 52 Ces “tabliers” plastiques sont étudiés afin de déterminer leur capacité de collecter les eaux de pluie (chapitre 2), de réduire l'évaporation, de supprimer les mauvaises herbes et de stimuler la croissance des semis arboricoles dans les régions arides. (FAO)



FIGURE 53 Stabilisation des dunes avec une épaisse couverture d'huile dans le désert de Rajasthan, en Inde. Ce processus a été appliqué pour la première fois en Lybie à 160 ha de bandes désertiques dans le désert du Sahara (voir aussi Figure 55). Les dunes contenaient de l'humidité jusqu'à 50 cm de profondeur. Après traitement on y a planté 60.000 eucalyptus dont 90 pour cent ont survécu à la plantation et ont continué de croître. Hauts d'un mètre lorsqu'ils ont été plantés, ces eucalyptus ont grandi de plus de 2 mètres pendant la première année. Du sable non stabilisé s'envolerait ou enterrerait les jeunes plants en découvrant leurs racines. (Exxon)

Stade de développement

Couvrir le sol de roche, de gravier et de résidus végétaux est une méthode utilisée depuis longtemps pour conserver l'humidité du sol. Néanmoins, ces possibilités ne sont pas toujours exploitées actuellement dans le monde. L'agriculture à labour minimal n'est considérée que depuis une époque récente comme une pratique culturale souhaitable. Les couvertures non poreuses—plastique, papier, huile, asphalte et latex—ont toutes été rendues



FIGURE 54 Consistance du sable stabilisé avec une couverture d'huile/latex. Une surface hermétique réduit les pertes d'évaporation et maintient le sable en place suffisamment longtemps pour que les plants s'accrochent bien. (International Synthetic Rubber Company, Ltd.)

possibles par les progrès techniques accomplis ces dix dernières années environ. Des essais sur le terrain d'une grande envergure commencent aujourd'hui à prouver leur valeur.

Recherches et développement nécessaires

Il importe avant tout de mettre au point des couvertures pour les pays en développement à régions arides surtout, particulièrement des couvertures qui maximisent l'utilisation des ressources locales. Des études sur les sujets ci-après sont également nécessaires pour les régions arides :



FIGURE 55 Deux années après le traitement expliqué à la Figure 54, les eucalyptus de 50 cm de haut quand ils ont été plantés, ont poussé de 1,5 à 3 mètres. Dans le désert de la Lybie, les couvertures protègent des milliers d'hectares de jeunes arbres nouvellement plantés contre l'avance du sable. (International Synthetic Rubber Company, Ltd.)

Epaisseur des couvertures

Toxicité éventuelle pour les plantes et les organismes du sol

Modifications du microenvironnement par des activités de labour

Amélioration du matériel requis pour créer et entretenir des couvertures de gravier.

Ouvrages de référence

- Adams, J. E. 1970. Effect of mulches and bed configuration. II. Soil temperature and growth and yield responses of grain sorghum and corn. *Agronomy Journal* 62:785-90.
- Arnon, I. 1972. *Crop Production in Dry Regions. Vol. 1: Background and Principles*. Barnes and Noble, New York, and Leonard Hill Books, London. 650 p.
- Doss, B. D.; C. C. King; and R. M. Patterson. 1970. Yield components and water use by silage corn with irrigation, plastic mulch, nitrogen fertilization, and plant spacing. *Agronomy Journal* 62:541-3.
- Fairbourn, M. L., and C. B. Cluff. 1974. Use gravel mulch to save water for crops. *Crops and Soils Magazine* April-May 1974.
- Gonzales, B. R., et al. "El Mulch" en los Cultivos Enarenados de Canarias. Instituto de Hidrologia, Centro de Estudios Hidrograficos, Comité Espanol de Riegos y Drenajes, Madrid, Spain.
- Greb, B. W. 1966. Effect of surface-applied wheat straw on soil water losses by solar distillation. *Soil Science Society of America Proceedings* 30:786-8.
- Hanks, R. J., and N. P. Woodruff. 1958. Influence of wind on water vapor transfer through soil, gravel, and straw mulches. *Soil Science* 86:160-64.

- Koshi, P. T., and D. W. Fryrear. 1971. Effect of seedbed configuration and cotton bur mulch on lint cotton yield, soil water, and water use. *Agronomy Journal* 63:817-22.
- Kowsar, A.; L. Boersma; and G. D. Jarman. 1969. Effects of petroleum mulch on soil water content and soil temperature. *Soil Science Society of America Proceedings* 33:783-6.
- Lippert, L. F.; F. H. Takatori; and F. L. Whiting. 1964. Soil moisture under bands of petroleum and polyethylene mulches. *American Society for Horticultural Science Journal* 85:541.
- Papendick, R. I.; M. J. Lindstrom; and V. L. Cochran. 1973. Soil mulch effects on seedbed temperatures and water during fallow in Eastern Washington. *Soil Science Society of America Proceedings* 37:307-14.
- Viets, F. G., Jr. 1966. Increasing water use efficiency by soil management. In *Plant Environment and Efficient Water Use*. American Society of Agronomy and Soil Science, 677 South Segoe Road, Madison, Wisconsin 53711, USA.

Références

- Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, Utah 84321, USA (R. J. Hanks)
- Agriculture Division, ARAMCO, Dhahran, Saudi Arabia (S. Labban)
- Department of Agronomy, College of Agricultural Sciences, Texas Tech University, Lubbock, Texas 79409, USA (H. E. Dregne)
- Department of Horticulture, University of Illinois, Urbana, Illinois 61801, USA (H. J. Hoppen)
- Department of Horticulture and Landscape Architecture, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (N. R. Oebker)
- Great Plains Field Station, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Mandan, North Dakota 58554, USA (W. Willis)
- Ministry of Agriculture, Tripoli, Libya (M. Thahny)
- U.S. Department of Agriculture, Southwestern Great Plains Research Center, Agricultural Research Service, Bushland, Texas 79012, USA (B. D. Stewart)
- Water Resources and Development Service, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Via delle Terme di Caracalla, 00100, Rome, Italy

10 Irrigation par filets d'eau

Les méthodes standard d'irrigation sont particulièrement "gourmandes" d'eau dans les régions arides car les vastes zones de sols humidifiés encouragent substantiellement l'évaporation (chapitre 9). Récemment mis au point, un nouveau système d'irrigation connu sous le nom d'irrigation par "filets d'eau" ou "goutte à goutte" utilise un réseau de tuyaux plastiques placés entre les plantes sur le sol ou en dessous du sol (Figures 56, 57). L'eau qui circule dans les tuyaux s'écoule goutte à goutte sur le sol à travers des exutoires situés près de chaque plante (Figure 58). Comme une petite superficie seulement de terre est arrosée les pertes par évaporation sont réduites au maximum. De plus, le rythme et l'horaire d'application de l'eau sont adaptés de manière à éviter un écoulement et à réduire au minimum les pertes par infiltration profonde.

L'irrigation par filets d'eau offre d'excellentes possibilités pour de nombreuses cultures d'irrigation dans les régions arides. Le système est déjà utilisé sur une grande échelle pour l'arboriculture, la viticulture et les cultures en lignes mais elle ne l'est guère encore pour les cultures en plein champ en raison de son prix de revient élevé. Le système laisse entrevoir d'excellents



FIGURE 56 L'irrigation par filets d'eau; on peut voir les zones humidifiées par des goutteurs individuels reliés à des tuyaux de plastique. (S. Davis)



FIGURE 57 Système d'irrigation par filets d'eau en Californie (E.U.). Les tuyaux amènent l'eau aux diffuseurs situés à côté des arbres. (F. K. Aljibury)



FIGURE 58 Diffuseurs d'eau pour l'irrigation. (F. K. Aljibury)

résultats pour la culture en pente ou sur zones rocheuses où le nivellement des terres en vue de l'irrigation conventionnelle est beaucoup trop onéreux.

Méthode

Dans l'irrigation par filets d'eau, de petites quantités d'eau sont appliquées à des intervalles réguliers en des points précis à proximité de chaque plante. Au-dessous de chaque point se forme une zone humide qui s'étend jusqu'aux racines de la plante. L'application peut être adaptée de manière à remplacer l'eau continuellement au fur et à mesure qu'elle est absorbée par la plante. Pour conserver l'énergie et minimiser les débits, les systèmes d'irrigation par filets d'eau sont normalement opérés à des pressions relativement basses (1-3 atmosphères).

Le matériel de base d'un système d'irrigation par filets d'eau se compose d'une vanne d'alimentation, d'une conduite principale, de tuyaux de transmission, de collecteurs d'échappement, de conduites latérales et de diffuseurs. La vanne, placée entre la principale source d'eau et le réseau de conduites se compose d'ordinaire de vannes de contrôle, d'accouplements, de filtres, de vis, d'horloges pointeuses, d'injecteurs d'engrais, de jauges, etc. Etant donné que l'eau passe à travers de très petits exutoires dans les diffuseurs, elle est contrôlée, filtrée (ou les deux) avant d'être distribuée au réseau de conduites.

Avantages

L'irrigation par filets d'eau remplace l'irrigation de surface dans certaines régions où :

- l'eau est rare ou chère,
- le sol est trop poreux ou trop imperméable pour permettre une irrigation gravimétrique (par immersion ou à la rigole),
- le nivellement du terrain est impossible ou très coûteux,
- la qualité de l'eau est mauvaise,
- le vent interdit l'irrigation par aspersion,
- la main-d'oeuvre qualifiée n'est pas disponible, ou
- la main-d'oeuvre d'irrigation est onéreuse.

L'irrigation par filets d'eau non seulement améliore l'efficacité de l'utilisation de l'eau mais encore permet d'exercer un contrôle beaucoup plus rigoureux sur l'emplacement et les quantités d'eau. La quantité d'eau peut être adaptée à la capacité d'absorption du sol ainsi qu'aux caractéristiques de la culture, à son stade de maturation et aux conditions climatologiques. Aussi, à la différence d'autres méthodes d'irrigation, l'irrigation par filets d'eau mini-



FIGURE 59 Tuyaux de plastique pour l'irrigation par filets d'eau utilisant l'eau d'une nappe aquifère géothermique saumâtre, Mashabei S'deh (Israël). A la différence d'autres méthodes d'irrigation, celle-ci peut facilement maintenir l'eau chaude avec les tuyaux isolés. L'eau chaude réchauffe le sol, stimulant la croissance des plantes en éliminant la froideur de la nuit dans le désert. (J. Schechter)

mise-t-elle la formation de retenues d'eaux dormantes qui peuvent favoriser la prolifération des moustiques et accroître les conditions d'imbibition et d'anaérobie du sol, lesquelles entravent la croissance des plantes.

Les coûts du matériel d'irrigation par filets d'eau doivent être évalués en fonction de la préparation onéreuse des terres (et de l'entretien continu du sol) souvent requis par la surface d'irrigation. Le nivellement du terrain ainsi que l'excavation des canaux et des tranchées pour la pose des conduites requièrent du matériel lourd, des opérateurs qualifiés et une vaste infrastructure; alors que le système d'irrigation par filets d'eau s'en passe. L'économie potentielle au niveau du prix de revient est importante.

Des engrais peuvent être appliqués directement au niveau des racines grâce au système à filets d'eau. La fertilisation par le système d'irrigation à filets d'eau encourage d'ordinaire une meilleure réaction de croissance des plantes. Le nombre et l'échéancier des applications requises sont toutefois incertains encore et à l'étude.

Etant donné que l'eau d'irrigation ne touche jamais les feuilles, les dégâts causés par le sel foliaire ne sont pas un danger avec l'irrigation par filets d'eau. A condition que les mécanismes de distribution de l'eau et du sel dans le sol soient appropriés, l'irrigation par filets d'eau peut être une bonne manière d'utiliser de l'eau d'irrigation de qualité médiocre (par exemple des eaux dont la salinité peut atteindre 2.500 mg de sel par litre; voir chapitre 3 et Figure 59).

De nombreuses maladies de feuilles et de tiges causées par l'humidité (mycoses par exemple) et encouragées par d'autres méthodes d'irrigation sont réduites au minimum ou combattues avec succès par l'irrigation à filets d'eau qui peut aussi contribuer à lutter contre les vecteurs pathogènes se développant dans des sols imbibés d'eau.

Comme l'eau de l'irrigation par filets d'eau n'a pas d'influence sur la surface, l'érosion du sol et l'incrustation de la surface qui empêchent la pénétration de l'eau sont d'ordinaire éliminées.

Limitations

Pour concevoir, installer et faire fonctionner un système d'irrigation par filets d'eau, il faut recourir à des aptitudes différentes de celles qui sont nécessaires pour d'autres systèmes. Les usagers éventuels qui ne sont pas familiarisés avec cette technique sont invités à consulter des spécialistes pour identifier les plans qui se prêtent le mieux à leur région. Malheureusement, des promoteurs agressifs ont fait au sujet de ce système de nombreuses déclarations fantaisistes. Toutes ces déclarations devraient être étudiées et analysées avec soin.

L'irrigation par filets d'eau s'est avérée très efficace pour l'arboriculture et la viticulture permanentes ainsi que pour les cultures pratiquées complètement sous couverture (chapitre 15). Dans de nombreuses situations types cependant, ce système peut être moins approprié que les méthodes conventionnelles.

