

631.7
S728C

~~Duplicate~~
~~PN-AAJ-438~~
Duplicate
PN-AAJ-438

ISBN=12194

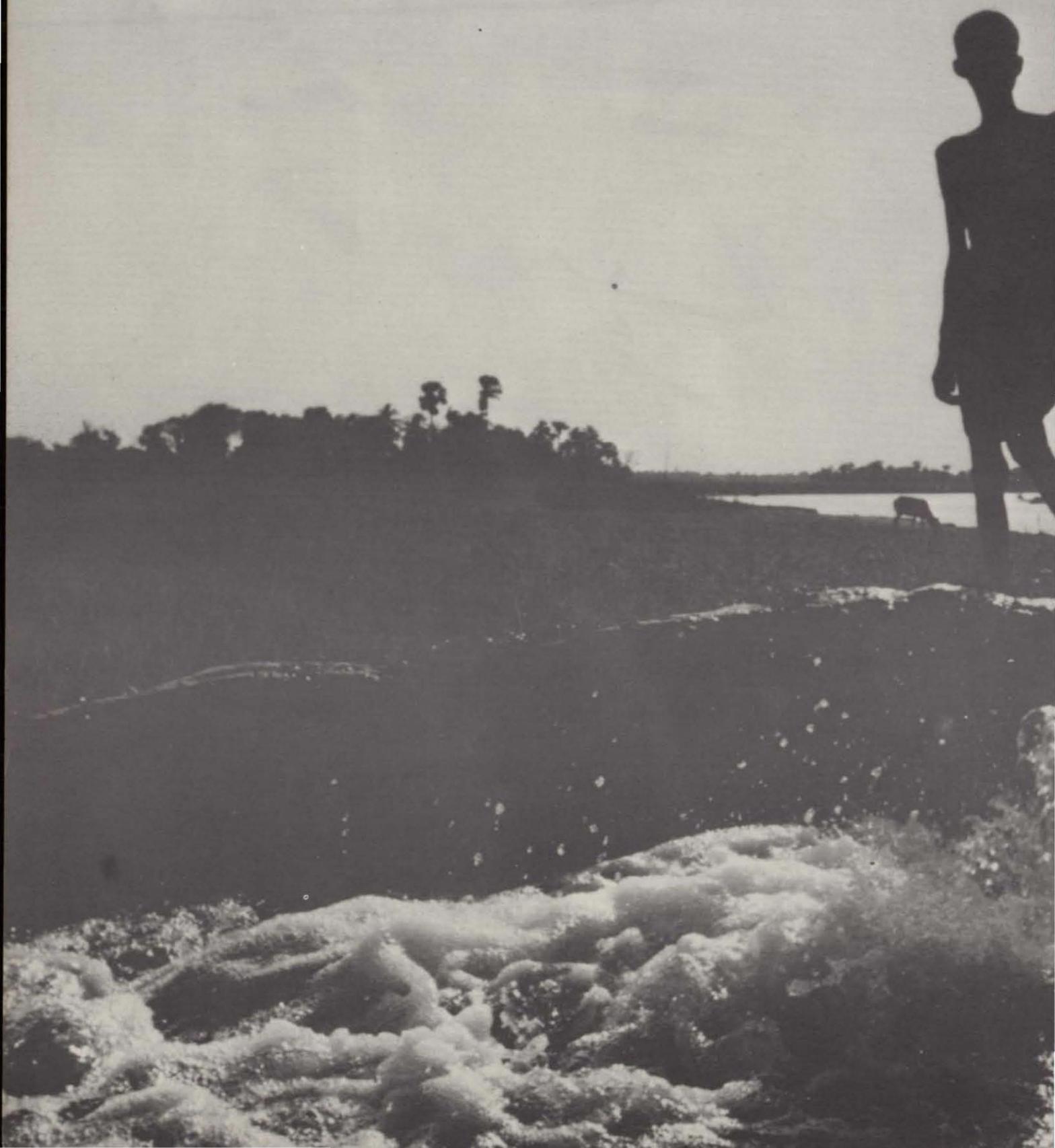
**Guide Technique
pour**

l'Adduction d'Eau pour les petites Unités de Production Agricole

Fourni
par l'Agence Americaine pour le Développement International

*« Toute entreprise technologique ne doit avoir
qu'un seul sujet de préoccupation : l'homme et sa
destinée. Ne l'oubliez jamais, au milieu de vos
diagrammes et de vos équations. »*

—Albert Einstein





**l'Adduction
d'Eau pour les
Petites Unités
de Production
Agricole**

Remerciements

Le Southwest Research Institut souhaite exprimer sa reconnaissance aux personnes et aux organisations qui ont contribué à la rédaction de cette brochure. Les connaissances, les documents qu'ils ont apportés, les heures qu'ils ont bien voulu nous consacrer ont été d'une aide précieuse. En particulier nous remercions les universités suivantes :

L'université d'Arizona
L'université de Californie à Riverside
la Colorado State University
l'Oregon State University
l'Utah State University

Nous voulons surtout exprimer notre gratitude aux conseillers techniques pour les heures qu'ils ont passé à étudier des milliers de pages de publication, dans le domaine de l'irrigation et des méthodes d'adduction d'eau, et aussi aux conseillers qui nous ont fait partager leur expérience et leur expertise en la matière.

Howard Haise, Ft. Collins - Colorado
Clyde Houston, Davis - California
Jack Phelan, Arlington - Virginia
Ernest Smerdon, Austin - Texas

Merci aussi à Gilbert Corey, Office of Agriculture, Agence pour le Développement International, et à David L. Rhoad, Agence pour le Développement International, pour leur aide et leurs conseils.

Directeur du projet : David Black
Ecrit par : Herbert M. Mason Jr.
Illustrations : Simon Garcia
Typographie : M.G. Flake

1980

Ce guide technique a été préparé sous contrat AID TA/C-1479 par le Southwest Research Institute, une société de recherche et de développement à but non lucratif, P.O. Box 28510, San Antonio, Texas 78284 - USA.

Les idées et interprétations de cette publication (présentation) sont celles des auteurs et ne peuvent pas être attribuées à l'Agence Internationale de Développement ou à toute personne agissant en son nom.

Table des Matières

Introduction *i*

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | Besoins en Eau des Récoltes | 1 |
| 2 | Nivellement du Terrain pour la Régularisation de l'Eau | 13 |
| 3 | Méthodes d'Irrigation | 25 |
| 4 | Qualité des Eaux et Production Agricole | 37 |
| 5 | Drainage à la Ferme | 45 |
| 6 | Mesure de l'Eau et Structures | 53 |
| 7 | Gestion des Cours d'Eau | 61 |
| 8 | Approvisionnement en Eau Pour l'Irrigation | 69 |
| | Résumé | 75 |
| | Glossaire | 79 |
| | Bibliographie | 83 |
| | Extraits de la Bibliographie | 95 |

Introduction

Voilà plus de 10 000 ans que l'homme cultive la terre pour se nourrir. Dès l'an 8000 avant J.C., les hommes commencèrent à cultiver le blé et l'orge sauvage, et par là ils se domestiquèrent eux-mêmes. Les familles furent de plus en plus nombreuses à abandonner la vie nomade de chasse et de cueillette des fruits et s'attachèrent à soumettre la nature à leur volonté.

Les premières fermes furent bâties proches du Croissant Fertile, cet arc montagneux entourant le Nord du désert d'Arabie. Trois ou quatre mille ans plus tard, l'agriculture se développa à son tour au Nord de la Chine, au Mexique et au Pérou. Le plein développement de l'agriculture est connu sous le nom de Révolution Néolithique, et il assura à l'homme sa prédominance sur la planète.

L'expansion de l'agriculture amena la naissance de grandes civilisations, et sur des terres autrefois désertes, on vit s'édifier de larges cités. Cependant, l'impossibilité de contrôler les sources d'approvisionnement d'eau amena bien souvent ces cités et ces civilisations à la ruine. Le fait d'attacher la végétation des collines provoqua l'érosion du sol et détruisit sa fertilité. L'histoire de l'agriculture dans les plaines alluviales de Mésopotamie retrace la vie d'un peuple qui

vécut sous la menace constante des raids et des invasions des tribus du désert ou des régions fertiles, et des défaillances des canaux d'irrigation rendus inutilisables par des accumulations de boue. Les problèmes auxquels les agriculteurs d'aujourd'hui ont à faire face peuvent être tout aussi désastreux.

Leçons Apprises

A la fin de l'année 1975, une équipe de l'Agence internationale des Etats unis pour le Développement (AID), spécialisée dans les méthodes de gestion de l'eau fut mise en contact avec des agriculteurs d'un pays en voie de développement, en vue de trouver un remède aux nombreuses fuites qui empêchaient le bon fonctionnement du système d'irrigation de leur champ.

Le leader des propriétaires de la région était bien d'accord pour réparer les dégâts et accroître l'efficacité du cours d'eau, mais il expliqua qu'un tiers des propriétaires appartenait à un autre village, et qu'il refusait de coopérer avec eux, à un projet dont bénéficierait toute la communauté. — « J'ai les bras ouverts, » disait-il, « mais mon sens de la fraternité a des limites. »

L'un des responsables de l'équipe réalisa combien les rivalités entre villages pouvaient gêner la réalisation de mesures d'amélioration communautaires. Il combina la sagesse et le bon sens paysan pour atteindre son but. Il commença par amener tous les agriculteurs favorables au projet le long du cours d'eau, ce qui permit à ces derniers de comprendre l'étendue des pertes. Puis il invita le leader des propriétaires et un homme de religion à visiter les villages des environs, où ils se réunirent après la prière du soir pour trouver une solution à leurs différends. Finalement tous les agriculteurs acceptèrent d'appuyer le projet d'irrigation.

Une équipe spéciale se mit au travail et prit toute une série de mesures, relevés topographiques, calcul du volume d'eau disponible et des pertes encourues, etc., de façon à obtenir toutes les informations nécessaires avant la remise en état du canal. Les agriculteurs étaient tenus au courant des progrès de l'équipe. Ils furent suffisamment convaincus du résultat pour décider de procéder aux travaux d'amélioration pendant la période sacrée du Ramadan. Ils établirent un horaire variable, soit de 6 heures à midi, soit jusqu'à ce que chacun ait terminé sa part de labeur. La portion attribuée à chaque fermier était proportionnelle à l'étendue de ses terres desservie par le cours d'eau.

Le travail se poursuivit sans difficultés, uniquement interrompu par les semailles. Les cocontractants acceptèrent d'être payés à l'heure pour la construction de certaines structures indispensables, et dans un cas, un fournisseur de panneaux préfabriqués consentit aux agriculteurs une réduction de

25 % par rapport au prix qu'il facturait aux organismes officiels. La plupart des travaux d'aménagement et d'amélioration furent réalisés par les agriculteurs eux-mêmes.

Une fois le projet terminé les agriculteurs purent examiner leur oeuvre avec fierté. Près de 3500 mètres de canal remis en état à un coût minime. Bénéfice immédiat : Le volume d'eau distribué dans les champs avait augmenté de 50 %.

Le Défi Immédiat

L'agriculture contrôle directement la vie économique et sociale de près de 70 % de la population du monde. L'agriculture se développe, certes, mais les améliorations sont trop lentes pour amener un progrès économique réel, et les communautés rurales stagnent ; un nombre croissant d'individus autrefois attachés à la terre émigrent vers les centres urbains, et ceci amène bien souvent des conséquences tragiques, aussi bien pour les individus que pour les communautés au sens large.

De nombreux efforts ont été entrepris dans le passé pour augmenter de façon spectaculaire le rendement de la production agricole dans les régions du monde défavorisées, mais les résultats globaux sont décevants. On allie planification détaillée et des investissements importants à une aide technique sophistiquée. Les rendements bruts augmentent, bien sûr, mais en raison de l'explosion démographique la production par tête d'habitant stagne ou même diminue.