L'irrigation par filets d'eau pose quelques problèmes techniques sérieux. Le principal problème est l'obstruction des diffuseurs par :

des précipités calcaires

des précipités ferreux

des algues

du limon, de l'argile ou du sable fin en suspension

Certains des problèmes d'obstruction peuvent être éliminés par le jeu d'une gestion, d'une infiltration et d'un traitement chimique soigneux mais cela majore les coûts d'exploitation. A l'heure actuelle, l'irrigation par filets d'eau ne peut être utilisée avec de l'eau contenant du fer. Les algues sont normalement éliminées par traitement chimique suivi d'un filtrage. Les méthodes d'élimination du sable fin, du limon, ou de l'argile ne sont pas encore au point particulièrement lorsqu'on rencontre de grandes quantités de matières en suspension. De plus, un contrôle soigneux pendant les phases de construction et d'entretien est essentiel si l'on veut arrêter les particules qui entrent dans le système.

Avec l'irrigation par filets d'eau tout comme avec les autres techniques, il est essentiel d'exercer un contrôle soigneux et de recourir aux conseils d'expert lorsqu'on utilise des eaux salines. Cela est particulièrement vrai dans les régions arides car l'évaporation peut provoquer l'accumulation en surface de sels qui endommagent les cultures lorsque les pluies les font descendre dans la zone des racines. De surcroît, une quantité d'eau insuffisante pour assurer le lessivage (chapitre 3) peut aboutir à une accumulation en profondeur de sels dans la zone des racines. Bien que les dangers de la salinisation du système d'irrigation par filets d'eau n'aient pas encore été quantifiés, ils paraissent être moins graves que ceux que présentent les autres méthodes d'irrigation.

L'irrigation par filets d'eau exige l'utilisation d'un matériel précis qui est certes disponible mais qui n'a pas encore fait l'objet d'une application à long terme. Particulièrement importants à cet égard sont les diffuseurs et les systèmes de filtrage.

Stade de développement

L'utilisation commerciale de l'irrigation par filets d'eau prend rapidement de l'ampleur. Quelque 15.000 ha sont sous irrigation par filets d'eau en Europe et la superficie augmente au moins de 25 pour cent ou plus chaque

année. Elle était en Californie de 60 ha en 1970, de 600 ha en 1971, de 8.000 ha en 1972 et de 16.000 ha environ en 1973. Ce type d'irrigation est utilisé essentiellement pour des cultures permanentes comme l'avocat, la fraise, la tomate (Figure 60) les agrumes, le noisetier, le raisin de qualité supérieure, soit sur des sols où la pénétration de l'eau est très lente soit dans des sols extrêmement poreux où elle est très élevée.

Le développement de l'irrigation par filets d'eau est très en retard sur celui des autres méthodes d'irrigation, et notamment sur l'aspersion. Bien qu'elle soit considérée comme une méthode nouvelle, l'irrigation par filets d'eau repose sur des concepts de base utilisés depuis le début du 20ème siècle par les pépinières cultivant des arbres fruitiers et des plantes de décoration.

Recherches et développement nécessaires

Il existe de nos jours des filtres relativement bons qui doivent cependant être améliorés si l'on veut réduire ou atténuer le problème de l'obstruction



FIGURE 60 Tomates irriguées par filets d'eau sur une exploitation agricole de légumes et de fruits de 500 ha près de Dakar (Sénégal). Bien qu'élevé, le coût est compensé par une économie d'eau estimée de 30 à 40 pour cent par rapport à d'autres méthodes d'irrigation, une diminution des mauvaises herbes (économie de temps et de main-d'oeuvre), une lutte plus facile contre les maladies et un accès plus facile entre les rangées. Des engrais sont injectés dans le système d'irrigation, ce qui permet d'économiser une grande partie des coûts engendrés par l'application ordinaire. (Bud Senegal)

des diffuseurs. Des diffuseurs à nettoyage automatique ont certes été conçus mais l'expérience n'en a pas encore démontré l'efficacité à long terme. Le problème consiste à concevoir des filtres bon marché et à entretien limité qui peuvent éliminer les précipités extrêmement fins, le sable, l'argile, le limon et les particules d'algues. A ce jour, aucun écran de filtre ou aucun dispositif de séparation ne peut satisfaire aux besoins de service souhaités.

Parmi les autres découvertes techniques qui restent à faire figurent :

- la mise au point de diffuseurs moins coûteux et plus durables;
- la création de tuyaux et de raccords simples et sûrs, en particulier d'un type à l'épreuve des rongeurs;
- l'élaboration de dispositifs et de systèmes d'automatisation peu coûteux et fiables, en particulier de capteurs de mesure de l'humidité du sol pour déterminer les besoins d'irrigation;
- la mise au point de dispositifs de régulation du débit et de la pression pour neutraliser les variations de pression dues à la topographie ou aux pertes de charge des conduites qui provoquent des débits d'écoulement différents dans tout le système.

On est encore loin de connaître tous les détails de l'irrigation par filets d'eau et de ses effets sur les cultures dans le champ. C'est pourquoi il conviendrait de procéder à des essais massifs sur le terrain de la méthode par filets d'eau et notamment :

- la réaction des cultures en une variété de sols, de plantes et de climats;
- le mouvement de l'eau et des corps dissous dans le sol;
- les effets de l'application d'engrais par le biais du système d'irrigation par filets d'eau;
- l'influence de l'irrigation par filets d'eau sur les maladies et les parasites spécifiques des plantes;
- la possibilité de protéger les plantes en les faisant asperger d'herbicides, d'algicides, de nématocides, de fongicides, etc. par le système d'irrigation; et
- les risques de salinisation en irrigation par filets d'eaux.

Ouvrages de référence

- Aljibury, F. K. 1973. Drip irrigation; practices and applications. *California Farmer*, 238 (12): 28 a, b, c.
- Bernstein, L., and L. E. Francois. 1973. Comparisons of drip, furrow and sprinkler irrigation. *Soil Science*, 115(1):73-86.
- European Commission on Agriculture, Working Party of Water Resources and Irrigation. 1973. *Trickle Irrigation*. Irrigation and drainage paper No. 14. Water Resources and Development Service, FAO, Rome. 153 p.
- Karmeli, D., and J. Keller. 1974. *Trickle Irrigation Design*. Rain Bird Sprinkler Corporation, Glendora, California, USA 120 p. (In press.)
- Keller, J., and D. Karmeli. 1974. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. (In press.)

Références

Un grand nombre d'entreprises dans le monde entier commencent à mettre sur le marché du matériel pour l'irrigation par filets d'eau. Le ministère de l'agriculture ou les services de vulgarisation agricole dans chaque pays devraient pouvoir fournir des informations à ce sujet. Les organismes suivants s'occupent de recenser les résultats des recherches:

Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, Utah 84321, USA (J. F. Alfaro and J. Keller)

Agricultural Engineering Department, Technion, Haifa, Israel (D. Karmeli)

Agricultural Extension Service, San Diego County, Bldg. 4, 5555 Overland Avenue, San Diego, California 92123, USA (C. D. Gustafson)

Agricultural Extension Service, University of California at Riverside, Riverside, California 92502, USA (A. W. Marsh)

Department of Soil, Water, and Engineering, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (D. D. Fangmeyer)

Polytechnisches Institut, 75 Karlsruhe 1, Postfach 6168, Germany (Dr.-Ing. W. Ständer)

Soil and Water Laboratory, Irrigation Department, Yotvata, Arava Desert, Israel (M. Shmueli)

Soils and Agricultural Engineering Department, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, University of California, Riverside, California 92502, USA (S. Davis)

Water Resources and Development Service, Land and Water Development Division, FAO, Via delle Terme di Caracalla, 00100, Rome, Italy

11 Autres méthodes nouvelles d'irrigation

En dehors de l'irrigation par filets d'eau (chapitre 10), il existe d'autres méthodes intéressantes et notamment des méthodes spéciales d'irrigation par aspersion et d'irrigation souterraine. Les Figures 61 à 68 en donnent des exemples précis.



FIGURE 61 Conduite à vanne qui fournit de l'eau en quantités mesurées d'un réservoir agricole ou d'une abyssinienne à une série de sillons (ou à une bordure). Ces conduites sont fabriquées en plastique (à plat ou rigide) en aluminium ou en autres matériaux légers et facilement portatifs. Les conduites remplacent les fossés et peuvent transporter de l'eau à travers des terrains accidentés, réduisant ainsi la nécessité de procéder à un nivellement des terres. Elles éliminent aussi les pertes en fossés, ce qui se solde par une économie considérable d'eau. (U.S. National Water Commission)

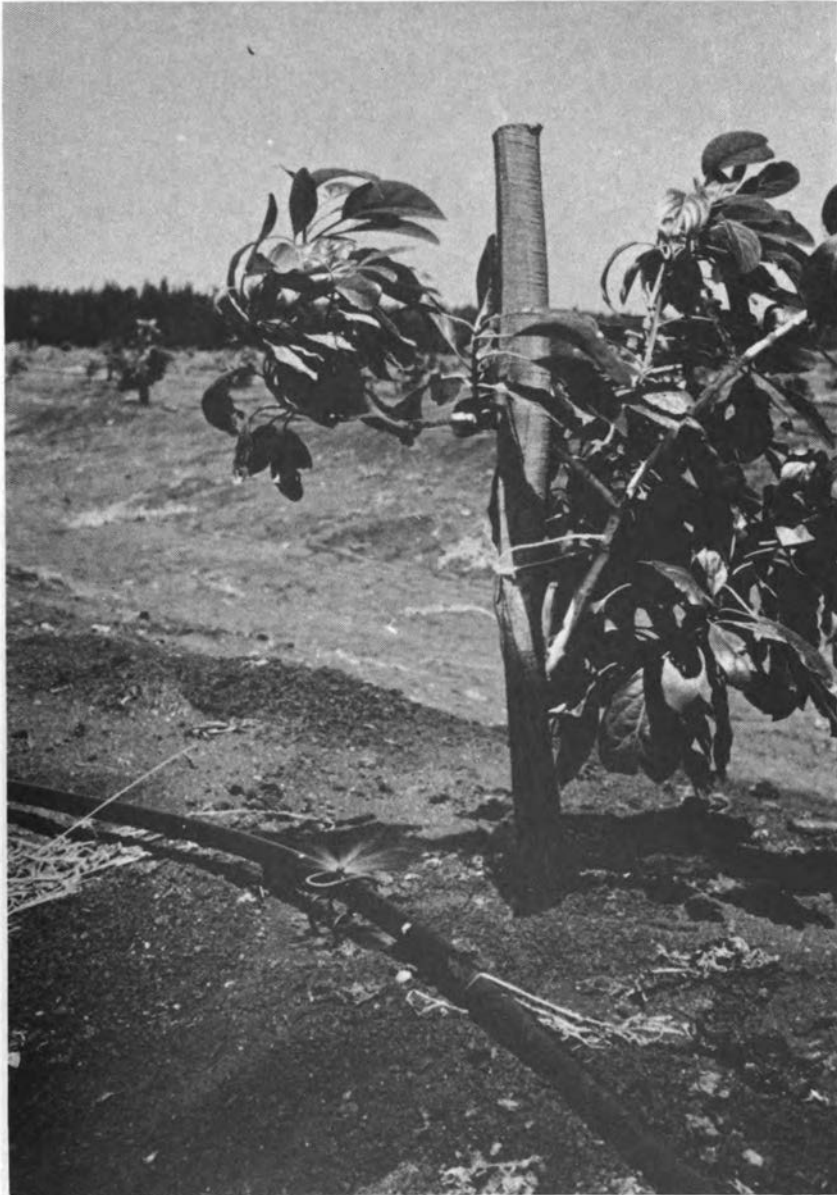


FIGURE 62 Irrigation par aspersion à canon fixe dans un verger. Cette méthode dont le concept et la structure sont similaires à ceux de l'irrigation par filets d'eau, exige un filtrage moins prononcé. Les pertes par évaporation sont plus élevées; les vents balayent les eaux pulvérisées et laissent sans eau certaines zones. Les grandes zones de sol humidifié peuvent accentuer les problèmes de mauvaises herbes et les feuilles risquent de subir des dégâts lorsque de l'eau de basse qualité (saline par exemple) est utilisée. (J. Keller)

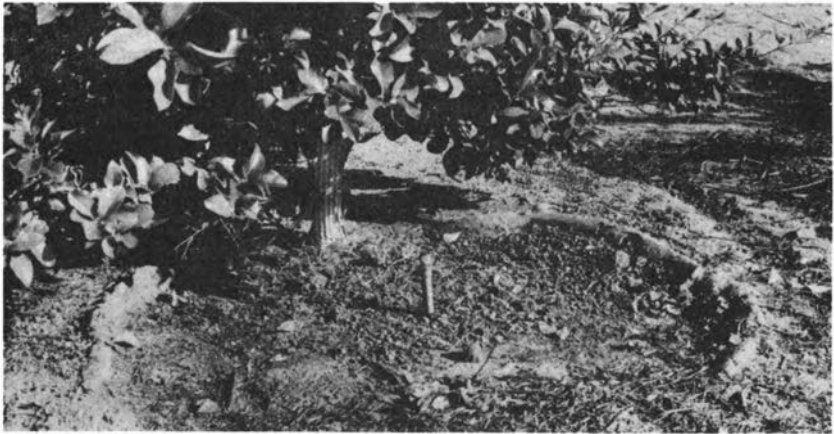


FIGURE 63 Cracheurs et barboteurs sont utilisés pour irriguer des champs d'agrumes dans certaines parties du Sud-Ouest des Etats-Unis. Le barboteur montré ici fournit de l'eau à un bassin conçu pour conserver l'eau près des arbres. L'eau qui ne requiert que peu ou pas de filtrage est pompée dans des conduites en plastique souterraines en vue de réduire les pertes de transport et elle est déchargée sous forme d'eau pulvérisée près de l'arbre. La méthode du bassin permet l'irrigation des pentes et des terrains accidentés. (USDA Soil Conservation Service)

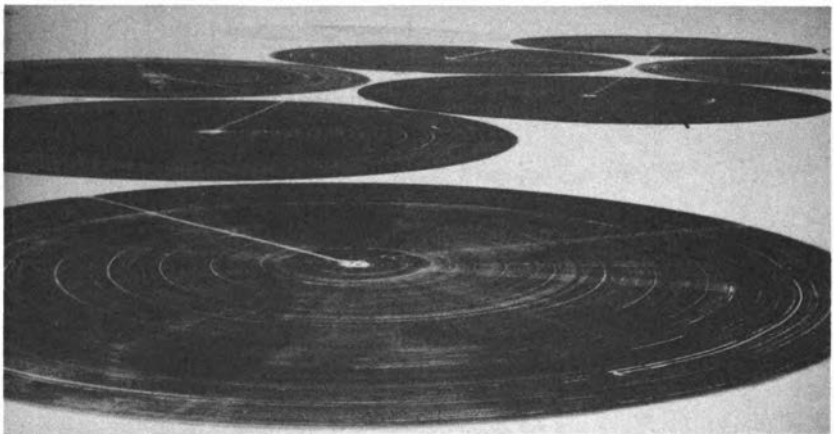


FIGURE 64 Système d'irrigation à pivot central à Kufra (Libye) au coeur du Sahara. De l'eau extraite d'une nappe aquifère souterraine par un puits au centre du cercle produit 4 récoltes de blé et d'orge et 12 récoltes de luzerne par an sur des terres qui n'avaient jamais supporté auparavant de vie végétale. Le pivot central est le système d'irrigation automatique le plus simple. Une conduite rigide pouvant atteindre 500 mètres de long est suspendue au-dessus de la culture sur des supports itinérants qui sont entraînés par des moteurs électriques ou hydrauliques et qui font tourner la conduite autour du pivot. Capable d'assurer une irrigation de qualité supérieure à l'aide d'un opérateur même non qualifié, ce système d'irrigation s'adapte parfaitement aux sols à prise d'eau élevée qui requièrent une irrigation fréquente. (D. Bayes)



FIGURE 65 Une conduite perforée fonctionnant à une pression d'une atmosphère environ représente un système d'irrigation approprié pour les sols qui absorbent rapidement l'eau. Les conduites en aluminium ou en plastique peuvent être facilement déplacées et reliées à une canalisation principale à faible pression. La conduite en plastique sur cette image est pliable (à plat) et peut être facilement enroulée. La pression gravimétrique est souvent suffisante de sorte qu'il n'est pas indispensable de recourir à des pompes. L'aménagement du terrain n'est quasiment pas nécessaire comme en témoigne l'image, et la méthode peut être utilisée sur un terrain en pente. Une eau relativement propre est indispensable. (Rhodesia Journal of Agriculture)



FIGURE 66 Taches d'humidité résultant de l'irrigation souterraine. Cette technique essentiellement expérimentale utilise les concepts de l'irrigation par filets d'eau mais les conduites sont enterrées dans le sol et l'eau est libérée au niveau des racines. Le débit est contrôlé de sorte qu'un minimum d'eau puisse atteindre la surface. Sur une surface sèche, l'évaporation est réduite, ce qui économise de l'eau, réduit la salinisation du sol et permet aussi l'utilisation d'une eau plus saline (l'effet de l'évaporation par concentration du sel est réduit). A l'image de l'irrigation par filets d'eau, le système est sujet à obturation des orifices, mais comme l'eau est libérée sous la surface, on risque de ne pas le remarquer à temps pour sauver la plante. (S. Davis)



FIGURE 67 Sous-irrigation dans la Vallée du San Luis au Colorado (Etats-Unis). Comme dans la Figure 66, cette méthode irrigue la zone des racines sans humidifier la surface du sol, mais elle fait remonter artificiellement la nappe aquifère dans la zone des racines. Dans la pratique, la nappe phréatique alimente des fossés latéraux. De petites barrières sont utilisées pour élever le niveau de l'eau dans le fossé; l'action capillaire fait remonter la nappe phréatique dans tout le champ. Comme l'approvisionnement en eau vient d'en dessous de la zone des racines, une très petite quantité d'eau seulement atteint la surface du sol; cela réduit l'évaporation, la salinisation et la germination des mauvaises herbes. (USDA Soil Conservation Service)



FIGURE 68 L'irrigation par cruche, nouvelle technique, utilise des cruches de terre cuite longues et vernies qu'il est possible de se procurer à très bon marché dans de nombreux pays en développement. La cruche est enfouie jusqu'au col dans le sol et remplie d'eau propre. Les semences de légumes sont plantées tout autour. Une quantité suffisante d'eau suinte à travers les parois poreuses de la cruche jusqu'à la zone des racines pour assurer la croissance de la plante. Des expériences faites en Inde ont permis de cultiver des melons et des citrouilles avec très peu d'eau (moins de 2 cm/ha pour toute la période de maturation de 88 jours). L'évaporation a été très faible, car il n'y avait aucune eau en surface. (Image et données fournies par R. C. Mondal, Central Soil Salinity Research Institute, Kamal, Punjab, India)

12 Réduction des pertes par infiltration

Parmi les divers types de sols agricoles, le sable est l'un des plus difficiles à dompter. Des millions d'hectares cultivables de sols sablonneux, disséminés aux quatre coins des régions arides, sont rarement utilisés pour l'agriculture en raison de leur faible productivité. Il arrive fréquemment que cette faible productivité soit due à l'impossibilité d'empêcher l'eau de s'infiltrer rapidement pour assurer la croissance des plantes. Les plantes qui croissent sur sol sablonneux exigent souvent une irrigation fréquente; dans de nombreuses régions arides, ce système n'est pas pratique, en particulier si les précipitations sont la seule source d'eau.

Des techniques ont été mises au point pour produire des barrières artificielles imperméables souterraines qui empêchent l'eau et les substances nutritives de s'infiltrer en deçà de la zone des racines. Une barrière imperméable bien conçue peut permettre de surmonter bon nombre des inconvénients hydrologiques des sols sablonneux. En conservant un plus grand volume d'eau dans la zone des racines, il est possible de créer un sol qui donne de bonnes récoltes (voir Figure 69).

Les barrières imperméables existent naturellement dans certains déserts où par exemple, le sable recouvre un sol de loess moins pénétrable et elles sont souvent révélées par la croissance d'une végétation sauvage luxuriante.

Méthode

Les barrières imperméables souterraines sont des pellicules continues de matériaux résistants à l'eau placées à près de 60 cm de profondeur avec des trous tous les 150 mètres environ pour le drainage.

Bien que la plupart des barrières aient été faites d'asphalte, tout matériau durable et imperméable peut en théorie être utilisé. Des feuilles de plastique ont été employées à cet effet en Afrique de l'Est;⁴⁰ des couches de terre ou de fumier riches en colloïdes ont été utilisées en Hongrie.⁴¹

⁴⁰ Gerakis et Tsangarakis. 1970. (Voir ouvrages de référence.)

⁴¹ Eggerszegi. 1964. (Voir ouvrages de référence.)



FIGURE 69 Rétention de l'eau au-dessus d'une barrière d'asphalte à 60 cm de profondeur dans un sol de sable fin. (A. E. Erickson)

La profondeur optimale de la barrière est fonction des caractéristiques de rétention d'humidité du sable. L'ampleur de la barrière est déterminée par des facteurs de drainage.

On peut poser une barrière en enlevant la couche arable, en plaçant la barrière à la main puis en recouvrant à nouveau la zone. Toutefois, des machines ont été construites qui installeront une barrière d'asphalte étanche sans nécessiter un travail de terrassement. Une large charrue uniforme tirée au travers du sol (à 50 ou 70 cm de profondeur) retourne le sol et pulvérise de l'asphalte dans l'évidement ainsi créé. L'asphalte durcit immédiatement en une couche étanche de 2 à 3 mm d'épaisseur avant que la terre ne soit remise en place.⁴²

Avantages

A la différence de nombreux autres sols, le sable a une surface suffisamment durable pour résister aux abus du labour et de l'agriculture; il permet

⁴²Erickson. 1972. (Voir ouvrages de références.)



FIGURE 70 Cannes à sucre plantées au printemps et irriguées en sillons sur un sol de sable fin à Formose. La canne à droite du piquet croît sur une barrière d'humidité. Après un an elle a produit 104 TM/ha contre 54,2 normalement. Le sol à barrière n'a requis que 90 mm d'irrigation, alors qu'il lui fallait 281 mm auparavant. (A. E. Erickson)

une absorption rapide des précipitations ou de l'eau d'irrigation; sa bonne capacité d'aération favorise le développement des racines et ses couches supérieures servent souvent de couvertures pour réduire les pertes par évaporation (chapitre 9). Lorsque sa faible capacité de rétention de l'eau est corrigée, le sable peut devenir extrêmement productif.

Une barrière imperméable donne au sol sablonneux une capacité de stockage équivalente à celle des meilleurs sols agricoles des régions tempérées. Aussi, les sols à barrière requièrent-ils une irrigation moins fréquente que les sols sans barrière et ils peuvent économiser de 50 à 75 pour cent de l'eau d'irrigation.⁴² Les barrières permettent aussi l'irrigation des sillons ou des bordures sur des sols sablonneux qui normalement ne pourraient pas être irrigués avec efficacité au moyen de ces méthodes. Dans une région côtière de Formose, une expérience a prouvé l'efficacité des barrières pour restreindre les remontées de sel dans la zone des racines.⁴³

⁴²Erickson. 1972. (Voir ouvrages de références.)

⁴³Wang, et al. 1969. (Voir ouvrages de références.)

Les sols sablonneux à barrière imperméable peuvent donner des rendements agricoles équivalents à ceux des meilleurs sols de la région et beaucoup plus élevés que ceux que l'on obtenait à l'origine. (Voir Figure 70.) Les différences de rendement entre les sols avec et sans barrière sont normalement fonction de la durée de la sécheresse pendant une saison donnée.

Des études sur le terrain ont montré que les barrières empêchent les engrais ainsi que l'eau de s'infiltrer au-dessous de la zone des racines.

A de nombreux égards, les barrières souterraines offrent des avantages similaires à ceux de l'irrigation par filets d'eau des sols sablonneux (chapitre 10). La méthode à utiliser en un endroit donné dépendra de facteurs tels que les cultures envisagées, la qualité de l'eau, les principes économiques et la préférence du cultivateur.

Limitations

De nos jours, le prix de revient des barrières souterraines imperméables est élevé en raison surtout du coût des matériaux à employer. Pour installer une barrière au moyen du système mécanisé coûte aux Etats-Unis de 625 à 750 dollars/ha; c'est pourquoi elle ne peut être utilisée que si la production agricole sur les terres marginales est absolument indispensable, si le sol ne peut être utilisé à aucune autre fin, s'il est possible de cultiver des plantes à haute valeur ou si la quantité d'eau disponible est limitée.

Les racines profondes pénètrent les barrières d'humidité mais ne contiennent pas à croître dans le sol sans eau en dessous d'elles. Les cultures à racines profondes, en particulier à racines pivotantes pourraient cependant réussir à perforer les barrières et à en réduire l'efficacité.

Le principal problème technique que soulève l'installation d'une barrière d'humidité est l'étanchéité des joints entre les couches successives. Cela est particulièrement vrai dans le cas des barrières posées au moyen de systèmes mécaniques.

Ou ne peut encore vraiment répondre à la question de savoir si la salinité s'accumule dans le sol en raison du retard de drainage causé par une barrière souterraine imperméable. Etant donné qu'aucune barrière construite à ce jour n'a été totalement étanche, le drainage a lessivé les sels (chapitre 3) et les a maintenus dans des limites acceptables. Dans certains cas cependant, une certaine quantité d'eau d'irrigation doit être affectée au lessivage seulement.

Stade de développement

Les chercheurs estiment que la mise au point des barrières souterraines d'humidité est telle qu'il est possible actuellement de les commercialiser. Des

expériences ont été faites sur le terrain avec des légumes et des céréales, avec et sans irrigation, en Egypte, en Afrique du Sud et au Swaziland; dans des régions humides et sèches des Etats-Unis et avec du riz et de la canne à sucre à Formose.

Dans les conditions actuelles, les barrières souterraines imperméables peuvent être installées à bon marché dans de nombreuses régions du monde, mais seulement pour les cultures à rendement économique élevé. Compte tenu de la nécessité de plus en plus urgente de conquérir de nouvelles terres et de nouveaux plans d'eau, cette technique pourrait s'avérer de plus en plus précieuse pour produire davantage d'aliments sur des sols sablonneux jusqu'ici improductifs.

Recherches et développement nécessaires

Un autre effort est nécessaire pour réduire les coûts, sans doute en mettant au point de nouveaux matériaux peu coûteux.

On ne prévoit aucun risque sérieux d'accumulation de sel si l'eau est bien administrée, mais d'autres travaux sont nécessaires pour régler cette question.