La construction de nouveaux ouvrages d'irrigation par exemple, ne produira pas forcément les résultats positifs les plus rapides. Il vaut sans doute mieux concentrer les efforts sur l'amélioration des pratiques d'irrigation au niveau local, où l'eau peut être mieux utilisée dans la production alimentaire et textile.

On a beaucoup appris, et beaucoup à apprendre encore sur l'aide à apporter aux agriculteurs sur le terrain. Divers aspects du

transfert technologique ont été mis en lumière. Il faut avant tout considérer la place que l'agriculteur occupe au sein de sa propre communauté et sa façon traditionnelle de cultiver la terre. Avant de suggérer des solutions à des problèmes qui apparaissent simples a priori, le technicien agricole ou le conseiller local, doit réaliser que les coutumes et les institutions locales jouent un rôle aussi important que celui des techniques les plus avancées dans la recherche de solutions pratiques aux problèmes envisagés.

Les travaux effectués sur le terrain dans bon nombre de pays illustrent ce qui peut être fait avec la participation de l'agriculteur et avec des apports de capital limités. Lorsqu'on a appris à des agriculteurs à réparer les fuites d'un canal, les pertes d'eau ont diminué de moitié. Lorsque les agriculteurs se plaignirent, à juste titre d'ailleurs, du prix exorbitant des tuyaux d'arrosage, on en fabriqua de tout aussi efficaces à partir de pneus mis au rebut, et à un coût minime. Lorsqu'un agriculteur objecta que le rendement de ses récoltes était bien au-dessous de ses attentes, l'examen de son champ révéla que le problème principal était l'irrégularité de la surface du terrain. Une fois le problème identifié et le terrain nivelé, les récoltes augmentèrent de 50 %, par rapport aux années précédentes. De telles améliorations, peu coûteuses, sont faciles à réaliser et ont un effet immédiat.

Cette étude est basée sur un principe fondamental : Le succès de toute entreprise d'irrigation est basé sur le fermier lui-même ; il sera prêt à accepter une nouvelle technologie, à condition que celle-ci soit déjà éprouvée, et en accord avec les cultures pratiquées. Les agriculteurs veulent des solutions immédiates une fois les problèmes identifiés, et ils accepteront une nouvelle technologie à condition de la voir pratiquée dans un environnement familier, et d'être persuadés que cette même technologie est la réponse à leurs problèmes. Il est essentiel d'appliquer la technologie à l'exploitation agricole, de façon à permettre aux agriculteurs d'en réaliser les bénéfices immédiats, et de garantir le succès du transfert technologique.

Les chapitres qui suivent décrivent un certain nombre de techniques disponibles qui permettant à l'agriculteur de maximiser sa production agricole en utilisant au mieux, des ressources en eau limitées.





Besoins en Eau des Récoltes

En 1975 un groupe de conseillers de l'AID a entrepris des recherches pour vérifier les connaissances des agriculteurs en matière de relations plante/sol/eau afin de les aider à augmenter le volume des récoltes tout en économisant de l'eau. Les résultats obtenus s'appliquent à n'importe quel pays.

—« Lorsqu'il y a de l'eau, » demandèrent-ils, « comment décidez-vous quelle est la culture qui en a besoin ? » Pour 40 % des agriculteurs, l'aspect du sol était le facteur essentiel. 31 % répondirent que la dernière date d'irrigation était importante. 26 % déclarèrent l'aspect des plantes prépondérant ; et un petit nombre indiqua qu'il n'en avait aucune idée ou s'en remettait à la volonté divine.

On demanda ensuite aux agriculteurs comment ils déterminaient l'époque de l'irrigation 75 % répondirent qu'ils fixaient la date suivant l'aspect de la récolte, tandis que 16 % basaient leur décision sur l'apparence de la surface du sol. Pas un seul agriculteur interrogé n'indiqua qu'il analysait le sous-sol pour en déterminer le degré d'humidité. De plus les agriculteurs avaient une idée très vague de la véritable

capacité de rétention d'eau du terrain ou de la profondeur de pénétration de l'eau avec une irrigation normale.

Quand on leur a demandé jusqu'à quelle profondeur le sol serait humidifié si 125 millimètres cubes d'eau étaient répandus dans leurs champs, les réponses ont oscillé entre 12 et 75 millimètres. En fait la plupart des sols sont humidifiés sur 750 millimètres de profondeur pour une irrigation de 125 millimètres cubes. Les réponses étaient encore plus fantaisistes lorsqu'il s'agissait de deviner la profondeur de ramification des racines pour les différentes cultures.

On a observé à certaines époques que les agriculteurs avaient irrigué deux ou trois fois plus qu'il ne le fallait. C'était à prévoir, étant donné le manque d'information sur l'humidité ou le volume d'eau aspiré par les plantes, grâce à leurs racines.



Les besoins en eau des cultures varient pour assurer leur croissance.

On a mené des études sur les conditions requises pour l'irrigation depuis plus d'un siècle, mais au cours de ces dernières décennies, de telles études se sont multipliées et sont devenues plus scientifiques. On possède maintenant une abondance de renseignements pour aider à prévoir les besoins en eau des cultures dans le monde entier. Ces données sont vitales pour les techniciens qui doivent aider les agriculteurs à réaliser de réelles économies en eau tout en augmentant la production agricole.

En agriculture irriguée, l'eau dont on dispose peut être le facteur limitatif, ou bien la disponibilité du terrain peut déterminer le volume de la production. Là où l'eau est rare

et coûteuse, on doit programmer les irrigations afin d'obtenir un rendement de production maximum en fonction de l'eau utilisée. Inversement, là où la terre arable est plus rare que l'eau, on doit programmer les irrigations afin d'obtenir un rendement de production maximum en fonction de la surface cultivée. Dans un cas comme dans l'autre, les agriculteurs ont besoin d'être conseillés sur la façon d'utiliser au mieux l'eau qui est à leur disposition.

Méthodes d'Evapotranspiration

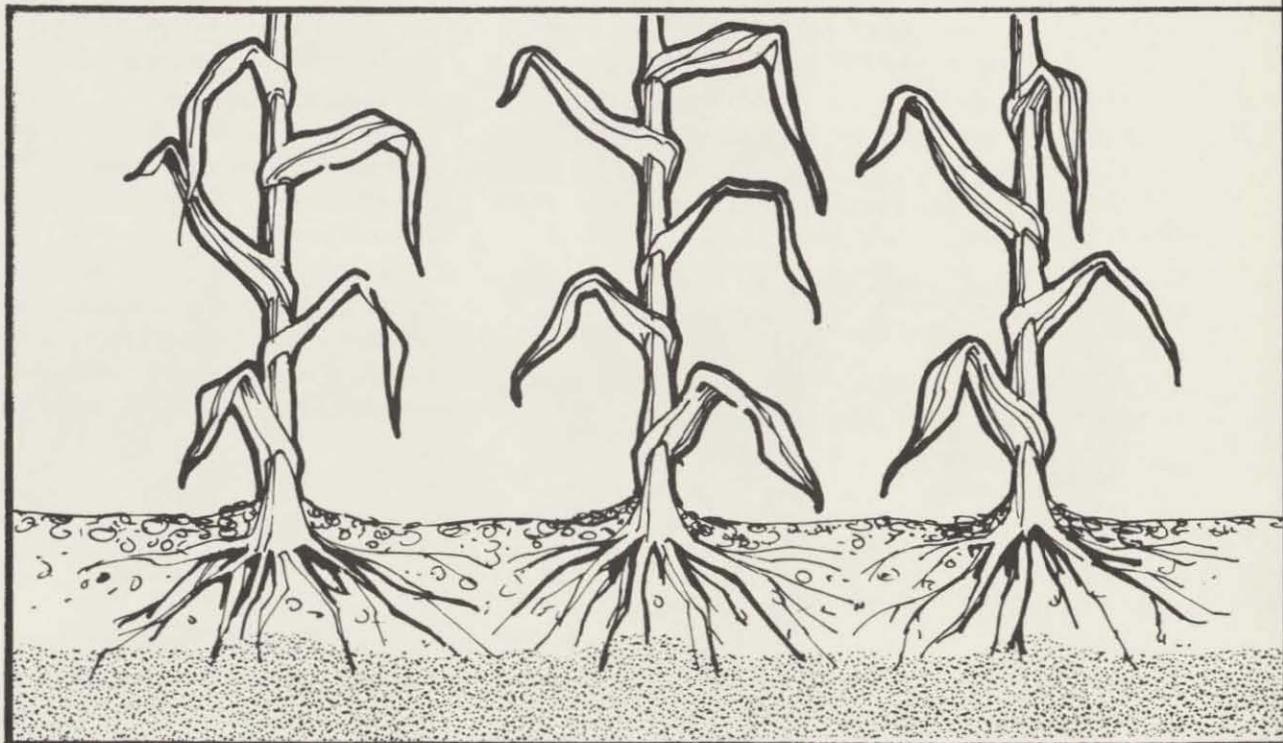
La quantité d'eau absorbée et rejetée par les cultures pendant la croissance végétative et l'inévitable évaporation de l'humidité du sol, est le volume de consommation de la plante, aussi connu sous le nom d'évapotranspiration. Le taux d'évapotranspiration est important car il établit l'indice de distribution de l'eau du système d'irrigation requis pour garantir des plantes saines et des récoltes abondantes.

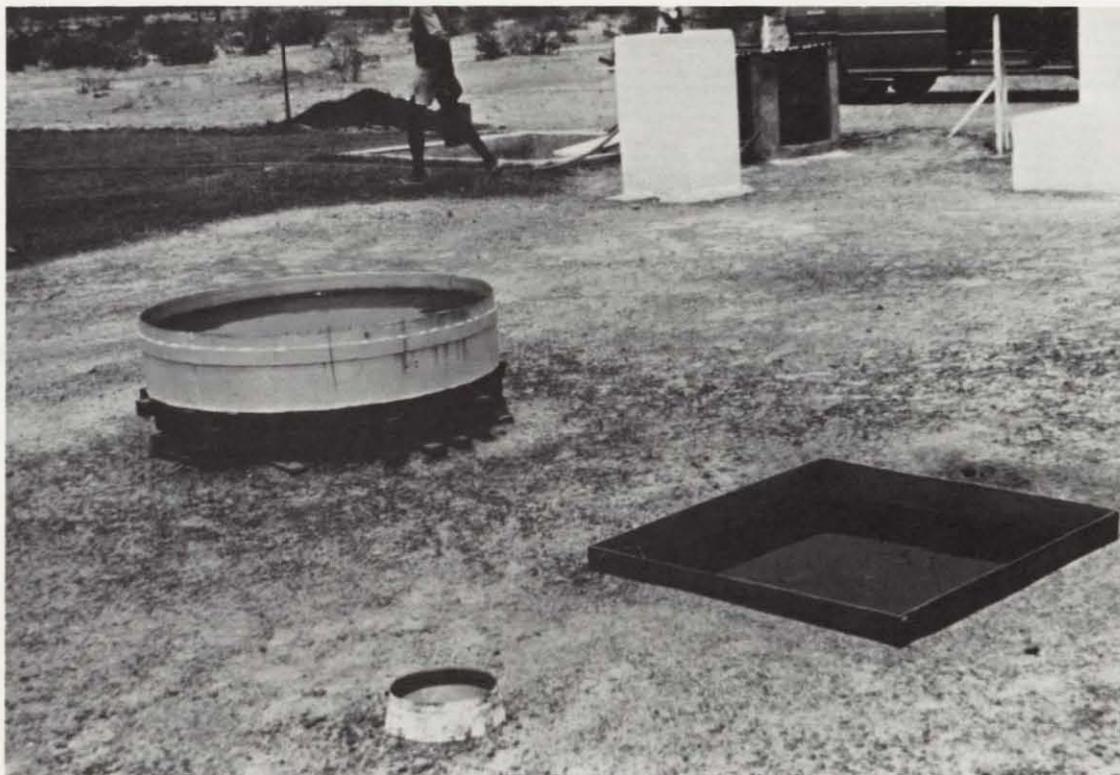
Le point de départ d'une irrigation efficace est la détermination du taux d'évapotranspiration. Une mesure exacte est impossible, à moins de réunir les meilleures conditions scientifiques. Mais elle serait inutile, car les agriculteurs, même dans le meilleur des cas, sont incapables de contrôler le niveau d'eau nécessaire à leurs champs avec la précision indiquée par les tables d'évapotranspiration. Heureusement une estimation d'évapotranspiration établie avec une marge de plus ou moins 10 % est

suffisante pour les besoins des agriculteurs ; par ailleurs, des méthodes simples sont aujourd'hui à la disposition des techniciens pour qu'ils puissent procéder aux estimations requises.