Ouvrages de référence

- Brunstrum, L. C.; L. E. Ott; and T. L. Speer. 1967. Increasing crop yields with underground asphalt moisture barriers. In *Proceedings of the Seventh World Petroleum Congress*. American Elsevier Publishing Co., New York.
- Egerszegi, S. 1964. Plant physiological principles of efficient sand melioration. In *Proceedings of the Eighth International Congress of Soil Science*. p. 611-18. Available from Secretary General, International Society of Soil Science, c/o Royal Tropical Institute, 63 Mauritskade, Amsterdam, The Netherlands.
- Erickson, A. E. 1972. Improving the water properties of sand soil. In *Optimizing the Soil Physical Environment Toward Greater Crop Yields*, ed., D. Hillel, Academic Press, New York.
- Erickson, A. E.; C. M. Hansen; and A. J. M. Smucker. 1968. The influence of subsurface asphalt barriers on the water properties and the productivity of sand soils. In *Transactions of the Ninth International Congress of Soil Science, Adelaide, Australia* 1:331-7. (Copies peuvent être obtenus de A.E. Erickson; voir Références.)
- Gerakis, P. A., and C. A. Tsangarakis. 1970. Underground mulches in central Sudan. *East African Agriculture and Forestry Journal* 35:254-6.
- Rao, K. V. P., et al. 1972. Impervious layer, a technique to increase irrigation efficiency. *Indian Farming* 22(4):36-37.
- Saxena, G. K.; L. C. Hammond; and H. W. Lundy. 1967. Response of several vegetable crops to underground asphalt moisture barrier in Lakeland fine sand. *Florida State Horticultural Society Proceedings* 80:211-17.
- Sumner, M. E. 1971. Asphalt, the new treatment for sandy soils. *Farming South Africa* 46(10):38-39.
- Wang, C. C.; K. Y. Li; C. C. Yang; and F. W. Ho. 1969. *The Effect of Asphalt Barriers on the Moisture and Sugarcane Fields of Sand Soils*. Taiwan Sugar Experiment Station Research Report No. 5. (Address: Tainan, Taiwan.)

Références

- AMOCO, Moisture Barrier Co., 200 East Randolph Drive, Chicago, Illinois 60601, USA. (W. O. Frazier)
- Arizona Agricultural Experiment Station, Yuma, Arizona 85364, USA. (B. Gardner)
- Crop and Soil Science Department, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824, USA. (A. E. Erickson)
- Department of Agricultural Engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur, West Bengal, India.
- Department of Agronomy, University of Florida, Gainesville, Florida 32601, USA. (L. C. Hammond)
- Department of Soil Science, University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa. (M. E. Sumner)
- Research Institute of Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Science, Budapest, Hungary. (S. Egerszegi)
- Taiwan Sugar Experiment Station, Tainan, Taiwan. (C. C. Wang)

13 Réduction de la transpiration

A peine 1 pour cent de l'eau absorbée par les racines reste dans les cellules de la plante; les autres 99 pour cent passent à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. Ce processus, appelé transpiration, diffère de l'évaporation en ce sens qu'il se produit sur des tissus vivants et qu'il est influencé par la physiologie de la plante. Un hectare de végétation peut transpirer jusqu'à plus de 94.000 l d'eau par jour. Si l'on arrivait à trouver une manière pratique de réduire la transpiration, on parviendrait à réaliser d'énormes économies d'eau, surtout en région aride.

Méthodes

Les pertes par transpiration peuvent être réduites comme suit :

- la destruction des phréatophytes indésirables (plantes qui transpirent efficacement). Les phréatophytes, comme le cèdre et le mesquite, ont souvent des racines qui pénètrent les eaux souterraines à de grandes profondeurs. Les pertes souterraines ainsi causées sont difficiles à chiffrer mais, dans la région semi-aride de l'ouest des Etats-Unis, on a estimé que les phréatophytes couvrant 6 millions d'hectares provoquent une perte totale de plus de 25 milliards m³ d'eau chaque année;⁴⁴
 - cultures de variétés végétales qui transpirent moins (chapitre 14);
 - enveloppement des cultures dans une structure (chapitre 15) de sorte que l'eau transpirée puisse être collectée et réutilisée ou de sorte que l'humidité monte et retarde le processus de transpiration;
 - réduction du mouvement de l'air au-dessus d'une culture, en installant, par exemple, des parevents de rangées alternées de plantes plus grandes.
 - élimination des feuilles non productives, manuellement ou à l'aide de défoliantes. Dans les cultures comme le blé et l'orge, les feuilles supérieures contribuent le plus au développement du grain. L'élimination des feuilles inférieures, si elle a lieu en temps voulu, peut réduire les pertes d'eau par transpiration tout en limitant au maximum les pertes de grain.
 - utilisation d'antitranspirants chimiques.

⁴⁴Robinson. 1952. (Voir ouvrages de référence.)

L'eau transpirée quitte la plante par les stomates—pores à la surface de la feuille par lesquelles passent du bioxyde de carbone, l'oxygène et l'eau. Des antitranspirants sont appliqués sur les surfaces porteuses de stomates (d'ordinaire, les stomates sont concentrés à la surface inférieure de la feuille) pour empêcher le passage de l'eau. Bien qu'il s'agisse d'une technique naissante, les antitranspirants actuels ont réussi à réduire les pertes de 40 pour cent dans le cadre de certaines expériences (Figure 71). La fréquence d'aspersion dépend de la durabilité de l'antitranspirant et du rythme auquel les nouvelles feuilles apparaissent. Les données que l'on possède actuellement montrent que la plupart des antitranspirants peuvent conserver leur efficacité pendant une à quatre semaines, mais leur effet persiste pendant plusieurs mois.

Les antitranspirants chimiques ont pour effet :

- d'obturer les stomates;
- de former une pellicule au-dessus des stomates; ou
- de refroidir la feuille au moyen d'une couche réfléchissante qui réduit la quantité d'énergie solaire absorbée.

Obturation des stomates

L'ouverture et la fermeture des stomates sont causées par deux types de cellule hautement spécialisés qui entourent l'ouverture. Plusieurs produits chimiques peuvent empêcher leur ouverture complète, réduisant ainsi la perte de vapeur d'eau de la feuille. Les plus prometteurs de ces dispositifs d'inhibition sont certains acides alkenylsucciniques et l'acide abscisique.

Formation de pellicules

Les feuilles peuvent être recouvertes de pellicules qui forment des barrières transparentes à l'échappement de la vapeur d'eau. Les matériaux essayés comme antitranspirants comprennent l'alcool cétylique, les silicones, la cire, le latex et les plastiques. Ces matériaux réduisent la transpiration, mais on n'a pas encore trouvé de matériau qui soit :

- non toxique tant pour les plantes que pour les animaux;
- plus perméable au bioxyde de carbone et à l'oxygène que la vapeur d'eau, afin de ne pas ralentir le métabolisme de la plante;
- hautement perméable aux longueurs d'onde de la lumière qui encourage le plus la photosynthèse;
- suffisamment flexible pour permettre le mouvement et la croissance des feuilles;
- résistant à la dégradation photochimique, aux microorganismes et aux contraintes physiques; et
- économiquement attrayant.



FIGURE 71 Deux betteraves sucrières identiques, l'une traitée avec un antitranspirant, ont été irriguées à saturation puis laissées sans eau. Trois jours plus tard la plante traitée conserve encore son humidité et sa turgescence. L'autre a dépéri. (R. M. Hagan)

Matériaux réfléchissants

Les matériaux réfléchissants appliqués sur les feuilles réduisent l'énergie solaire absorbée et abaissent la température de la feuille, ce qui réduit donc la transpiration. Les matériaux réfléchissants ne doivent normalement pas bloquer les pores stomataux en dessous de la surface des feuilles; ils entravent moins le transfert de l'oxygène et du bioxyde de carbone que les autres antitranspirants chimiques.

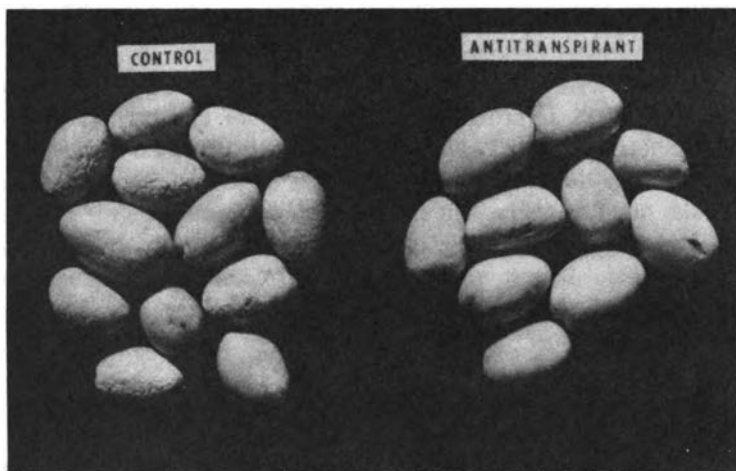


FIGURE 72 La pulvérisation d'un antitranspirant avant la récolte réduit le dessèchement des olives. Au cours d'une expérience effectuée en octobre 1971 en Californie, des vents violents ont desséché la plupart des fruits d'un olivier non traité dont 15 pour cent seulement étaient de qualité commerciale contre 90 pour cent pour ceux des oliviers traités aux antitranspirants. (R. M. Hagan)

Avantages

En réduisant la transpiration on réduit le besoin d'eau des plantes, permettant à certaines de croître dans des régions arides où l'approvisionnement est souvent insuffisant. Même une légère réduction de la transpiration se solde par une économie considérable d'eau, puisque la plupart de l'eau absorbée par une plante est normalement transpirée et que la plante est le point du circuit le plus efficace pour économiser l'eau. Toute économie dans la plante équivaut à une plus grande économie aux stades antérieurs en raison des pertes de stockage, de transport, de distribution et d'application au système d'irrigation.

Une légère réduction de la transpiration peut donc améliorer les rendements ainsi que la qualité de certaines fleurs et de certains fruits dont la teneur en humidité et en jus est plus élevée (Figure 72).

Limitations

Les chapitres 14 et 15 traitent des limitations à la réduction des pertes d'eau par transpiration, obtenue soit en reproduisant les plantes qui transpirent moins, soit en les enveloppant dans une structure. La destruction des

phréatophytes est une question très controversée, car elle risque de bouleverser l'environnement toujours fragile des régions arides.

Les stomates servent à l'entrée du bioxyde de carbone (indispensable pour la photosynthèse et la croissance); c'est pourquoi une barrière chimique contre les pertes d'eau peut réduire la croissance des plantes si elle entrave par ailleurs le passage du bioxyde de carbone. Les antitranspirants chimiques et les pellicules que l'on trouve aujourd'hui sur le marché limitent le passage du bioxyde de carbone et sont donc les plus utiles lorsque la conservation de l'eau est à ce point importante que la croissance maximale des plantes peut être sacrifiée comme le cas des phréatophytes sauvages ou des plantes destinées à l'aménagement des paysages, des pelouses et des bordures d'auto-
routes.

Certains antitranspirants abîment les cellules végétales. De nombreux matériaux pour l'obturation des stomates, même en solution à très faible densité, sont toxiques pour certaines espèces végétales et doivent être utilisés avec prudence. Leurs effets sur la vie animale n'ont pas encore été étudiés en détail.

La transpiration normale refroidit la plante. Les produits chimiques qui forment des pellicules et obturent les stomates peuvent avoir un effet nocif sur la croissance des plantes car ils tendent à croître légèrement la température des feuilles.

Les antitranspirants actuels affectent seulement la surface de la feuille où ils sont appliqués et, partant, n'ont guère d'utilité pour les cultures à croissance rapide dont la surface des feuilles grandit rapidement.

Stade de développement

La réduction de la transpiration est de nos jours essentiellement au stade expérimental. Bien qu'elles présentent d'excellentes possibilités, les recherches de base sur les antitranspirants ont été jusqu'ici très partielles et peu encourageantes aux fins d'une utilisation généralisée. Toutefois, les antitranspirants peuvent être employés lorsque le retard dans la croissance de la plante est acceptable.

Au début du siècle, pépiniéristes et forestiers plongèrent de jeunes plantes dans de la cire ou dans des émulsions d'huile cireuse pour empêcher qu'elles dépérissent et partant, prolongèrent le taux de survie de leurs plantations. Plus récemment, aux Etats-Unis, les antitranspirants ont été

- pulvérisés expérimentalement sur une forêt pour accroître l'écoulement des bassins hydrographiques;
- appliqués à des phréatophytes pour réduire les pertes d'eau des retenues souterraines;

- pulvérisés sur les plantes le long des autoroutes où l'irrigation est dangereuse et onéreuse;
- utilisés avec succès pour accroître la taille et le rendement des fruits de verger en pulvérisant les arbres juste avant la récolte lorsque la taille dépend davantage de la teneur en humidité que de la croissance végétative; et
- utilisés pour réduire le dessèchement des plantes, particulièrement lorsque les sols sont gelés.

Des matériaux réfléchissants ont été essayés sur les artichauts en Israël et ce, avec un certain succès. Le pourcentage de boutures réussies a considérablement augmenté; la croissance végétative s'est améliorée et des rendements supérieurs ont été obtenus.