Beaucoup de facteurs influencent l'évapotranspiration des cultures. Les variations de température, la radiation solaire et d'autres facteurs climatiques sont importants à cet égard. De même, la dimension des champs, les caractéristiques du milieu ambiant — l'altitude, le terrain et l'eau disponibles, le taux de salinité, les méthodes d'irrigation, les engrais, les invasions d'insectes, les maladies et les méthodes agricoles locales — ont à des degrés divers leur incidence sur l'évapotranspiration. Face à tout cela et à d'autres variables, les agriculteurs ont besoin de savoir de combien de millimètres cubes d'eau telle culture aura besoin et quelle quantité doit être utilisée pour chaque irrigation.

Il faut que les agriculteurs comprennent la capacité de rétention d'eau des sols, et qu'ils apprennent jusqu'à quelle profondeur l'eau d'irrigation va pénétrer dans la zone de la racine.





Les bacs de la Classe A, comme celui illustré à gauche, sont utilisables pour prévoir les besoins en eau des cultures dans la plupart des régions de la planète.

Il n'existe pas moins de 30 techniques d'estimation différentes qui peuvent fournir la réponse. Toutes impliquent l'équilibre des différentes sources d'énergie, un transfert technologique massif et des équations complexes ; toutes nécessitent du matériel sophistiqué et un personnel hautement qualifié pour parvenir à un résultat précis. Heureusement, il existe aussi une méthode simple pour déterminer l'évapotranspiration, et qui demande peu de données scientifiques.

L'évapotranspiration par bac est vivement recommandée car elle offre un moyen direct de mesurer l'évaporation dans les champs. Elle intègre automatiquement tous les facteurs qui affectent l'évaporation et lorsqu'on accorde un soin particulier à l'environnement du récipient, l'évapotranspiration mensuelle moyenne peut être prévue avec une marge de plus ou moins 10 % d'erreur, et même moins, pour la plupart des climatis.

Le récipient communément utilisé pour l'évapotranspiration par bac est le *Bac de*

l'Agence météorologique américaine Classe A, Bac circulaire de 121 cm de diamètre et de 22,5 cm de profondeur. Les récipients sont en acier galvanisé de calibre 22 ou en métal monel de 8 mm. Peints intérieurement d'une couche de peinture d'aluminium, à renouveler chaque année, les récipients sont placés sur une plate-forme faite de planches de bois, reposant à 15 cm au-dessus du sol. Ensuite on comble de terre tout l'espace environnant le bac jusqu'à une distance de 5 cm calculée à partir du fond du bac ; ensuite on remplit d'eau le bac jusqu'à ce que le niveau ne soit plus qu'à 5 cm du bord. Ce niveau d'eau ne devra jamais descendre en-dessous de 7,5 cm du bord pour éviter un

$$ET(\text{crop}) = k_c \times E_{To}$$

excès de courant d'air lorsque le vent souffle sur le bac. Une fois convenablement installés et entretenus, les Bacs *Classe A* fournissent des mesures précises des effets cumulés de la radiation, du vent, de la température et de l'humidité, sur l'évaporation d'une surface d'eau à l'air libre, reflétant les réactions des cultures face à des variables climatiques similaires. L'expert reconnaîtra que certains facteurs produisent des différences sensibles dans les pertes d'eau entre des surfaces à l'air libre et les plantes elles-mêmes. Par exemple la réflexion solaire sur l'eau dépasse rarement 8 % mais la plupart des végétaux rejettent 25 % des rayons. La plupart des cultures perdent environ 95 % de leur eau durant le jour, tandis que la chaleur conservée par le récipient peut provoquer une répartition d'évaporation sensiblement équivalente de jour comme de nuit.

L'environnement immédiat du récipient a une conséquence directe sur le taux d'évaporation. On est arrivé à fixer des coefficients qui prennent en considération la plupart des variables, et des tables simples et des formules permettent de concilier les différences. Avec une bonne installation et un entretien régulier, les récipients *Classe A* sont fortement recommandés pour la prévision des besoins en eau des cultures pour une période de 10 jours ou plus.

Calcul de l'Évapotranspiration

Quelle que soit la méthode utilisée pour le calcul de l'évapotranspiration, l'analyse finale présente des points communs : une fois la valeur de référence de l'évapotranspiration potentielle déterminée, elle doit être multipliée par un coefficient de récolte pour atteindre la valeur réelle d'évapotranspiration de la culture. Cette valeur E_{To} a été définie comme « le taux d'évapotranspiration d'une superficie d'herbe uniformément haute de 8 à 15 cm, ayant une croissance active, recouvrant totalement la terre et ne nécessitant pas d'arrosage ».

A titre d'exemple, dans le cas de la méthode d'évapotranspiration par bac, une référence E_{To} est calculée par la simple équation suivante :

$$E_{To} \times K_p = E(\text{bac})$$

où K_p est un coefficient du bac déterminé de façon empirique et E est l'évaporation du récipient mesurée en mm. par jour. Les valeurs de K_p dépendent du vent, de l'humidité, et des conditions de la zone entourant le récipient. Les valeurs de K_p de 0,7 à 0,8 sont normales mais peuvent aller de 0,4 à 0,85 dans des cas extrêmes.

L'évapotranspiration quotidienne est déterminée par une autre simple équation, utilisant le coefficient de la culture :

$$ET(\text{culture}) = K_c \times E_{To}$$

K_c est le coefficient qui dépend de la culture et de son stade de croissance à l'époque considérée. Généralement les valeurs de K_c sont plus faibles pendant la saison de



Les taux d'évaporation jouent un rôle crucial dans la détermination de l'irrigation à appliquer pour une culture particulière. On peut diminuer la transpiration en enfermant les cultures dans des tentes en plastique, ce qui permet à l'eau qui s'évapore d'être collectée et réutilisée.



l'ensemencement, c'est-à-dire, de 0,35 et augmente lorsque la culture atteint son *sum*-*sum* pendant la période critique de la floraison et des fruits. Les valeurs maximum caractéristiques de *Kc* pour des cultures de graminées comme le maïs seront de 1,0 ou légèrement plus élevées.

Les valeurs de *Kp* pour des conditions climatiques variées et les valeurs de *Kc* pour des cultures choisies sont données dans la brochure « Besoins en eau des cultures, » publiée en 1975 par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Un autre rapport, tout aussi utile et très complet « L'eau du monde au service de l'agriculture » (*World water for agriculture*) a été établi par l'université de l'Etat d'Utah avec l'aide de l'AID. Le rapport fait le compte des enregistrements climatiques des stations de météo du monde entier, d'après les données recueillies par l'Organisation météorologique mondiale. Les données présentées sont importantes pour l'évaluation de l'eau disponible pour la production alimentaire sans irrigation et les besoins en irrigation de nombreuses localités dans les 93 pays étudiés. D'après les données, les techniciens peuvent immédiatement estimer les besoins probables de ces lieux en eau.

Commentaire Final

Il a été prouvé que l'on peut réduire les pertes d'eau dues à la végétation le long des canaux en détruisant les phréatophytes indésirables, plantes dont le degré de transpiration est élevé. La destruction étendue de ces phréatophytes restent cependant controversée à cause du déséquilibre de l'environnement que cette destruction entraînerait. On pourrait aussi réduire la transpiration en construisant des paravents pour supprimer les mouvements d'air sur les cultures, et en entourant celles-ci d'ouvrages qui permettent de recueillir et de réutiliser l'eau. Des recherches ont montré que, en arrosant les cultures avec des produits réflecteurs, on supprime chez certaines plantes l'absorption d'énergie solaire, diminuant ainsi la température des feuilles avec



Trop d'irrigation cause souvent plus de dommages qu'une irrigation trop faible.

un ralentissement notable du taux de transpiration. Des produits chimiques anti-transpirants sont très efficaces pour fermer les stomates, réduisant ainsi la transpiration des feuilles, mais cette pratique restreint l'absorption indispensable de carbone dioxide, ce qui menace la croissance des plantes. Ces produits chimiques sont chers et peu pratiques pour un usage étendu.

La possession de données sur l'évapotranspiration est une aide nécessaire pour la programmation rationnelle et économique de l'utilisation de l'eau, et aussi pour l'augmentation du rendement des cultures. Elle fait partie d'un programme plus vaste comprenant les recherches sur la gestion de l'eau et facilite les efforts visant à la compréhension des interactions locales des conditions atmosphériques et des cultures. Cependant, tant que tous les problèmes ayant trait à l'utilisation de l'eau dans les fermes ne sont pas résolus, il est vain de rechercher la précision absolue en matière d'évapotranspiration. La question véritable qui se pose lors de l'allocation des fonds de recherche concerne les priorités à établir et la meilleure façon d'utiliser ces fonds en vue de l'identification des graves problèmes de gestion de l'eau au niveau des fermes.

Un autre facteur à considérer est l'usage qui consiste à irriguer sur une base rotative. Les techniciens peuvent conseiller

Des puits instantanés peuvent satisfaire aux besoins en eau mais l'horaire de la distribution et le volume des eaux d'irrigation sont essentiels pour les cultures.





les agriculteurs afin que l'irrigation coïncide avec les stades critiques de la croissance des plantes, mais ce stade critique ne coïncidera probablement pas avec la période fixée pour la distribution d'eau. Souvent les agriculteurs échangent leurs tours, mais c'est résoudre le problème de façon incer-

taine ; acheter de l'eau aux propriétaires de puits privés n'est pas non plus une solution satisfaisante. Le problème du calendrier de distribution de l'eau mérite l'attention sérieuse des planificateurs en irrigation du gouvernement pour éviter la baisse de la production alimentaire.



Au moment de la mise au point d'un nouveau projet d'irrigation, il est essentiel de connaître les besoins des cultures. Il est par ailleurs indispensable de pouvoir estimer l'évapotranspiration avec une précision relative pour disposer les canaux d'irrigation

destinés à desservir toute une mosaïque de champs aux cultures variées et ce, durant les périodes d'utilisation massive.





Nivellement du Terrain pour la Regularisation de l'Eau

En général on irrigue en laissant s'écouler l'eau sur la surface du sol où elle est absorbée. La surface des terrains irrigués doit être unie et relativement planée afin que l'eau soit répartie uniformément sur la partie cultivée du champ. Il est rare que la Nature offre de telles surfaces, de sorte que les agriculteurs doivent niveler leurs champs.

Un des plus grands progrès accomplis dans les systèmes d'irrigation au siècle dernier fut le nivellement du terrain, pour assurer les conditions nécessaires à une irrigation efficace du sol, comme du sous-sol. Les programmes de nivellement, commencés sérieusement en 1859 avec l'emploi de niveleuses tirées par des bêtes, sont devenus de plus en plus sophistiqués. Par exemple, aujourd'hui, grâce à la technologie, on utilise les rayons lasers qui indiquent de façon précise les irrégularités de la surface, qui seront éliminées par des niveleuses.