Recherches et développement nécessaires

La recherche et le développement devraient être orientés sur les points suivants :

- mise au point d'antitranspirants assurant une réduction maximale de la transpiration et une réduction minimale de la photosynthèse. De récents travaux de recherche ont permis dans une grande mesure d'élucider le mécanisme du contrôle naturel des stomates, mais les interactions de tous les facteurs affectant le mouvement des stomates devraient faire l'objet d'études complémentaires.
- détermination des concentrations optimales et des méthodes d'application.
- étude des divers usages possibles de ces matériaux.

Des recherches sont également nécessaires pour améliorer l'application des antitranspirants aux surfaces des feuilles, spécialement aux surfaces inférieures qui sont difficiles à couvrir. Les techniques de pulvérisation du sol et de l'air mises au point pour les pesticides pourraient s'avérer utiles et l'utilisation d'un système de pulvérisation à gouttelettes à charge électrostatique pourrait améliorer la couverture des surfaces inférieures (la charge électrostatique des gouttelettes les étend à la surface des feuilles).

Des recherches sur la réduction de la transpiration au moyen de matériaux réfléchissants pourraient être rentables.

Un autre objectif des recherches consiste à mettre au point un suppressant systémique de la transpiration, c'est-à-dire un suppressant qui est absorbé par la plante et déplacé intérieurement vers le stomate. Cela garantirait une couverture uniforme des feuilles et protégerait la croissance des nouvelles feuilles. Il n'a pas été possible d'y parvenir à ce jour, bien que l'acide abscisique (qui

obture le stomate) dans l'eau d'un vase de fleurs coupées réduit la perte d'eau des feuilles.

Des recherches chimiques sont nécessaires pour synthétiser les analogues de l'acide abscisique et autres composés bon marché qui permettraient une utilisation généralisée de la méthode d'obturation des stomates.

Des recherches sur l'utilisation des antitranspirants pour réduire les contraintes d'humidité pendant les phases de croissance critiques (transplantation et germination) contribueraient à prolonger la survie de la plante dans des conditions arides.

Ouvrages de référence

- Abou-Khaled, A.; R. M. Hagan; and D. C. Davenport. 1970. Effects of kaolinite as a reflective antitranspirant on leaf temperature, transpiration, photosynthesis, and water-use efficiency. *Water Resources Research* 6:280-89.
- Brooks, K. N., and D. B. Thorud. 1971. Antitranspirant effects on the transpiration and physiology of Tamarisk. *Water Resources Research* 7:499-510.
- Davenport, D. C.; R. M. Hagan; and P. E. Martin. 1969. Antitranspirants research and its possible application in hydrology. *Water Resources Research* 5:735-43.
- Davenport, D. C.; K. Uriu; P. E. Martin; and R. M. Hagan. 1972. Antitranspirants increase size, reduce shrivel of olive fruits. *California Agriculture* 27(7):6-8.
- Davenport, D. C.; K. Uriu; and R. M. Hagan. 1973. Effects of film antitranspirants on growth. *Journal of Experimental Botany*. (In press)
- Gale, J., and R. M. Hagan. 1966. Plant antitranspirants. *Annual Review of Plant Physiology* 17:269-82.
- Gale, J., and A. Poljakoff-Mayber. 1967. Plastic films on plants as antitranspirants. *Science* 156:650-52.
- Jones, R., and T. A. Mansfield. 1970. Suppression of stomatal openings in leaves treated with abscisic acid. *Journal of Experimental Botany* 21:714.
- Parkinson, K. J. 1970. The effects of silicone coatings on leaves. *Journal of Experimental Botany* 21:566.
- Robinson, T. W. 1952. Phreatophytes and their relation to water in western United States. *Transactions, American Geophysical Union* 33:57-61.
- Zelitch, I. 1969. Stomatal control. *Annual Review of Plant Physiology* 20:329-50.

Références

- Agricultural Research and Education Center, University of Florida, P.O. Box 1088, Lake Alfred, Florida 33850, USA (L. G. Albrigo)
- Agricultural Research Institute, Rayack, Lebanon (A. Abou-Khaled)
- Agricultural Research Organization, The Volcani Center, P.O.B. 6 Bet Dagan, Israel (G. Stanhill)
- Department of Botany, Hebrew University, Jerusalem, Israel (J. Gale)
- Department of Chemical Engineering, University of Colorado, Boulder, Colorado 80302, USA (F. Keith and A. Taori)
- Department of Forestry, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin 53706, USA (T. T. Kozlowski)
- Department of Water Science and Engineering, University of California at Davis, Davis, California 95616, USA (R. M. Hagan and D. C. Davenport)
- Department of Watershed Management, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (D. B. Thorud)

14 Choix et exploitation des cultures en vue d'une utilisation plus rationnelle de l'eau

La plupart des plantes cultivées sous irrigation dans les régions arides ont été importées de régions plus tempérées où une utilisation rationnelle de l'eau n'est pas nécessaire. Certaines peuvent exiger plus de 2.000 kg d'eau pour produire un kilo de matière sèche utilisable. Etant donné que l'on ne s'est guère préoccupé (lors de la sélection et de la reproduction des cultures alimentaires, du fourrage et des cultures industrielles) d'utiliser moins d'eau par unité de produit, de nombreuses recherches restent à faire dans ce domaine. En un même temps, une sélection judicieuse des pratiques culturales ne peut que contribuer sensiblement à améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau.^{4 5}

Méthodes

Choix des plantes pour l'utilisation rationnelle de l'eau

Un programme de sélection visant à mettre au point des variétés à utilisation agricole dans des conditions arides peut être abordé (1) en choisissant des plantes sauvages qui survivent aujourd'hui dans des conditions désertiques et en les utilisant comme cultures vivrières ou cultures de rapport; ou (2) en choisissant des plantes à utilisation rationnelle d'eau d'une vaste gamme de cultures déjà domestiquées comme l'orge, le melon, le sorgho, le petit-mil et les haricots et en les utilisant dans des programmes de sélection. Bon nombre de nos cultures de base actuelles semblent avoir pour origine un climat aride ou semi-aride, ce qui semble indiquer que des génotypes appropriés devraient être disponibles. Bien que les plantes désertiques ne doivent pas être ignorées,

^{4 5} Bon nombre des autres chapitres du présent rapport traitent de cette question. Le présent chapitre examine quelques sujets spécifiques qui ne sont pas étudiés par ailleurs.

les meilleures candidates parmi les plantes très utiles à faible besoin en eau semblent être les plantes déjà domestiquées.

La sélection peut souvent se fonder sur une observation visuelle des variétés qui survivent avec un approvisionnement en eau marginal mais diverses caractéristiques peuvent être employées pour guider la sélection de variétés prometteuses. Les catégories suivantes semblent les plus intéressantes :

- Les plantes qui croissent en saison fraîche lorsque les taux d'évaporation sont plus bas (la laitue par exemple).
- Les plantes à croissance rapide (mais sans besoin d'eau accru) qui raccourcissent le temps pendant lequel l'eau est perdue par transpiration et évaporation.
- Les plantes à rendement élevé qui n'exigent aucune augmentation considérable d'eau, par exemple, les variétés de blé à tige courte mises au point au Mexique et qui ont un rendement supérieur de deux à trois fois à celui des anciennes variétés sans pour autant accroître la demande d'eau et qui peuvent doubler ou tripler l'efficacité de l'eau.
- Les plantes à faibles pertes par transpiration (chapitre 13). L'agave et l'ananas, par exemple, ferment leurs stomates pendant la journée lorsque les pertes d'évapotranspiration sont les plus élevées; elles consomment moins d'eau que les plantes qui ouvrent leurs stomates pendant la journée. La sélection ou la reproduction de plantes destinées à accroître la fermeture des stomates pendant le jour pourraient réduire les pertes. Une autre solution consiste à sélectionner des espèces dont les stomates sont placés, distribués ou structurés de manière à transpirer moins. Par exemple, les plantes dont la plupart des stomates se trouvent à la surface inférieure de la feuille transpirent normalement moins que les plantes dont les stomates sont répartis des deux côtés. La position, la taille et la forme des feuilles peuvent également jouer un rôle important. Les plantes à feuilles hautes et ouvertes se prêtent parfaitement à l'absorption de la chaleur du soleil et transpirent plus rapidement que les plantes dont les feuilles sont plus basses et plus compactes.
- Les plantes qui peuvent tolérer une eau de qualité inférieure (eau salée, par exemple)(chapitre 3).

La sécheresse est sans aucun doute le facteur écologique le plus important qui influe sur la croissance des plantes en région aride. Les pluies très faibles des régions arides sont intermittentes et imprévisibles; toute culture en terres arides doit survivre à la sécheresse. Diverses caractéristiques (racines profondes et bien embranchées) peuvent être utilisées comme guide de sélection des plantes qui résistent à la sécheresse, mais la physiologie de base de résistance à la sécheresse dans les plantes est complexe et n'a pas fait l'objet de nombreuses études.

Exploitation des plantes en vue d'une utilisation plus rationnelle de l'eau

Dans les régions arides, l'approvisionnement en eau n'est pas souvent le principal facteur de rendement d'une culture. Parfois, l'environnement est la principale cause des lacunes d'utilisation de l'eau. Par exemple, une fertilisation insuffisante, une lutte inadéquate contre les insectes ou les maladies, une mauvaise technique culturale et une quantité exagérée de mauvaises herbes réduisent le rendement et abaissent l'efficacité de l'eau. L'exploitation agricole qui accroît la production accroît aussi l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

Les pratiques culturales doivent traduire l'importance que joue le système des racines de la plante pour extraire la rare humidité des sols arides. Les pratiques qui accroissent le volume des racines du sol amélioreront les rendements et l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Par contre, les pratiques qui empêchent les racines de se développer peuvent avoir des effets nuisibles dans des régions arides même si elles sont couronnées de succès dans les climats tempérés.

Les populations végétales doivent être suffisamment importantes pour permettre l'utilisation complète de l'humidité disponible sans pour autant en réduire leur rendement. Etant donné que la variabilité des précipitations ne permet pas de prédire facilement l'humidité qui sera disponible pendant la saison de maturation, la sélection d'une taille optimale est difficile. Les pratiques culturales qui se soldent par un surpâturage réduisent l'efficacité de l'utilisation de l'eau en limitant la profondeur et la ramification des racines. Une partie de la réduction du rendement constaté sur les prairies où le pâturage a été excessif peut être due à une absence de végétation suffisante pour conserver la pluie et la neige qui tombent. C'est pourquoi les pratiques de gestion des pâturages et des prairies qui minimisent l'écoulement et maximisent l'infiltration utilisent les précipitations disponibles avec plus d'efficacité.

La culture en sillons conformes aux courbes de niveau accroît l'infiltration des précipitations et réduit les pertes d'eau et de sol. Un contrôle exhaustif des mauvaises herbes dans les opérations de mise en jachère facilite le stockage de l'eau en éliminant les pertes de transpiration (chapitre 13). Le fait de laisser les résidus des cultures jouer le rôle de couvertures permet souvent de conserver de l'eau en réduisant l'écoulement et en accroissant l'infiltration. Cette couverture réduit aussi les pertes par évaporation (chapitre 9).

Le jour où une culture est plantée influence l'efficacité de l'utilisation de l'eau. En règle générale, il est préférable de planter le plus tôt possible, car les plantes peuvent utiliser l'humidité accumulée pendant l'hiver et tirer parti du climat frais et partant, abaisser les taux d'évapotranspiration.

Avantages

Le fait d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau par la plante économise l'eau au stade le plus efficace, c'est-à-dire à l'extrémité du réseau d'approvisionnement et de fourniture en eau. Une économie de 20 pour cent ici peut être l'équivalent d'une économie beaucoup plus grande dans l'approvisionnement au bassin hydrographique. De vastes zones de terres marginales et sèches peuvent être rendues productives avec des plantes appropriées, si on recourt à des méthodes d'exploitation adaptées à la région. Les plantes résistantes à la sécheresse et d'une efficacité d'utilisation d'eau élevée pourraient jouer un rôle prédominant dans les progrès de l'agriculture de ruissellement (chapitre 2).

Limitations

Les améliorations génétiques ne se font pas du jour au lendemain. Toutefois, la sélection des espèces, des variétés et des écotypes pour garantir l'utilisation la plus efficace de l'eau peut, à elle seule, justifier des travaux de recherche. Les variétés et écotypes doivent être sélectionnés non seulement en fonction de leur efficacité en matière d'utilisation d'eau mais également selon leur robustesse et leur résistance à la sécheresse.

Stade de développement

Les généticiens qui cultivent des variétés de plantes adaptées aux régions arides sélectionnent indirectement des plants qui utilisent l'eau rationnellement. Toutefois, peu ou pas de recherches portent spécifiquement sur l'amélioration de l'utilisation de l'eau ou la détermination de paramètres fondamentaux de la physiologie des plantes qui encourage cette amélioration. Comparé aux possibilités qu'il offre, l'effort déployé de nos jours est insuffisant.

Recherches et développement nécessaires

Il était indispensable de procéder à une sélection de variétés de plantes (particulièrement les plantes fourragères à haute teneur en protéine) qui utilisent moins d'eau. Cela est dû à la nécessité d'éprouver et de mesurer d'une manière simple et rapide l'efficacité de l'utilisation de l'eau par les plantes.

Les essais de résistance à la sécheresse n'ont jusqu'ici guère été spécifiques.

C'est pourquoi les programmes de reproduction sont nécessaires pour sélectionner des plantes xérophytiques utilisables (résistantes à la sécheresse). En règle générale, les caractéristiques physiques (besoins en eau et taux de transpiration), anatomiques et morphologiques ne fournissent pas d'indicateurs simples et pratiques de la résistance à la sécheresse. Des recherches fondamentales sont indispensables dans ce domaine.

Des travaux de recherche fondamentale sur l'efficacité photosynthétique et les hormones des plantes sont nécessaires si l'on veut démontrer l'existence d'une méthode biochimique pour identifier et quantifier rapidement les caractéristiques xérophytiques et de conservation d'eau.

Même aujourd'hui, on n'admet guère la nécessité de posséder des variétés de plantes à faible besoin en eau. Une étude des cultures prometteuses et une collection de plasma germinatif de variétés apporteraient une contribution précieuse au développement de l'agriculture en région aride.

Ouvrages de référence

- Arnon, I. 1972. *Crop Production in Dry Regions, Vol. 1: Background and Principles*. Barnes and Noble, New York, and Leonard Hill Books, London. 650 p.
- Burton, G. W. 1964. The geneticist's role in improving water-use efficiency by crops. In *Research on Water: A Symposium on Problems and Progress*. ASA Special Publication No. 4. Soil Science Society of America, 677 South Segoe Road, Madison, Wisconsin 53711, USA. p. 95.
- Connecticut Agriculture Experiment Station. 1963. *Stomatic and Water Relations in Plants*. Bulletin Number 664. (P.O. Box 1106, New Haven, Connecticut 06504, USA)
- Evenari, M.; L. Shanan; and N. Tadmor. 1971. *The Negev: The Challenge of a Desert*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts 02138, USA. pp. 229-300.
- Kramer, P. J. 1969. *Plant and Soil Water Relationships: A Modern Synthesis*. McGraw Hill, New York.
- National Water Commission. 1973. Chapter 7. (Voir p. 6)
- Slatyer, R. O. 1967. *Plant-Water Relationships*. Academic Press, New York.
- Soil Science Society of America. 1966. *Plant Environment and Efficient Water Use*. Special Publication. (Adresse : Vori Burton, ci-dessus)
- UNESCO. 1960. *Plant-Water Relationships in Arid and Semi-Arid Conditions, Review of Research*. Arid Zone Research series, Vol. 15. Paris. 225 p.

Références

- Blackland Conservation Research Center, U.S. Department of Agriculture, Soil and Water Conservation Research Division, Temple, Texas 76501, USA (J. Ritchey)
- Department of Agronomy, Cornell University, Ithaca, New York 14850, USA (E. R. Lemon)
- Department of Agronomy and Plant Genetics, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA (M. A. Massengale, A. K. Dobrenz)
- Department of Botany, Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Israel (M. Evenari)
- Department of Water Science and Engineering, University of California at Davis, Davis, California 95616, USA (R. M. Hagan)
- Evapotranspiration Laboratory, Kansas State University, Manhattan, Kansas 66502, USA (E. T. Kanemasu)

Georgia Agricultural Experiment Station, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Tifton, Georgia 31794, USA (G. W. Burton)
International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics, 1-11-256 Begumpet, Hyderabad 16, A.P., India (R. Cummings, Director)
Negev Institute for Arid Zone Research, Beer Sheva, Israel (M. Forti)
U.S. Salinity Laboratory, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Riverside, California 92502, USA (J. van Schilfgaarde)
U.S. Water Conservation Laboratory, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Phoenix, Arizona 85040, USA (W. L. Erhler)
Water Resources and Development Service, Land and Water Development Division, FAO, Via delle Terme di Caracalla, 00100, Rome, Italy

15 Agriculture en milieu contrôlé

Lorsqu'on encapsule les cultures dans des enceintes spécialement mises au point à cet effet, il est possible d'obtenir un rendement agricole élevé avec des quantités limitées d'eau. L'eau perdue par infiltration, évaporation et transpiration (chapitres 7, 8, 9, 13) est retenue et réutilisée dans l'enceinte. C'est pourquoi, en termes nets, très peu d'eau est nécessaire pour produire la récolte. Dans l'enceinte, la lumière, la chaleur, l'eau, l'humidité, le bioxyde de carbone, les éléments nutritifs et les insectes sont manipulés et équilibrés afin d'obtenir des rendements souvent dix fois plus élevés que les rendements d'une agriculture conventionnelle en plein air. Au moyen de techniques spéciales, l'eau peut être en grande partie de mauvaise qualité (eau de mer, qui ne se prête pas normalement à l'agriculture). Essentiellement, cette méthode place les cultures dans un milieu qui peut être contrôlé au point d'approcher les limites supérieures des rendements potentiels.

Méthodes

Les enceintes peuvent être constituées par des structures transparentes en fibre de verre, des bulles gonflées à l'air ou des tunnels bas au-dessus des sillons de plantes en maturation (Figurés 73-75).

Agriculture en milieu contrôlé

Le système mis au point au Laboratoire de recherches d'écologie de l'Université d'Arizona et à l'Université de Sonora (Mexique) peut être utilisé comme exemple d'une agriculture en milieu contrôlé. Les plantes sont cultivées dans des serres de plastique gonflées où il n'existe guère ou pas de contact avec l'atmosphère extérieure. A l'intérieur, l'air est continuellement recyclé par un courant d'eau qui l'humidifie et le refroidit. De l'eau saumâtre, limoneuse ou de l'eau de mer peuvent être utilisées; le processus d'humidification laisse derrière lui les polluants. L'eau de mer est utilisée par une installation expérimentale à Puerto Penasco (Mexique) (Figure 74). Les plantes sont irriguées avec de l'eau de qualité supérieure, mais une petite quantité seulement est nécessaire car l'humidité élevée supprime la transpiration et

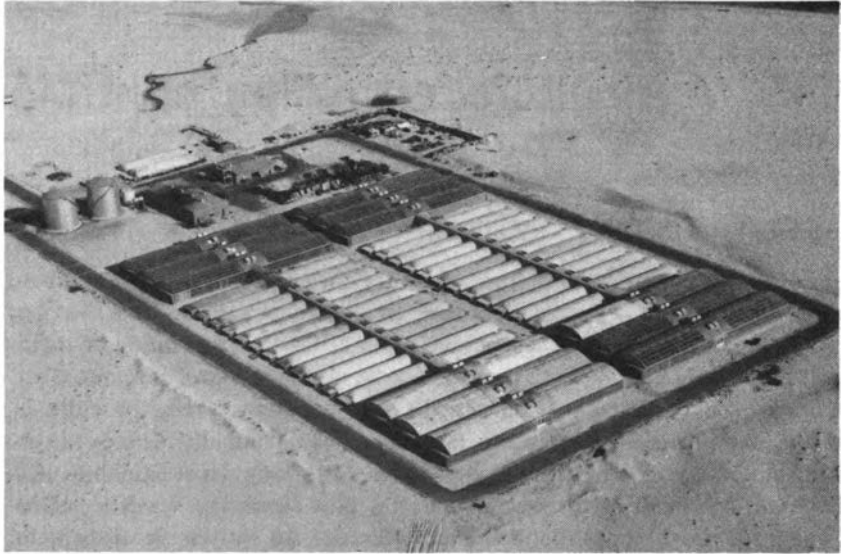


FIGURE 73 Complexe agricole en milieu contrôlé à Abu Dhabi. Même dans ce milieu très peu hospitalier, de très grandes quantités de produits agricoles peuvent être obtenues (Figure 76) (Arid Lands Research Center, Abu Dhabi)



FIGURE 74 Complexe en milieu contrôlé à Puerto Penasco (Mexique). (Université de Sonora)

l'évaporation. L'humidité est à ce point élevée qu'en hiver elle se condense sur les murs froids de la serre pour être recueillie et réutilisée.

Pour qu'il y ait photosynthèse le bioxyde de carbone (CO²) doit être ajouté car, en vase clos, les plantes utilisent rapidement le CO² disponible. A Puerto Penasco, du gaz d'échappement d'un générateur diesel contenant de grandes quantités de CO² est introduit dans l'enveloppe. Des recherches faites à ce jour montrent que cette technique apparemment simple est prometteuse, mais qu'il subsiste des problèmes particulièrement dans l'élimination des polluants mineurs qui réduisent la production de la culture. Dans d'autres installations en milieu fermé, du CO² en bouteilles et des générateurs de CO², brûlant du gaz naturel (qui donne un échappement plus propre que le carburant diesel) sont utilisés pour éviter la pollution.

Agriculture en milieu partiellement ouvert

Dans l'agriculture en milieu partiellement ouvert, de l'air frais alimente continuellement l'intérieur de l'enceinte et est ensuite évacué. L'air passe sur une couche d'eau qui peut être de faible qualité. De l'eau de qualité supérieure est utilisée pour irriguer la plante, mais comme la haute teneur d'humidité supprime l'évaporation et la transpiration, la quantité requise est encore nettement inférieure à la quantité nécessaire pour l'agriculture standard. Etant donné que l'air humidifié est continuellement évacué, le besoin en eau total est supérieur à celui de la culture en milieu fermé.

L'Université d'Arizona a conçu trois installations commerciales qui utilisent la technique du milieu partiellement ouvert et a fourni pour ce faire des services consultatifs. Le premier système installé (Figure 73) est à Abu Dhabi. Dans ce système, l'air de l'enceinte est humidifié avec de l'eau de mer. L'énergie est produite au moyen d'une génératrice électrique à diesel et la chaleur dissipée par le moteur alimente une installation de dessalement de l'eau de mer. L'eau de mer désalée irrigue 2 hectares de cultures en milieu contrôlé. L'eau de mer désalée coûteuse est utilisée seulement pour satisfaire les besoins relativement faibles en eau d'irrigation.

La deuxième (et la plus importante) installation commerciale est située à Tucson (Arizona) où 4 hectares de serres en milieu partiellement ouvert utilisent de l'eau souterraine pour le contrôle (humidification) et l'irrigation de l'environnement. A Yuma (Arizona), un complexe de 2 hectares est implanté pour utiliser les eaux souterraines saumâtres en vue du contrôle de l'environnement et pour en désaler une partie à des fins d'irrigation au moyen de l'osmose-inverse.

Ce système offre d'excellentes perspectives en région aride où de l'eau de qualité inférieure est disponible et où l'eau de qualité supérieure est rare.



FIGURE 75 Tunnels pour la culture de fraises en Israël. (Ministère de l'agriculture, de la production et des services de vulgarisation, Israël)

Tunnels plastiques

Une variante de l'agriculture en milieu contrôlé consiste à utiliser des tunnels plastiques bas qui sont placés au-dessus des plantes (Figure 75) pour réduire les pertes par évaporation et transpiration. Ce système permet aussi de manipuler le milieu ambiant. D'après un rapport,⁴⁶ le bioxyde de carbone ajouté aux tunnels fait croître plus rapidement les concombres, les fait mûrir plus vite et aboutit à une production supérieure de 45 pour cent à celle de l'agriculture standard. La culture de la laitue dans des conditions identiques a donné un accroissement similaire du rendement, des plants de poivron ont donné plus de fruits et leur rendement a augmenté de 20 pour cent. En Israël,

⁴⁶Kloner. 1967. (Voir ouvrages de référence.)

plus de 1.200 ha ont été cultivés en 1966-67 sous des couvertures plastiques de ce genre. Cette méthode a permis de produire des légumes en début de la saison lorsque le rendement de l'agriculture conventionnelle était faible et les prix élevés.

Avantages

Les systèmes à milieu contrôlé ont donné une productivité impressionnante. Des rendements annuels par hectare de 370 tonnes de tomates et de 600 à 750 tonnes de concombres ont été obtenus et il est possible de faire trois à huit récoltes de laitues par an. La tomate, le concombre et la laitue offrent aujourd'hui les meilleures perspectives économiques, mais 16 autres légumes et fleurs sont produits commercialement au centre d'agriculture à milieu contrôlé à Abu Dhabi (Figure 76).

Bien qu'il puisse nécessiter une grande quantité d'eau, le système permet d'en économiser une partie considérable selon l'importance de la récolte. S'il était possible d'abaisser les coûts d'équipement, des villages tout entiers, même dans des régions éloignées, pourraient s'alimenter avec une seule exploitation agricole en milieu contrôlé.

Limitations

Le principal obstacle à l'agriculture en milieu contrôlé est un investissement initial élevé. D'après l'expérience de l'Université d'Arizona, les installations, y compris le matériel de culture, les appareils d'emballage, etc., coûtent 250.000 à 370.000 dollars E.U. environ par hectare, selon le degré de modernisation. Cela signifie qu'à l'heure actuelle, seules des cultures à valeur élevée peuvent être pratiquées. De l'eau est encore nécessaire pour le refroidissement; aussi les installations seront-elles limitées aux régions côtières ou autres emplacements où l'on dispose d'eaux saumâtres ou d'autres types d'eaux qui ne se prêtent pas à l'irrigation normale. Bien sûr, le système de tunnels est nettement meilleur marché mais il est lui aussi coûteux si on le compare aux coûts de l'agriculture standard et il ne donne un bon rendement que si les plantes cultivées procurent un revenu élevé.