Des recherches à l'échelle mondiale ont prouvé qu'une mauvaise répartition de l'eau sur des terrains mal nivelés a des incidences

adverses sur le rendement des cultures. Invariablement, certaines parties reçoivent trop d'eau, d'autres pas assez. A ce sujet, une étude subventionnée par l'AID, a porté sur 15 parcelles de terrain de 36 m² chacune, où étaient accusées des différences de niveau allant de 8 à 27 cm. Dans ces champs où on avait planté du coton, les récoltes dans les régions basses et surirriguées étaient inférieures de 50 % à celles des régions moyennes et hautes.

Un bon nivellement du terrain est toujours profitable, mais tous les terrains ne sont pas nivelables. Ainsi les terrains organiques, sableux ou caillouteux ont souvent un taux d'absorption si élevé que niveler





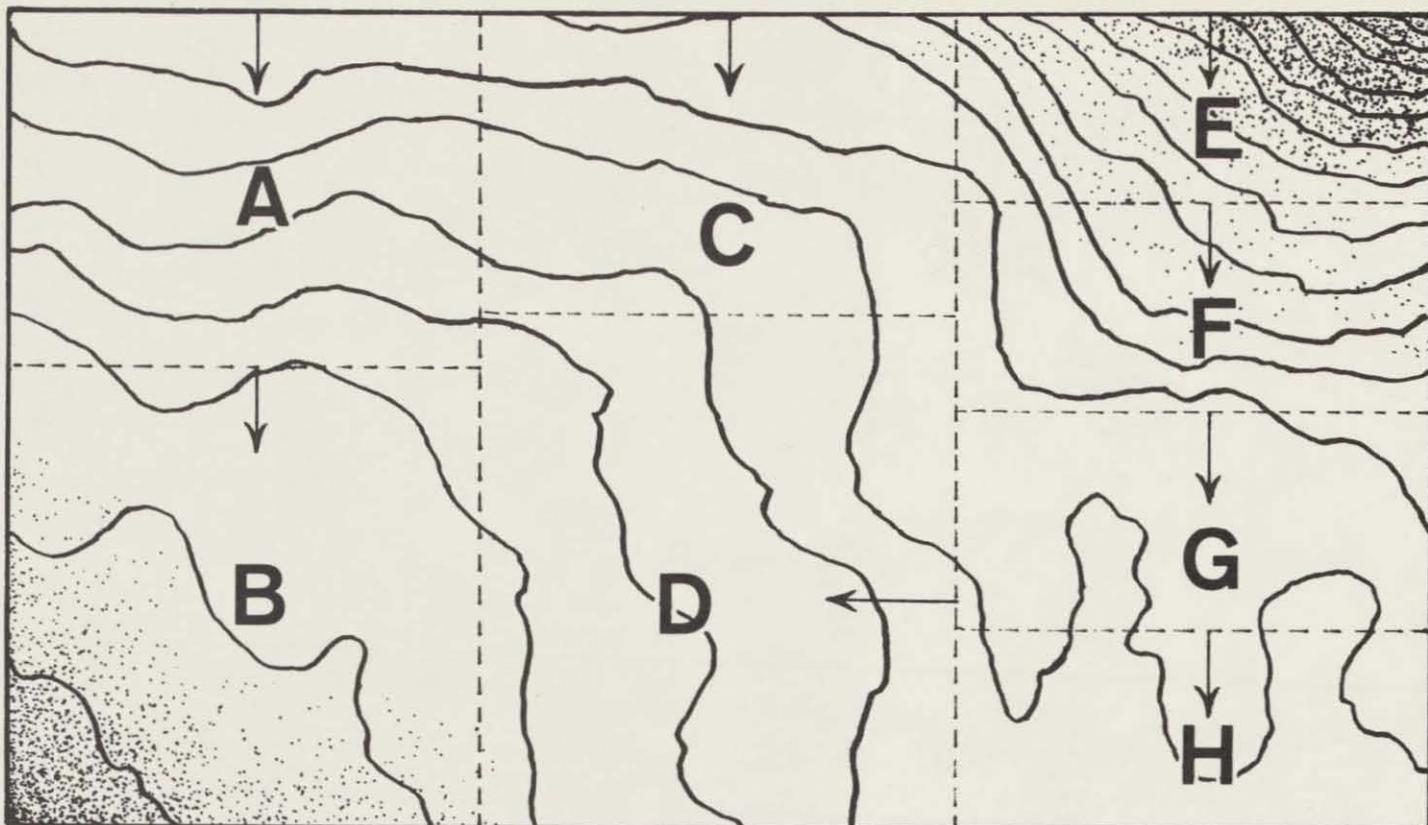
pour une irrigation de surface n'en vaut pas la peine. Si, après le premier arrosage, la terre absorbe plus de 75 mm^3 d'eau à l'heure, l'irrigation en surface est inutile, et l'eau gaspillée. De plus il faut envisager les problèmes éventuels de drainage et de salinité. Un indice supérieur à 100 mm^3 à l'heure est acceptable si les parcelles irriguées sont petites et le cours d'eau d'irrigation large. Par ailleurs, certains terrains possèdent toutes les qualités désirables, mais leur faible profondeur rend le nivellement difficile à réaliser. Dans ce cas-là la solution pourrait être une irrigation par arrosage.

Si l'absorption et la profondeur du terrain sont satisfaisantes, les agriculteurs et leurs conseillers doivent s'assurer qu'il y a assez d'eau disponible une fois le nivellement réalisé. Si on choisit comme méthodes d'irrigation de retenir les eaux par une levée de terrain ou de procéder à une sorte d'inondation contrôlée, la quantité d'eau doit être suffisante pour pouvoir se répandre sur toute la surface du champ avec un minimum d'infiltration en profondeur.

Quant on utilise l'irrigation par sillon ou par bande, la quantité d'eau disponible doit être suffisante pour desservir plusieurs

sillons à la fois. Si la quantité d'eau est insuffisante, un réservoir peut retenir l'eau pendant la nuit pour équilibrer l'écoulement diurne, de façon à fournir suffisamment d'eau pour couvrir les besoins de l'agriculteur. Sinon le nivellement ne sera pas faisable et les techniciens pourront conseiller l'irrigation par arrosage, si toutefois les agriculteurs en ont les moyens.

Les nivellements pour la culture du riz existent depuis les temps préhistoriques : les agriculteurs de l'époque construisaient de petites levées de terrain autour de leurs parcelles et se guidaient sur le niveau de la masse aquatique pour éliminer les irrégularités de la surface du sol. On inondait la parcelle de façon à ramollir la terre, et on rabotait les zones plus élevées. Encore en usage aujourd'hui, le système du « puddling » (sillons inondés) est généralement considéré comme une préparation à l'ensemencement plutôt que comme un système de nivellement à proprement parler ; cependant



Le nivellement de précision commence par une étude du champ, et qui donne le profil du terrain, qui, tracé sur une carte montre les différences de niveau de la parcelle de terre détenue par le fermier.

dans certaines zones fraîchement irriguées, trois opérations de « puddling » réussiront à niveler un champ. Partout dans le monde le riz est le plus grand utilisateur d'eau, et des millions d'hectares ont été irrigués de cette manière pour produire l'aliment de base des pays asiatiques. Le système du « puddling » a ses inconvénients : il détruit la structure du sol et empêche la croissance des plantes qui ne sont pas adaptées à un environnement humide.

Lorsqu'on nivelle un terrain sec, le procédé est relativement simple. On arrache à la main ou à l'aide de machines les restes de végétation et les racines qui gêneraient les opérations de nivellement. Ensuite, le champ est étudié, délimité, topographié par des techniciens des services publics, ou par des ingénieurs conseils privés et des topographes qui effectuent les calculs nécessaires concernant les données préalables aux opérations de nivellement et de comblage. Ensuite, dernière étape avant le début des opérations de nivellement, la terre est ramollie.

Il existe différentes méthodes de nivellement. Elles ne demandent pas toutes un équipement sophistiqué et coûteux. La saison sèche est la meilleure époque pour entreprendre les études préliminaires — et certainement aussi la meilleure pour effectuer les opérations de nivellement.

Il est nuisible pour le sol de faire fonctionner de lourdes machines qui remuent la terre pendant la saison humide ou lorsque la terre est boueuse. Même si l'agriculteur peut lui-même s'attaquer aux irrégularités de son champ en utilisant des outils manuels, cette méthode s'avère rarement efficace. Il est plus facile d'arracher à la main les mottes de

terre lorsque le champ est irrigué avant d'être ensemencé. Dans de nombreux endroits du monde, pour obtenir un nivellement plus efficace, on attelle à deux boeufs ou deux ânes des herses en bois aux dents d'acier. Certes l'emploi de ces méthodes n'arrive pas à assurer un travail comparable à celui qui aurait été réalisé par un équipement mécanisé. Mais dans on doit bien se mettre la tête qu'un nivellement médiocre vaut mieux que l'absence totale de nivellement. Les économies d'eau réalisées et l'augmentation du rendement sont en rapport avec l'ampleur du nivellement pratiqué.

En dehors des exemples cités auparavant où les agriculteurs peuvent niveler de petites parcelles de terrain, soit à la main, soit avec le concours d'animaux, si on veut retourner





Lorsqu'on ne dispose pas d'équipement mécanique, on peut commencer le nivellement du terrain avec des outils manuels pour éliminer les plus importantes irrégularités du terrain.



Des tracteurs équipés d'une sorte de rabots sont idéaux pour aplanir un terrain qui est déjà presque à niveau.

la terre complètement, il faut un équipement spécialisé, et c'est alors qu'il faut considérer sérieusement les coûts. La plupart des nivellements dans les principales vallées irriguées du monde nécessitent un déplacement de 1.000 mètres cubes de terre au moins par hectare. Si une étude révèle qu'il faut enlever 2.000 m³ de terre par hectare, le nivellement n'est pas souvent recommandé du point de vue économique ; l'irrigation par arrosage peut être une option moins coûteuse.

Il est quasiment impossible de niveler un terrain quel qu'il soit sans avoir recours à une machine. Une telle machine, appelée niveleuse, est capable de combler les dépressions en ramassant la terre recueillie à partir de l'aplatissement des bosses. En général on utilise des tracteurs pour tirer les niveleuses, mais on peut tout aussi bien employer des animaux de trait. Il semble que les tracteurs

à pneus l'emportent sur les tracteurs à chenille parce qu'ils sont plus rapides. On peut faire l'acquisition de niveleuses, qui, tirées par des tracteurs de 35 chevaux, peuvent même être utilisées pour aplanir des unités d'exploitation d'un demi-hectare. Il ne faut jamais employer de bulldozers pour niveler une terre agricole. Totalement inefficaces, ils ne permettent pas un nivellement précis du terrain.

Si possible, on devrait utiliser des aplanisseuses pour aligner le terrain une fois les premiers travaux d'aménagement



Des radeaux en bois sont faciles à fabriquer et peuvent être tirés à travers les champs par des boeufs ou des ânes.

Des ratissoires en métal tirées par des animaux peuvent remplacer les niveleuses tirées par des tracteurs.



réalisés. Quelques-unes de ces aplanisseuses sont gigantesques, mesurant 30 mètres de long et 5 mètres de large, mais il en existe d'autres, plus petites, que l'on peut monter sur de petits tracteurs.