Stade de développement

Les processus agricoles en milieu fermé et en milieu partiellement ouvert commencent aujourd'hui à être commercialisés. Etant donné qu'il s'agit d'une

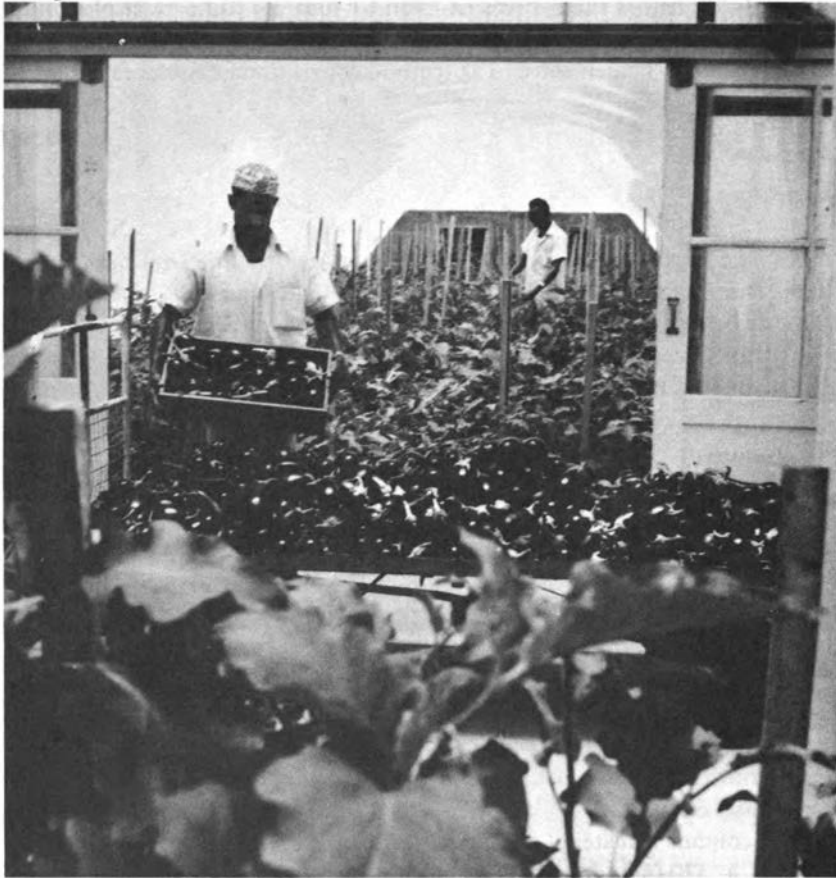


FIGURE 76 Des tomates de bonne qualité croissent en grande quantité dans une serre à Abu Dhabi. (Arid Lands Research Center, Abu Dhabi)

découverte très récente, seules quelques installations sont aujourd'hui en activité mais d'autres sont envisagées. L'agriculture sous tunnels plastiques est utilisée dans une certaine mesure en Israël.

Recherches et développements nécessaires

Les systèmes à meilleur marché rendent l'agriculture en milieu contrôlé de plus en plus attrayante et pratique avec des cultures à bas prix. A cet égard, la nécessité de mettre au point un approvisionnement à bon marché de CO² est particulièrement important.

Il est également indispensable de sélectionner des variétés et de mettre au point des cultures qui tolèrent mieux des températures élevées en serre et, partant, donnent des rendements plus élevés.

Parmi les autres besoins figurent :

- la mise au point d'un toit qui transmette les longueurs d'ondes du rayonnement solaire qui stimulent le plus la croissance des plantes;
- l'utilisation de produits chimiques ou hormonaux en vue de protéger les plantes contre la chaleur; et
- l'exécution d'études de phytopathologie et de lutte contre les maladies

Ouvrages de référence

- Dalrymple, D. G. 1973. *Controlled Environment Agriculture: A Global Review of Greenhouse Food Production*. U.S. Department of Agriculture Economic Report Number 89, 150 p. (Copies available from Economic Research Service, Room 3510, South Building, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C. 20250, USA.)
- Enoch, H., et al. 1970. CO₂ enrichment to cucumber, lettuce, and sweet pepper plants grown in low plastic tunnels in a subtropical climate. *Israel Journal of Agricultural Research* 20(2):63-9.
- Environmental Research Laboratory, University of Arizona/Arid Lands Research Center, Abu Dhabi, United Arab Emirates. *Annual Report 1971-72*. (Available from Environmental Research Laboratory; see Contacts.)
- Fontes, M. R. 1973. Controlled environment horticulture in the Arabian Desert at Abu Dhabi. *Hortscience* 8(1):13-16.
- Jordan, O. W., and T. Hunter. 1972. The effects of glass cloche and coloured polyethylene tunnels on microclimate growth, yield and disease severity of strawberry plants. *Journal of Horticultural Science* 47:419-26.
- Kloner, U. 1967. *Vegetable Growing under Plastic Cover in Israel*. Production and Extension Services, Ministry of Agriculture, Tel Aviv, Israel. 11 p.
- O'Leary, J. W., and G. N. Knecht. Increased tomato fruit development by CO₂ enrichment. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. (In press.)

Références

- Agricultural Research Organization, The Volcani Center, P.O.B. 6, Bet Dagan, Israel (H. Enoch and Y. Samish).
- Department of Botany, Tel-Aviv University, 155 Herzl St., Tel-Aviv, Israel (Y. B. Samish)
- Department of Vegetable Crops, Cornell University, Ithaca, New York 14850, USA (R. Shelldrake, Jr.)
- Division of Agricultural Meteorology, Faculty of Agriculture, Hebrew University, Rehovot, Israel (H. Enoch)
- Dr.-Ing. Rolf Bettaque, 2057 Reinbed Bei Hamburg, Klosterbergenstr. 53, Germany
- Environmental Research Laboratory, Tucson International Airport, Tucson, Arizona 85706, USA (C. N. Hodges)
- Institut für leichte Flachentragwerke, Universität Stuttgart, 7000 Stuttgart 80, Germany (F. Otto)
- Negev Institute for Arid Zone Research, Beer Sheva, Israel (E. Rappaport)

16 Autres techniques prometteuses de conservation de l'eau

Les techniques de conservation de l'eau qui ont retenu l'attention particulière du groupe de travail sont décrites aux chapitres précédents. D'autres méthodes pourront cependant susciter le même intérêt dans l'avenir. On trouvera ci-après une description très brève de certaines d'entre elles.

Amendement des sols par substances hydrophiles

Une grande partie de l'eau d'irrigation se perd d'ordinaire à cause de l'évaporation (chapitre 8) ou parce qu'elle s'écoule en dessous du niveau des racines (chapitre 12). Les produits chimiques hydrophiles peuvent absorber l'eau, la mettant à l'abri de l'évaporation ou d'un autre phénomène de dissipation. Les sols traités avec ces produits chimiques deviennent spongieux, captant et retenant l'eau pendant une période prolongée. Les racines des plantes disposent ainsi d'une réserve d'eau où elles puisent en fonction de leurs besoins. Cette méthode peut revêtir une importance particulière si l'on veut accroître le volume d'eau disponible dans les sols sablonneux. Utilisés pour l'amendement des sols, les produits chimiques hydrophiles peuvent favoriser la croissance des plantes à des niveaux d'humidité peu élevés. Les racines des plantes et les radicules poussent à l'intérieur et autour du produit hydrophile gonflé d'eau et épuisent l'eau et les substances nutritives.

On a mis au point des produits chimiques hydrophiles qui peuvent absorber jusqu'à 20 fois leur propre poids d'eau. Bien que l'un de ces composés hydrophiles soit expérimenté sur le marché américain, il sont tous encore à l'état purement expérimental.

La capacité de rétention d'eau des sols sablonneux peut aussi être accrue en incorporant, par exemple, 5 pour cent de charbon broyé à la couche de surface, ce qui peut doublement renforcer l'humidité existante, uniformiser la température du sol et avancer la période de maturation des récoltes.⁴⁷ (voir Figure 77.)

⁴⁷ Informations fournies par le Professeur A. K. Turner, Department of Civil Engineering, University of Melbourne, Parkville, Victoria 3052, Australie.



FIGURE 77 Culture de laitue sur sol sablonneux et poreux amendé avec du charbon broyé qui a une grande capacité de rétention d'humidité. Au cours de l'expérience, les parcelles traitées au charbon sont restées humides en surface, alors que les autres parcelles se sont asséchées. Le rendement des parcelles traitées a augmenté sensiblement. (A. K. Turner)

On a très récemment annoncé la mise au point de copolymères d'amidon hydrophiles (super absorbants) qui absorbent jusqu'à 1.500 fois leur poids d'eau.⁴⁸ Leur rôle dans l'agriculture reste encore à vérifier.

Reconstitution artificielle des réservoirs souterrains

L'eau retirée des réservoirs souterrains peut d'ordinaire être remplacée de façon naturelle mais il se peut que de vastes réseaux de pluies prélèvent trop d'eau pour que cette reconstitution naturelle suffise. Dans ce cas-là, l'eau de surface peut être utilisée pour reconstituer les nappes aquifères, procédé appelé reconstitution artificielle. En certains endroits, des puits ou des trous sont creusés de manière à accéder à la nappe, dans d'autres, l'eau se répand à la surface et s'infiltre dans le sol pour atteindre la nappe aquifère. Cette dernière méthode se prête bien aux nappes aquifères situées à la surface, aux fosses à faible profondeur ou aux puits sur nappes profondes. Ces méthodes

⁴⁸Rapport par le Dr. William M. Doane, Northern Regional Research Laboratory U. S. Department of Agriculture, A. R. S., Peoria, Illinois 61604, U.S.A.

sont peu onéreuses, exigent un minimum de connaissances techniques pour leur exploitation et leur gestion et sont efficaces dans les régions à géo-hydrologie appropriée.

La reconstitution artificielle des eaux souterraines est l'objet d'un intérêt croissant car elle permet de disposer de réservoirs naturels, protégés contre l'évaporation et la pollution et parce que la reconstitution des sources d'eau empêche les eaux salées voisines de s'introduire dans le réservoir et la terre de tomber dans le premier espace libre d'un réservoir épuisé. Cette méthode peut aussi être utilisée pour le recyclage des eaux usées (chapitre 4).

La collecte des eaux de pluie (chapitre 1) peut aussi servir à reconstituer les eaux souterraines. Cela se fait à l'échelle expérimentale à Wadi Shikmo en Israël. On laisse les eaux recueillies dans un grand bassin s'infiltrer jusqu'à une nappe aquifère pour augmenter la quantité d'eau dont ont besoin des puits surélargis.

Ouvrages de référence

Amendement des sols par substances hydrophiles

- Jensen, M. H.; P. A. King; and R. Eikhop. 1971. A hydrophylic polymer as a soil amendment. In *Proceedings of the Tenth National Agricultural Plastics Conference*. pp. 69-79. (Available from Environmental Research Laboratory, University of Arizona, Tucson, Arizona 85721, USA.)
- Union Carbide Corporation, Creative Agricultural Systems. 1973. *Agricultural Hydrogel Concentrate 50G. Technical Information*. 270 Park Avenue, New York, N.Y. 10017, USA.

Reconstitution artificielle des eaux souterraines

- American Society of Civil Engineers. 1961. *Groundwater basin management*. A.S.C.E. Manual No. 14. (Available from American Society of Civil Engineers, 345 East 40th Street, New York, N.Y. 10017, USA.)
- Bianchi, W. C., and D. C. Muckel. 1970. *Ground-water recharge hydrology*. Agricultural Research Service Publication No. 41-161. (Available from U.S. Department of Agriculture, Publications Office, Washington, D.C. 20250, USA.)
- International Association of Scientific Hydrology. 1970. *International Survey of Existing Water Recharge Facilities*. Publication No. 87, International Association of Scientific Hydrology, 61, rue des Ronces, Gentbrugge, Belgium.
- Knapp, G. L., ed. 1973. *Artificial Recharge of Groundwater: a Bibliography*. Report no. 73-202. Water Resources Scientific Information Center, Office of Water Resources Research, Department of the Interior, Washington, D.C. 20240, USA.
- Signor, D. C.; D. J. Growitz; and W. Kam. 1970. *Annotated Bibliography on Artificial Recharge of Groundwater, 1955-1967*. Water Supply Paper 1990. U.S. Geological Survey, Department of the Interior, Reston, Virginia 22092, USA.
- Todd, D. K. 1954. *Annotated Bibliography on Artificial Recharge of Groundwater Through 1954*. Water Supply Paper 1477. U.S. Geological Survey (Adresse : voir Signor, et al.)

Comité consultatif sur les innovations techniques

Membres

- GEORGE BUGLIARELLO**, President, Polytechnic Institute of New York, Brooklyn, New York, *Chairman*
- E. R. PARISER**, Senior Research Scientist, Department of Nutrition and Food Science, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts
- LEWIS PERINBAM**, Vice President, Canadian International Development Agency, Ottawa, Canada
- CHARLES A. ROSEN**, Staff Scientist, Stanford Research Institute, Menlo Park, California
- STANISLAW ULAM**, Department of Mathematics, University of Colorado, Boulder, Colorado

Conseil de la science et de la technologie pour le développement international

Membres

- CARL DJERASSI**, Department of Chemistry, Stanford University, Stanford, California, *Chairman*
- GEORGE S. HAMMOND**, Foreign Secretary, National Academy of Sciences, *ex officio*
- RUTH ADAMS**, Executive Director, American Civil Liberties Union, Chicago, Illinois
- JOHN D. BALDESCHWIELER**, Division of Chemistry and Chemical Engineering, California Institute of Technology, Pasadena, California
- JACK N. BEHRMAN**, Professor of International Business, School of Business Administration, University of North Carolina, Chapel Hill, North Carolina
- IVAN L. BENNETT, JR.**, Dean, School of Medicine, New York University Medical Center, New York, New York
- LESTER R. BROWN**, Overseas Development Council, Washington, D.C.
- GEORGE BUGLIARELLO**, President, Polytechnic Institute of New York, Brooklyn, New York
- CHARLES DENNISON**, Former Vice President, International Minerals and Chemicals Corporation, New York, New York
- WILLIAM R. HEWLETT**, President and Chief Executive Officer, Hewlett-Packard Company, Palo Alto, California
- WILLIAM A. W. KREBS**, Vice President, Arthur D. Little, Inc., Cambridge, Massachusetts
- FRANKLIN A. LONG**, Program on Science, Technology, and Society, Cornell University, Ithaca, New York
- JOSEPH PETTIT**, President, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia
- JOSEPH B. PLATT**, President, Harvey Mudd College, Claremont, California

150

HELEN RANNEY, Chairman, Department of Medicine, University Hospital, San Diego, California

ROBERT M. WALKER, McDonnell Professor of Physics, Director, Laboratory of Space Physics, Washington University, St. Louis, Missouri

GILBERT F. WHITE, Institute of Behavioral Science, University of Colorado, Boulder, Colorado

STERLING WORTMAN, Vice President, Rockefeller Foundation, New York, New York

Personnel

VICTOR RABINOWITCH, Director

**CONSEIL DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNOLOGIE
POUR LE DEVELOPPEMENT INTERNATIONAL
COMMISSION DES RELATIONS INTERNATIONALES
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES—NATIONAL RESEARCH COUNCIL
2101 Constitution Avenue, N.W., Washington, D.C. 20418, U.S.A.**

Etudes consultatives et Rapports spéciaux

Il est possible d'obtenir un exemplaire gratuit des rapports publiés dont la liste apparaît ci-dessous en s'adressant au Conseil de la science et de la technologie pour le développement international. Sauf indication contraire, les rapports sont publiés en anglais.

8. **Ferrocement: Applications in Developing Countries.** 1973. 93 pp. Evalue la situation actuelle et mentionne des applications d'un intérêt particulier pour les pays en développement—construction de navires, bâtiment, installations de stockage des aliments et de l'eau.
10. **Food Science in Developing Countries: A Selection of Unsolved Problems.** 1974. 81 pp. Décrit 42 problèmes techniques non résolus et donne des informations de base, des méthodes possibles pour les résoudre et les sources d'information.
11. **Aquatic Weed Management: Some Perspectives for Guyana.** 1973. 44 pp. Rapport d'une conférence-atelier avec le Conseil national de la recherche scientifique de la Guyane. Décrit de nouvelles méthodes de lutte contre les herbes aquatiques qui se prêtent bien aux pays en développement tropicaux.
14. **More Water for Arid Lands: Promising Technologies and Research Opportunities.** 1974. 153 pp. (Egalement disponible en français).
15. **International Development Programs of the Office of the Foreign Secretary,** by Harrison Brown and Theresa Tellez. 1973. 68 pp. Historique et analyse, 1963-1972; donne une liste du personnel, des participants et des publications.
16. **Underexploited Tropical Plants with Promising Economic Value.** 1975. 187 pp. Décrit 36 plantes tropicales peu connues qui, grâce à la recherche, pourraient devenir d'importantes cultures vivrières et de rapport dans l'avenir. Comprend des céréales, des racines et des légumineuses, des légumes, des fruits, des graines oléagineuses, des plantes fourragères et autres.
17. **The Winged Bean: A High Protein Crop for the Tropics.** 1975. 43 pp. Décrit un légume tropical négligé de l'Asie du Sud-est et de la Papouasie

Nouvelle-Guinée qui semble offrir une arme pour combattre la malnutrition à l'échelle mondiale.

18. **Energy for Rural Development: Renewable Resources and Alternative Technologies for Developing Countries.** 1976. 305 pp. Examine les techniques énergétiques d'une capacité d'alimentation de 10 à 100 kilowatts au niveau du village ou de la zone rurale en fonction de leur disponibilité à court terme et à moyen terme. Identifie les efforts spécifiques de développement et de recherche requis pour rendre des applications à moyen terme possibles dans des régions qui offrent des promesses viables. (Version française en cours de préparation—devrait paraître fin 1977.)
20. **Systems Analysis and Operations Research: A Tool for Policy and Program Planning for Developing Countries.** 1976. 98 pp. Examine l'utilité et les limitations de la méthode SA/OR (analyse méthodologique et recherche opérationnelle) susceptible d'être appliquée dans un pays en développement ainsi que les moyens d'acquérir les aptitudes autochtones.
21. **Making Aquatic Weeds Useful: Some Perspectives for Developing Countries.** 1976. 175 pp. Décrit diverses manières d'utiliser les herbes aquatiques pour le pacage. Soulève la possibilité de les récolter puis de les transformer en fumier, aliments pour animaux, pâte à papier, papier et combustible. Décrit également leur utilisation pour le traitement des eaux noires et des eaux résiduaires industrielles.
22. **Guayule: An Alternative Source of Natural Rubber.** 1977. 80 pp. Décrit un buisson peu connu qui pousse à l'état sauvage dans certains déserts de l'Amérique du Nord et produit un caoutchouc quasiment identique à celui de l'hévéa. Recommande que des fonds soient affectés à l'exploitation du guayule.
23. **Resource Sensing from Space: Prospects for Developing Countries.** 1977. 202 pp. Examen des applications actuelles et futures d'un intérêt particulier pour les pays en développement, de certaines implications d'un système de télédétection pour la réglementation à long terme, et d'initiatives souhaitables de coopération technique pour diffuser les capacités des usagers.
24. **Appropriate Technologies for Developing Countries.** 1977. 140 pp. Examine divers critères de bien-fondé en insistant sur les complexités et les contraintes inhérentes à un choix technologique. (En vente à l'intention des lecteurs qui ne sont pas les ressortissants des pays en développement).

Publications apparentées

D'autres rapports (élaborés en collaboration avec le BOSTID) peuvent être obtenus en écrivant à l'adresse mentionnée plus haut. Ce sont :

An International Centre for Manatee Research. 1975. 34 pp. Décrit l'emploi du lamantin, grande mammifère pratiquement disparu, pour éliminer les herbes aquatiques des canaux. Propose la création d'un laboratoire de recherche pour mettre au point la reproduction et l'élevage du lamantin. Publié par le Conseil national de la recherche scientifique de Guyane.

Ferrocement, a Versatile Construction Material: Its increasing use in Asia. 1976. 106 pp. Rapport de la conférence-atelier avec l'Institut asiatique de technologie, Bangkok, Thaïlande. Etudie les applications de la technique du ferrociment en Asie et dans les Iles du Pacifique. Comprend la construction de silos de céréales, de réservoirs d'eau, de toits et de bateaux. Publié par l'Institut asiatique de technologie.

Natural Products for Sri Lanka's Future. 1975. 53 pp. Rapport d'une conférence-atelier avec le Conseil national de la science de Sri-Lanka. Identifie les produits végétaux négligés et non conventionnels qui peuvent contribuer dans une mesure significative au développement économique du pays. Publié par le Conseil national de la science de Sri-Lanka.

Publications épuisées

Les rapports ci-après du BOSTID ne peuvent être obtenus qu'en s'adressant au Service national de l'information technique (NTIS). Pour passer une commande, envoyez le titre du rapport, le numéro d'accèsion NTIS et le montant indiqué. (Note : les prix en vigueur sont les mêmes pour les premiers mois de 1977 mais peuvent être modifiés sans avis préalable). Les intéressés peuvent payer par compte de dépôt NTIS, chèque, virement postal ou carte de crédit American Express. Les commandes passées aux Etats-Unis sans paiement préalable sont facturées dans les 15 jours; une commission de cinq (5) dollars est ajoutée au prix. Pour les acheteurs étrangers, les prix sont le double des prix indiqués ci-dessous et les commandes doivent renfermer le montant total de l'achat. Envoyez les commandes à :

National Technical Information Service
Springfield, Virginia 22161, U.S.A.

1. **East Pakistan Land and Water Development as Related to Agriculture.** January 1971. 67 pp. Examine le programme d'action envisagé par la Banque mondiale dans le domaine de l'exploitation des eaux et des terres. NTIS Accession No. PB 203-328. \$4.50.
2. **The International Development Institute.** July 1971. 57 pp. Fait sien le concept d'un nouvel organisme d'assistance technique à base scientifique qui remplacerait l'AID. Examine la nature, les objectifs et les fonctions de cet organisme. NTIS Accession No. PB 203-331. \$4.50.

3. **Solar Energy in Developing Countries: Perspectives and Prospects.** March 1972. 49 pp. Évalue la situation actuelle, identifie les domaines prometteurs de la recherche et du développement et propose la création d'un institut régional de recherche énergétique pour le monde en développement. NTIS Accession No. PB 208-550. \$4.50.
4. **Scientific and Technical Information for Developing Countries.** April 1972. 80 pp. Examine le problème de l'accès du monde en développement aux sources d'informations scientifiques et techniques, donne la raison d'être de l'assistance dans ce domaine et propose des programmes destinés à renforcer l'infrastructure d'informations et à promouvoir le transfert d'informations. NTIS Accession No. PB 210-107. \$5.00.
5. **The Role of U.S. Engineering Schools in Development Assistance.** 1976. 30 pp. Examine les possibilités et les contraintes des écoles de génie civil dans la mobilisation de leurs ressources pour aider les pays en développement. NTIS Accession No. PB 262-055. \$4.00.
6. **Research Management and Technical Entrepreneurship: A U.S. Role in Improving Skills in Developing Countries.** 1973. 40 pp. Recommande l'exécution d'un programme systématique et indique les éléments prioritaires. NTIS Accession No. PB 225-129. \$4.00.
7. **U.S. International Firms and R, D & E in Developing Countries.** 1973. 92 pp. Examine les buts et les intérêts d'entreprises internationales et de pays hôtes en développement et suggère d'atténuer les différences en demandant aux entreprises de faire un effort continu pour renforcer les capacités de recherche, de développement et d'ingénierie. NTIS Accession No. PB 222-787. \$5.00.
9. **Mosquito Control: Some Perspectives for Developing Countries.** 1973. 63 pp. Examine les techniques de lutte biologique susceptibles de remplacer les pesticides classiques; évalue l'état des connaissances et le potentiel de recherche de plusieurs approches. NTIS Accession No. PB 224-749. \$5.00.
12. **Roofing in Developing Countries: Research for New Technologies.** 1974. 74 pp. Souligne la nécessité de procéder à des recherches sur des toits à bon marché, en particulier au moyen des matériaux disponibles dans les pays en développement. NTIS Accession No. PB 234-503. \$5.00.
13. **Meeting the Challenge of Industrialization: A Feasibility Study for an International Industrialization Institute.** 1973. 133 pp. Avance le concept de la création d'un institut de recherche indépendant et interdisciplinaire pour éclaircir les nouvelles options de politique que comportent tous les pays. NTIS Accession No. PB 228-348. \$6.00.

Rapports épuisés (préparés en collaboration avec le BOSTID) qu'il est possible de se procurer auprès du service national de l'information technique (NTIS) :

Products from Jojoba: A Promising New Crop for Arid Lands. 1975. 30 pp. Décrit la composition chimique de l'huile extraite du *Simmondsia chinensis*, taillis du désert de l'Amérique du Nord. NTIS Accession No. PB 253-126. \$4.00.

Aquatic Weed Management: Some Prospects for the Sudan and the Nile Basin. 1975. 47 pp. Rapport d'une conférence-atelier 1975 avec le Conseil national du Soudan pour la recherche. Suggère des méthodes modernes et innovatrices pour l'exploitation du hyacinthe d'eau. Publié par le Conseil national pour la recherche—Conseil de la recherche agricole du Soudan. NTIS Accession No. PB 259-990. \$4.50.

Rapports en préparation (Titres de travail)

Le BOSTID satisfera les demandes d'exemplaire unique des rapports en préparation quand ceux-ci paraîtront.

19. Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes.
25. Little-Known Legumes with Promising Economic Potential.
26. *Leucaena leucocephala*: New Forage and Tree Crop for the Tropics.
27. Firewood Crops: Bush and Tree Species for Energy Production.

Table des Matières

INTRODUCTION ET RÉSUMÉ	1
I L'APPROVISIONNEMENT EN EAU	7
1 Collecte de l'eau de pluie	9
2 Agriculture par ruissellement	24
3 Irrigation par eau salée	40
4 Réemploi des eaux	48
5 Puits	58
6 Autres sources d'eau	68
II CONSERVATION DE L'EAU	75
7 Réduction de l'évaporation des surfaces aquatiques	77
8 Réduction des pertes par infiltration	87
9 Ralentissement de l'évaporation des surfaces pédologiques	94
10 Irrigation par filets d'eau	105
11 Autres méthodes nouvelles d'irrigation	114
12 Réduction des pertes par infiltration	120
13 Réduction de la transpiration	126
14 Choix et exploitation des cultures en vue d'une utilisation plus rationnelle de l'eau	133
15 Agriculture en milieu contrôlé	139
16 Autres techniques prometteuses de conservation de l'eau	146
Comite consultatif sur les innovations techniques	149
Conseil de la science et de la technologie pour le développement international (BOSTID)	149
Publications du BOSTID	151