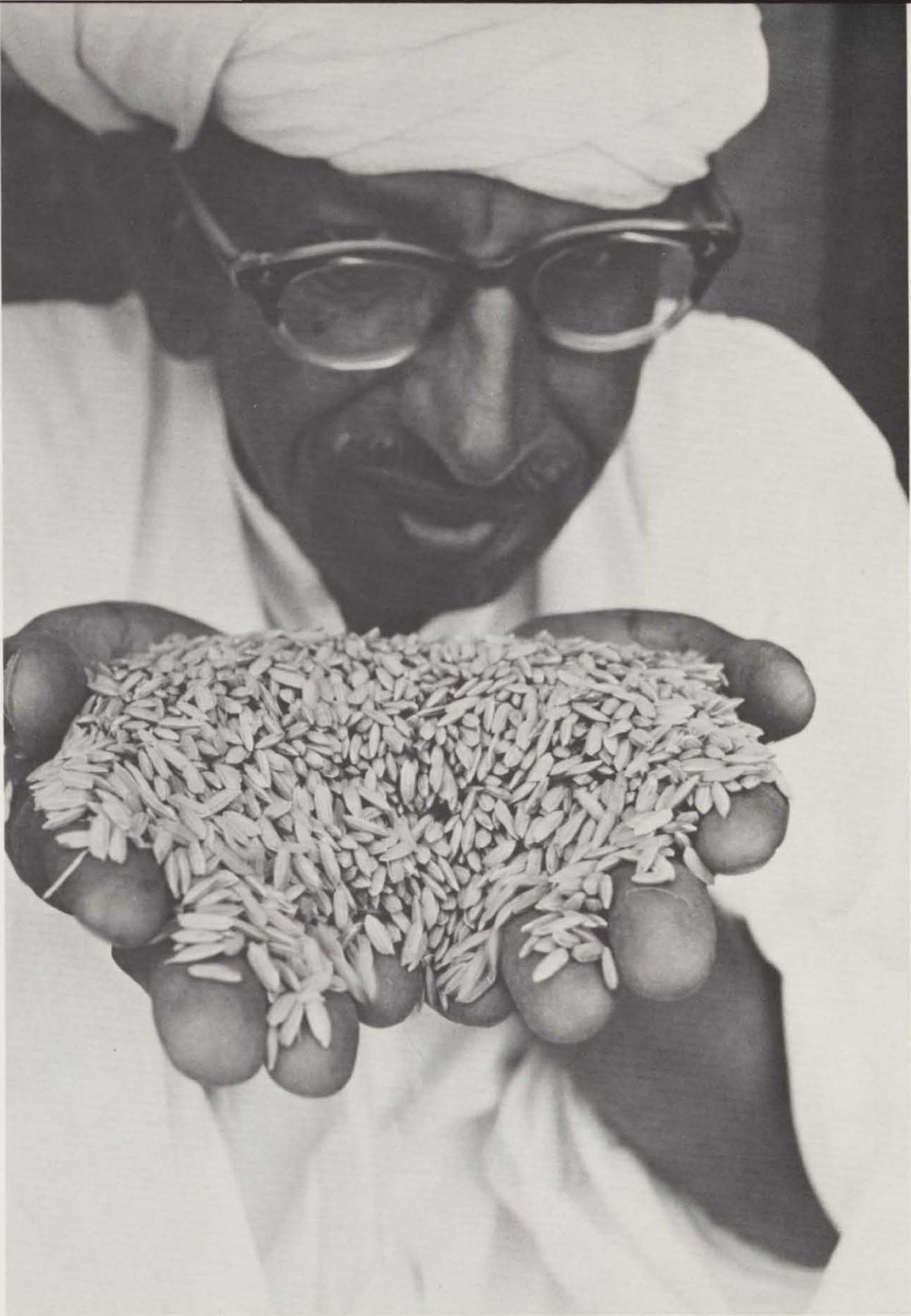
Quand les champs sont vastes, et lorsqu'on dispose de niveleuses, celles-ci sont supérieures à toute autre machine pour égaliser le terrain une fois le nivellement initial effectué. Certaines niveleuses sont gigantesques, mesurant 30 m. de long, et 5 m. de large ; lorsqu'elles parcourent un champ, elles écrasent les bosses et remplissent les dépressions automatiquement. Les opérations finales d'égalisation du terrain avec ces machines sont effectuées en aplanissant dans trois directions ; une fois dans le sens de chacune des diagonales, et une fois dans le sens du courant de l'eau irrigation.

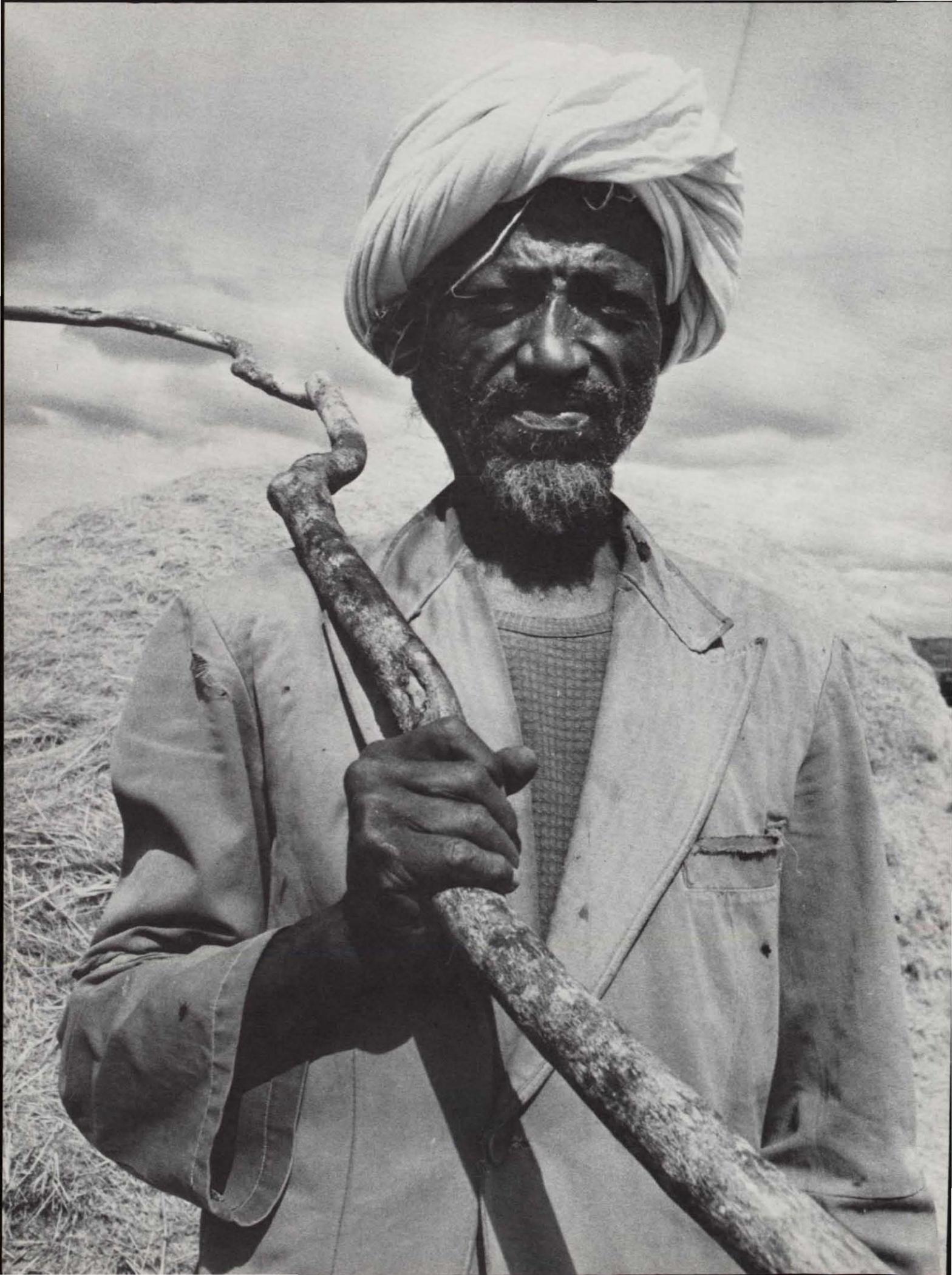
On devrait encourager l'ensemencement durant la première année de croissance des plantes dans les champs fraîchement nivelés, de sorte que l'eau d'irrigation ou la pluie puisse affermir la terre. Les agriculteurs mis pour la première fois en présence de nivellement de précision devront être avertis que la surface du terrain sera endommagée saison après saison par les travaux des champs, et

qu'ils doivent entretenir le champ nivelé pour que leur investissement initial en temps et en matériel soit rentable. A ce titre, les niveleuses font un excellent travail.

On peut coordonner les travaux de nivellement avec des améliorations du cours d'eau. Parfois il existe une aide gouvernementale pour des travaux de cette envergure, et il est souhaitable que les deux opérations aillent de pair. Il peut s'avérer nécessaire de modifier la direction des cours d'eau pour les rendre plus efficaces, et tout aussi nécessaire d'augmenter la dimension des champs avant de les niveler.

L'eau pénètre beaucoup plus facilement les sols granuleux (figure de gauche) que les sols à texture fine.







Méthodes d'Irrigation

Le pilier principal de tout système d'agriculture est l'agriculteur lui-même ; c'est lui qui fait fonctionner le système. Les obstacles qu'affrontent les agriculteurs servent de base à l'évaluation des problèmes existant dans de nombreux pays où la production alimentaire doit être augmentée de façon substantielle.

Le pilier principal de tout système d'agriculture est l'agriculteur lui-même ; c'est lui qui fait fonctionner le système. Les obstacles qu'affrontent les agriculteurs servent de base à l'évaluation des problèmes existant dans de nombreux pays où la production alimentaire doit être augmentée de façon substantielle.

Les difficultés de production engendrées dans les secteurs agricoles irrigués sont liées à des approvisionnements en eau incertains, à la mauvaise gestion de l'eau, à l'insignifiance des améliorations en matière d'adduction d'eau, à la persistance de pratiques obsolètes d'irrigation, inadaptées à l'agriculture moderne. Ces obstacles ne peuvent être surmontés par les agriculteurs eux-mêmes, seuls ou en groupe. Il leur faut de l'aide. Les gouvernements doivent intervenir et participer activement à la solution des

problèmes de gestion de l'eau en agriculture. Sinon, l'agriculture à base d'irrigation restera inefficace malgré les investissements nationaux dans des projets de grande envergure, tels que les barrages et autres coûteuses réalisations.

La plupart des agriculteurs sont prêts à utiliser la technologie disponible quand ils voient leur avantage immédiat ; mais quand cette même technologie leur est donnée sans explication ou sans leur participation dans le choix de telle ou telle méthode, leur accord est plus difficile à obtenir. On connaît mieux les aspects techniques des problèmes de gestion de l'eau que la façon d'écarter les usages, les traditions et les coutumes qui nuisent à l'application de cette technologie.

Il existe trois méthodes principales d'irrigation, avec quelques variantes. Les agriculteurs ont besoin d'une solide orientation pour savoir ce qui convient le mieux à leurs besoins et à leurs capacités. L'irrigation par ruissellement, l'irrigation souter-

rairie et l'irrigation par aspersion doivent satisfaire au moins à quatre exigences :

- Maintenir une humidité constante autour de la plante
- Maintenir un sol sain autour des racines
- Garantir la bonne marche du système, étant donné les caractéristiques du sol, la topographie et les autres conditions physiques.
- Rappporter un bénéfice net satisfaisant pour l'agriculteur.

Irrigation par Ruissellement

L'irrigation par ruissellement comprend plusieurs variantes, mais en gros, toutes reposent sur l'application d'eau directement sur la surface du terrain, soit sur toute l'étendue, soit en des points bien précis. Avant de déterminer quelle est la meilleure méthode pour l'agriculteur, on doit tenir compte des variables qui influent sur l'uniformité du système de distribution d'eau. Ces variables comprennent le taux d'infiltration, la topographie, la composition et la structure du sol, les propriétés de rétention d'eau, les indices de mouvement du sol et les besoins des cultures considérées.

L'un des moyens les plus simples d'irriguer, est de créer un bassin où l'eau est d'abord recueillie et peut être ensuite absorbée dans la terre progressivement. L'agriculteur choisit un champ plat et l'entoure d'un talus pour retenir l'eau d'irrigation. L'irrigation par bassin peut être appliquée à des zones n'ayant qu'un mètre carré de surface, et si on dispose d'un cours d'eau important, jusqu'à des zones de cinq hectares. Le taux d'infiltration est le facteur essentiel. Lorsque les sols ont un degré d'infiltration élevé, il faut des bassins moyens, sans quoi l'eau stagne à la sortie et ne pourra se répandre sur toute la surface. L'emploi des bassins n'est pas recommandé

pour des cultures dont la tige est sensible aux terrains humides, ni pour des plantes poussant dans un terrain qui a tendance à s'effriter lorsqu'il est inondé.

Malgré la simplicité de construction de l'irrigation par bassin, cette méthode présente des inconvénients : les talus de remblai peuvent gêner le déplacement des engins agricoles, et dans les parties basses l'eau va stagner, réduisant l'aération du sol et favorisant la prolifération des moustiques.

Pour l'irrigation de bordure il faut des sillons parallèles espacés entre eux de 3 à 50 m. entre lesquels l'agriculteur nivelle des bandes de terrain pour la culture. La longueur des sillons varie de 100 m. à 1000 m.

L'irrigation de bordure nécessite des écoulements d'eau importants à travers champ, une pente uniforme et douce dans le sens du courant, et des talus de remblai perpendiculaires à la pente, et si possible du même niveau. Les terrains de composition moyenne et très perméables sont bien adaptés à ce genre d'irrigation, quelle que soit la longueur des racines de la plante. La vitesse à laquelle l'eau s'infiltré est plus critique dans ce type d'irrigation que dans l'irrigation par bassin ; c'est le cours d'eau qui détermine la rapidité avec laquelle l'eau traverse les bandes de terre, de sorte que les différentes parties soient recouvertes d'eau pendant le temps nécessaire à la pénétration à une bonne profondeur.

La longueur et la largeur moyennes des bandes de terrain sont données par des tables, qui indiquent les dimensions nécessaires à une bonne pénétration. Ces tables indiquent en outre, le débit d'eau par mètre de largeur et l'inclinaison selon la composition du terrain. L'irrigation de bordure ne convient pas à des sols sablonneux,



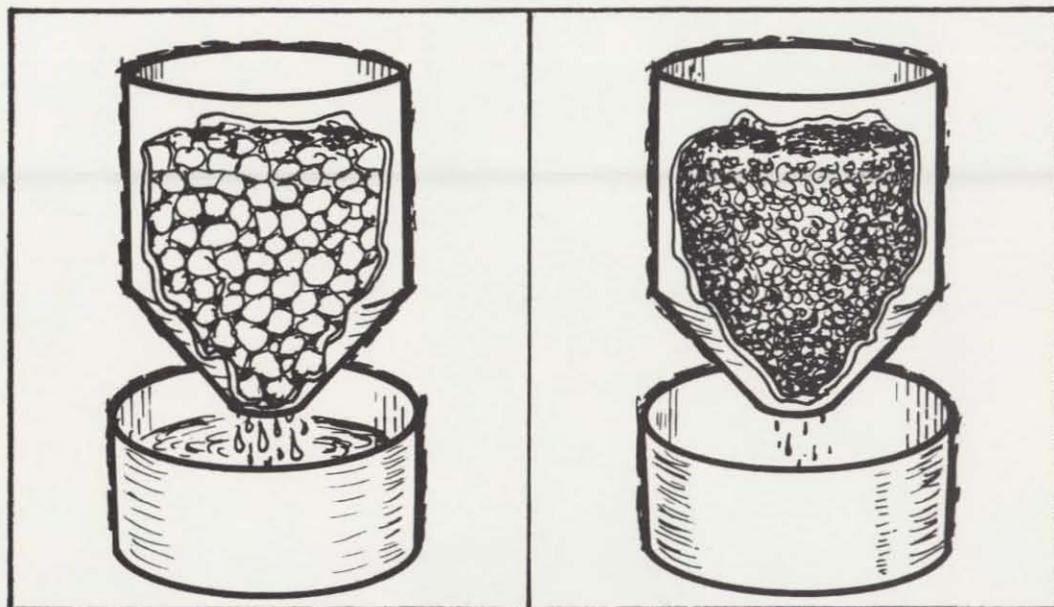
L'irrigation en sillon est très utile pour les cultures qui poussent en rangs, mais il faut faire attention que l'eau ne se répande pas d'un sillon sur les autres.

où l'eau est vite absorbée, mais en revanche convient à des sols gras au taux modéré d'absorption et aux possibilités moyennes de rétention d'eau, et va bien avec des sols argileux, à capacité d'absorption lente et de rétention élevé.

L'irrigation par sillons est mieux adaptée aux cultures qui poussent en rangées, comme le coton, le maïs, la canne à sucre, les légumes ou à celles dont les tiges ou les feuilles peuvent être endommagées

lorsque l'eau les recouvre. Selon cette méthode, il faut laisser couler l'eau dans de petites rigoles entre les rangées semées pour humidifier la base et les côtés des sillons. Pour obtenir des pentes uniformes, un nivellement soigneux est essentiel. L'espace entre les sillons dépend du type de culture, de l'équipement de labour disponible, de l'indice de déplacement latéral de l'eau, entre les sillons et les rigoles. Certaines cultures poussent en rangées simples, distantes de 70

L'eau pénètre beaucoup plus facilement les sols granuleux (figure de gauche) que les sols a texture fine.



cm à 100 cm, tandis que d'autres poussent en doubles rangées, disposées en carré et distantes d'au moins un mètre.

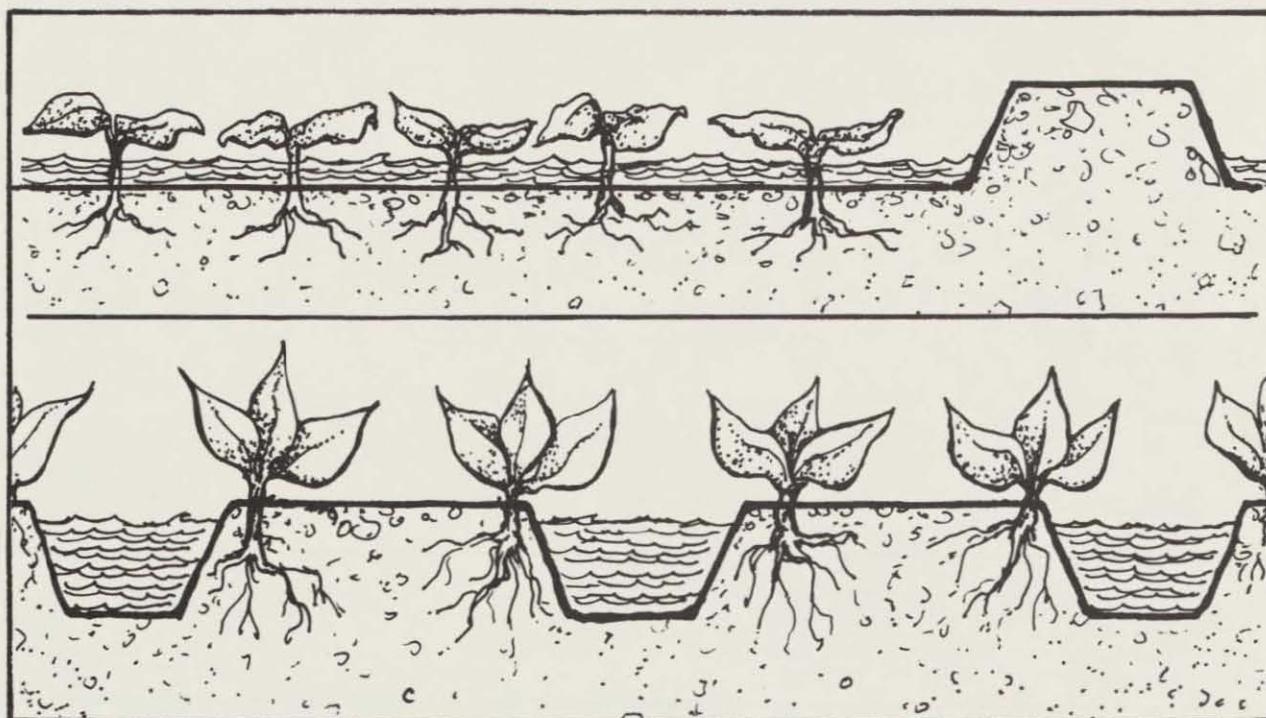
L'inclinaison des sillons devrait être uniforme, et si des terrains à forte pente doivent être irrigués, les sillons devraient suivre les niveaux du terrain, de sorte que l'inclinaison soit moins importante pour pouvoir éviter l'érosion, la submersion de la plante et les dépôts de terre sur des endroits plats. On doit exercer un contrôle total de l'eau ; l'écoulement latéral de l'eau d'un sillon à l'autre provoquera une érosion grave, accélérant au fur et à mesure que l'eau atteindra le bas.

Pour diminuer les pertes d'eau en bout de champ, on construit un système de « retour du courant ». Ce système récupère l'eau au bout du champ, et l'amène à un petit réservoir. De là l'eau est ramenée en tête du champ, pompée à travers un pipeline et ensuite déversée dans un fossé ou une autre conduite où elle se mélange avec l'eau d'origine.

L'irrigation par ondulations est semblable à l'irrigation par sillons, seule-

ment les cannelures sont plus petites, généralement profondes de 10 cm, et espacées de 40 à 75 cm. On irrigue en général entre les bordures. On préfère ce type d'irrigation pour des sols qui craquèlent après avoir été inondés et pour des zones qui n'ont pas été nivelées avant l'irrigation. Ce type d'irrigation doit être considéré seulement comme une solution temporaire pour un champ non nivelé. Il existe des tables pour indiquer la longueur des sillons, le degré d'inclinaison et la quantité moyenne d'eau nécessaire aux différents sols.

Lorsque l'eau abonde et que l'uniformité de distribution n'est pas indispensable, l'irrigation par niveaux est un moyen peu coûteux d'irriguer les cultures denses, plantées sur des terrains en pente. L'eau est libérée dans un fossé d'approvisionnement, légèrement nivelé et creusé le long du bord le plus élevé du champ. Si l'eau a tendance à stagner il faut creuser des fossés de captage le long des pentes, à intervalles réguliers, pour distribuer l'eau de façon plus équilibrée.



L'irrigation par bassin (en haut) produit un milieu pour les plantes très différent de celui produit par l'irrigation par sillon et par plate-bandes.

Les fossés de contour doivent être placés sur une pente de 0,2 à 0,4 % et les fossés de captage espacés de 30 m à 60 m les uns des autres, ou bien là où les différences de niveaux du champ sont comprises entre 2 m ou 3 m le long des fossés de captage, avec les mêmes intervalles que ceux utilisés le long du fossé de contour en haut du champ. Pour les champs étendus il faudra prévoir plus d'un fossé d'approvisionnement par niveau.

Il faut une expérience considérable pour utiliser de façon efficace l'irrigation par niveaux. Plusieurs essais peuvent s'avérer nécessaires pour déterminer les écoulements d'eau le long des fossés de contour et de captage, de sorte qu'elle puisse se répandre de façon plus uniforme sans provoquer d'érosion.

Irrigation Souterraine

On pratique l'irrigation souterraine par déplacement d'une nappe d'eau : en l'élevant au dessus de la nappe naturelle, ou en créant une autre au-dessus d'une couche de terrain imperméable relativement vaste. Cette méthode est mieux adaptée aux zones étendues avec l'aide des efforts communs d'un groupe d'agriculteurs travaillant ensemble. La nappe naturelle ou la couche imperméable doivent être à une faible profondeur au-dessous de la zone normale des racines ; et lorsque la nappe arrive juste sous la pointe des racines, les plantes resteront humides mais non saturées. Si la nappe d'eau arrive à recouvrir les racines, il faut rapidement en faire baisser le niveau, sans quoi les racines mourront, faute d'oxygène.



L'irrigation souterraine convient à des champs qui réunissent un ensemble de conditions assez particulières, ce qui en limite donc l'application. On ne peut la réaliser sans un système de drainage de haute capacité, et qui empêchera la nappe d'eau de dépasser la zone normale des racines, par suite de pluies excessives. Il faut installer une suite de puits d'observation afin de contrôler les variations de la nappe d'eau.

Irrigation par Aspersion

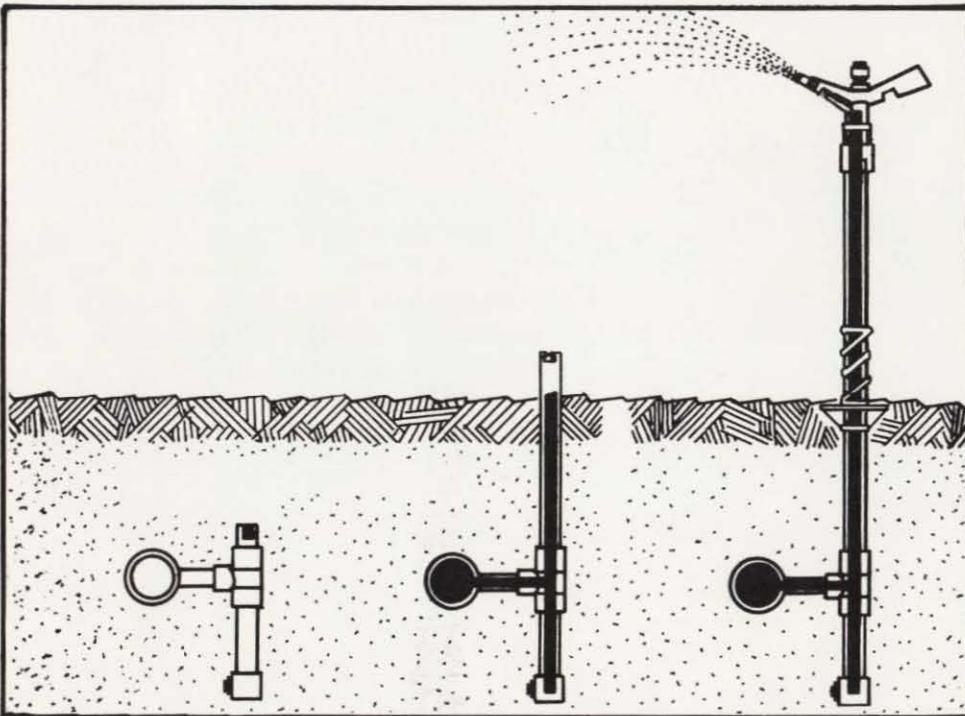
Le système d'irrigation par aspersion présente un avantage certain là où le relief est montagneux et accidenté, où le sol est excessivement sablonneux, et où les champs voisins montrent des taux d'absorption variables, surtout ceux dont l'indice d'absorption dépasse 10 cm par heure. Même si la répartition de l'eau n'est jamais uniforme, c'est pourtant le meilleur système pour de nombreuses fermes où l'irrigation par ruissellement ou l'irrigation souterraine ne

L'irrigation par ruissellement est la méthode d'irrigation la moins coûteuse, et peut augmenter les rendements de façon spectaculaire.

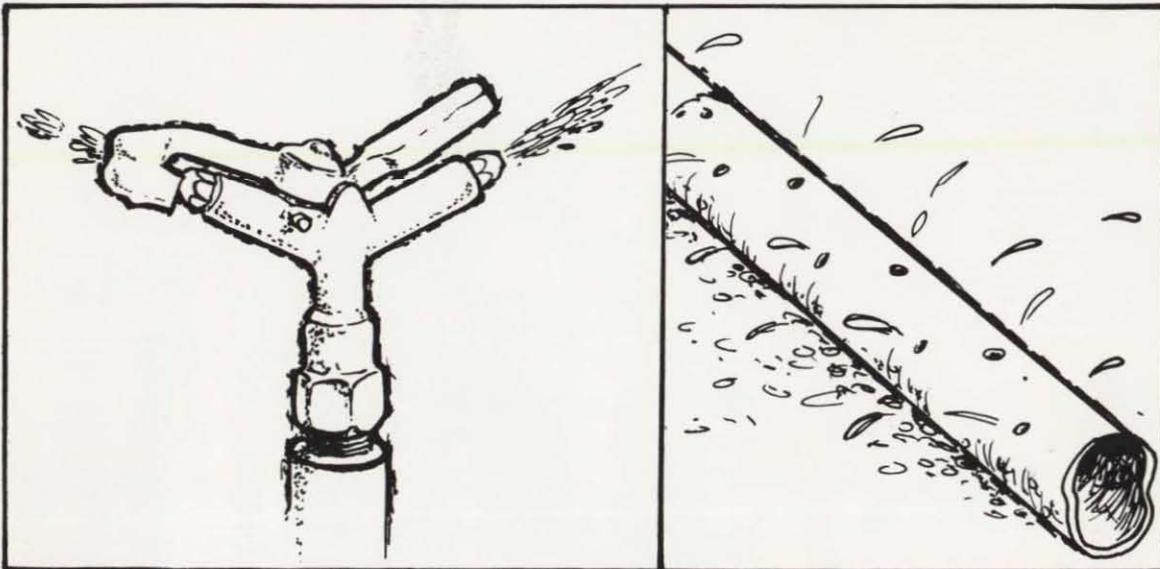




L'irrigation par aspersion est une méthode d'irrigation qui présente de nombreux avantages pour des sols sablonneux et irréguliers.



Certains systèmes d'arrosage sont mis en place de façon définitive et demandent un entretien constant de façon à maintenir leur efficacité.



Les tuyaux perforés sont un système d'arrosage simple ; on les utilise en particulier dans les sols à taux d'infiltration élevés.

peut pas être pratiquée. Des vents violents peuvent détourner l'eau envoyée, entraînant une baisse de l'efficacité de l'irrigation.

Le principal inconvénient de l'irrigation par aspersion en est le coût élevé. Il faut des pompes, des tuyaux, des becs d'arrosage, et des raccords. Par ailleurs, comme le prix de l'essence augmente, le coût de fonctionnement des pompes qui donnent la pression aux tuyaux d'arrosage peut atteindre des proportions trop élevées.

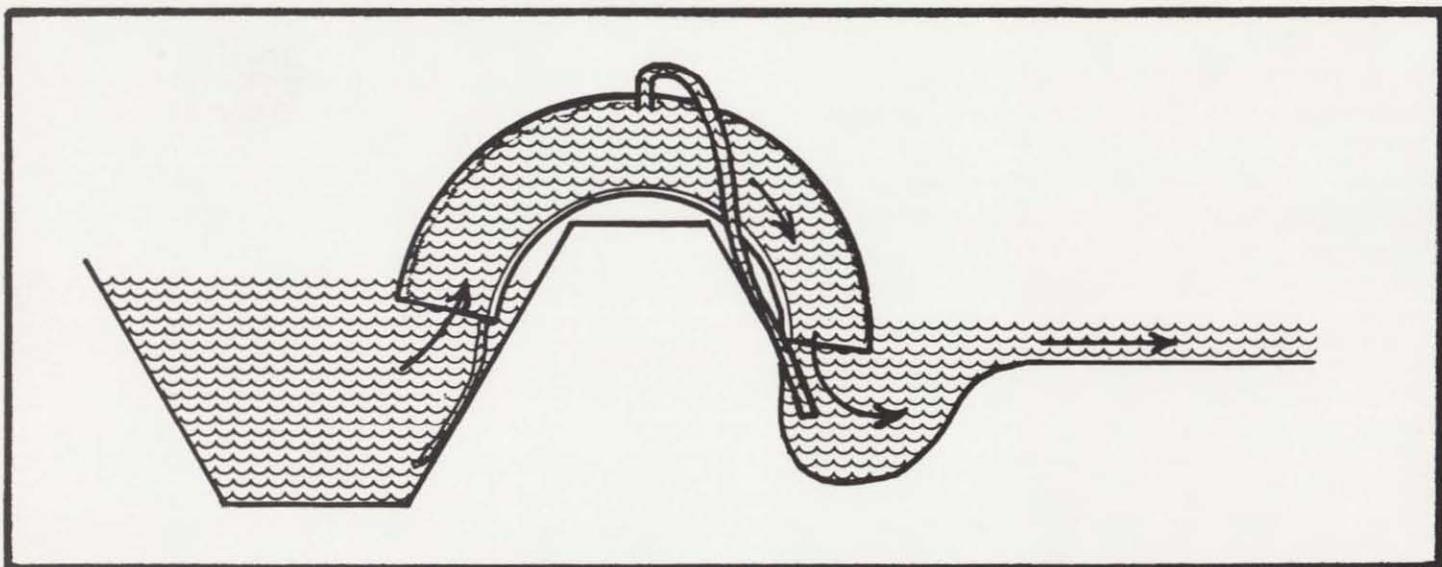
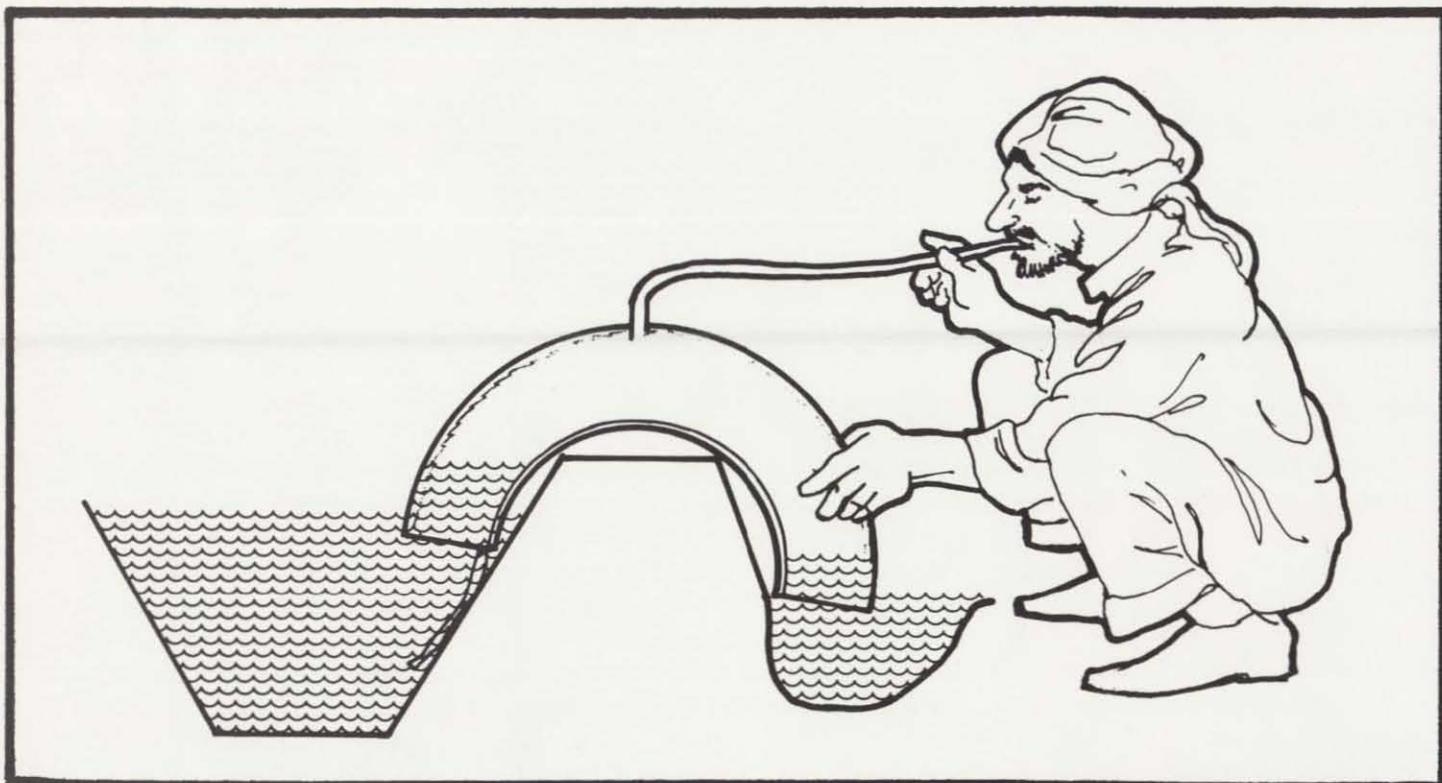
Il existe de nombreux systèmes d'irrigation par aspersion, tels que ceux qui utilisent les becs d'arrosage non rotatifs, les tuyaux percés, les tourniquets hydrauliques réactifs et ceux par impact. Tous présentent des avantages et des inconvénients.

Le plus simple tuyau d'arrosage de faible pression est celui à tête fixe, sans accessoire mobile ; il est sûr et facile à utiliser mais ces têtes ont un faible diamètre d'arrosage, des orifices minuscules qui sont facilement obstrués et des taux relativement élevés de consommation d'eau.

Un autre système relativement simple est celui des tuyaux perforés ; l'eau sort de petits trous d'environ 1,6 mm de diamètre, percés le long du tuyau. L'eau est projetée en dehors des trous exactement comme de la pluie, et retombe en petites gouttelettes qui

se répandent dans le champ sous l'effet du vent. La superficie couverte de cette façon varie de 7 à 15 mètres et augmente avec la pression. On n'utilise cette méthode que pour les sols très perméables, car les taux d'application sont en moyenne de 19 mm et plus par heure. Même avec un bon filtre, les orifices ont tendance à être obstrués à cause de particules ramassées pendant le transfert des tuyaux d'un endroit du champ à l'autre, ceci en raison des dépôts minéraux autour des trous ou à cause de la corrosion à l'intérieur des tuyaux. Un avantage de ce système est que les tuyaux peuvent généralement être fabriqués localement.

Les tourniquets hydrauliques qui fonctionnent grâce à un système de jet puissant lorsque l'eau sort de la tête du tuyau d'arrosage, ou par un dispositif d'impact, sont



On peut fabriquer des siphons efficaces à partir de pneus usagés et de ferraille à un coût modeste pour le fermier.

intéressants pour deux raisons : le jet étant tout entier concentré dans deux directions au lieu de se trouver dispersé sur un angle de 360°, la surface arrosée augmente, et ce, quelle que soit la vitesse de sortie de l'eau ; par ailleurs, l'indice de pénétration est plus faible parce que la surface arrosée est plus étendue. Les tourniquets doivent être méticuleusement nettoyés car un grain de sable glissé dans l'anneau de rotation interrompra le fonctionnement du système.

Irrigation Goutte à Goutte

Une autre méthode d'irrigation de surface ayant retenu l'attention des spécialistes au cours de ces dernières années est l'irrigation au goutte à goutte ; on utilise un système de pipe-lines avec des sorties rapprochées pour amener l'eau directement vers chaque plante. Cette méthode est bien connue pour les cultures en serre, mais c'est une pratique relativement nouvelle dans les champs de légumes, dans les vergers ou pour d'autres cultures dont les plantes poussent de façon très espacée.

Ce type d'irrigation, en système continu et qui ne nécessite pas un entretien coûteux,

est en train de se répandre aux U.S.A., en Australie, en Afrique du Sud et en Israël. Etant donné que l'eau coule pratiquement sans arrêt, il y a une partie de la zone des racines qui contient une quantité idéale d'eau, ce qui est avantageux pour de nombreuses plantes dont le rendement maximum dépend du maintien d'une quantité d'eau optimale dans le sol. Le taux d'application d'eau n'est jamais aussi grand que le taux de pénétration, donc il n'y a jamais de ruissellement.

Malgré l'attrait du système, ce type d'irrigation nécessite une quantité de composants qui exige une supervision technique. L'ensemble du système suppose des émetteurs, une station de régularisation de l'eau, des compteurs, des filtres, des écrans, des injections d'engrais et d'algacides, des instruments régulateurs d'eau et de pression et enfin des chronomètres. Le coût, par hectare, d'installation d'un système d'irrigation au goutte à goutte est élevé, et même prohibitif dans des pays gros importateurs de pétrole. Ce système est réservé aux agriculteurs qui produisent des cultures très rentables.



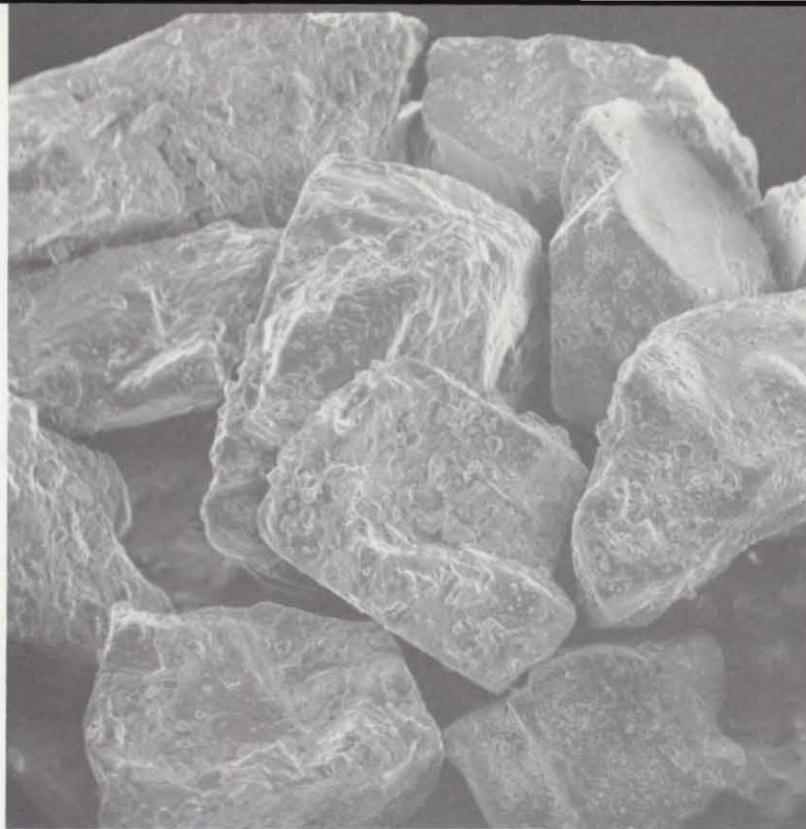
4

Qualité des Eaux et Production Agricole

Les agriculteurs sans connaissances expertes du processus chimique se déroulant dans le sol et incapables de voir le sel dissous dans leur eau d'irrigation sont étonnés à juste titre, lorsqu'il s'aperçoivent que leurs champs sont devenus stériles. Ces expériences dramatiques sont loin de constituer des cas isolés. Cela arrive dans de nombreuses régions du monde où les sels s'accumulent dans la terre en raison d'une irrigation continue avec une eau de mauvaise qualité. Cependant l'accumulation saline affecte les plantes bien avant que des signes externes de sa présence n'apparaissent. Les feuilles peuvent sembler vert foncé, avec une consistance bien épaisse et appétissante, mais les plants seront généralement atrophiés et la récolte de fruits ou de grains notablement réduite. Les sels qui s'accumulent dans l'eau d'irrigation ont pour origine l'écorce terrestre. Cette dernière est constamment sujette à des changements climatologiques qui libèrent les sels et les répandent dans l'eau. Lorsque le sol devient vraiment salin, la surface se couvre d'une croûte blanche ou bien de taches sombres, humides et huileuses.

La qualité de l'eau d'irrigation répandue dans les champs dépend de trois facteurs principaux. Le premier, la salinité, est directement liée à la quantité de sel dissous. Pratiquement toutes les eaux d'irrigation contiennent une quantité de sel nocif, non éliminé par le processus d'évapotranspiration. On arrive à maintenir une quantité minimale de sel en filtrant l'eau.

Le second facteur est de maintenir la perméabilité du sol, de sorte que l'eau puisse circuler librement dans le sol. Ce problème augmente lorsque la structure du sol est altérée par suite de la dispersion des particules sur l'ensemble du sol. Ceci s'explique généralement par un excès de sodium par rapport au calcium et au magnésium contenus dans l'eau, un déséquilibre souvent identifié comme étant un problème d'alcalinité. Il existe aussi des cas où les problèmes de perméabilité peuvent venir d'une eau trop pure, c'est-à-dire presque sans sel, mais c'est très rare. On peut appliquer un traitement chimique pour corriger les problèmes de perméabilité du sol, en lui ajoutant des doses précises de gypse pour rétablir l'équilibre.



Le sel, qu'on voit ici à travers un microscope à électron, est l'un des plus grands ennemis de l'agriculteur, lorsqu'il y en a trop dans l'eau d'irrigation.

Le troisième problème est dû à la présence de substances très toxiques telles que le bore ou des métaux pesants dans l'eau. Bien que le bore soit essentiel pour la croissance des plantes, il doit être en faible quantité sans quoi il deviendrait un agent toxique pour les plantes.

D'autres facteurs peuvent affecter la qualité de l'eau d'irrigation, mais les trois cités plus haut sont les plus importants. Généralement les eaux d'irrigation sont classées suivant leur teneur en sel et la quantité relative de sodium contenue, comparée à celle de calcium et de magnésium. Il faut aussi tenir compte du bore, car il est important que la quantité de bore soit inférieure au niveau toxique.

Le Problème de Salinité

Le degré de salinité nuisible aux cultures dépend de la culture elle-même. On a établi la quantité de sel admise pour la plupart des cultures dans le monde. De nombreux facteurs sont à considérer lorsqu'on

évalue le degré de salinité : Le volume d'eau d'irrigation, le type de culture, les caractéristiques du sol, la quantité d'eau annuelle provenant, soit des eaux de pluie, soit des excès d'eau d'irrigation. L'eau d'infiltration a tendance à transporter trop de sels et il est important de la filtrer pour éviter la formation de toxiques.

Le degré de salinité de l'eau peut être déterminé directement en laissant s'évaporer une certaine quantité d'eau identifiée au préalable. Il suffit ensuite de mesurer la quantité de sels résiduels. Les résultats sont exprimés en quantité de sels par volume d'eau exprimé en millions (p.p.m.). Une méthode moins directe et plus répandue pour déterminer la teneur en sel est de mesurer la conductivité électrique de l'eau. Plus la conductivité (EC) est grande, plus la teneur en sel est importante. La conductivité électrique est exprimée en « millimhos » par centimètre. La quantité totale de sels dissous en p.p.m. est représentée par la valeur de la conductivité électrique multipliée par 640.





Il faut absolument tester le taux de salinité dans l'eau d'irrigation pour résoudre les problèmes de qualité de l'eau et de mauvaises récoltes.

La salinité a un effet adverse sur les plantes en réduisant leur possibilité d'absorption de l'eau. On note une perte de production bien avant que la plante ne meure. Les pertes de production peuvent atteindre 50 % ou plus pendant la croissance des plantes.

Le filtrage est le seul moyen pratique de dessalement, mais son efficacité dépend d'un drainage adéquat, surtout lorsqu'il existe une couche imperméable sous la zone des racines. un simple lavage de surface est insuffisant. Le filtrage sera plus efficace en remplissant un bassin d'eau. L'eau doit pénétrer le sol pour dissoudre les sels et les entraîner sous les racines.

Le Problème du Sodium (alcalinité)

Un excès de sodium, dans l'eau d'irrigation surtout par rapport à d'autres cations tels que le calcium et le magnésium, peut être nuisible aux champs. Un mauvais ratio sodium-calcium provoque la perte de la texture granuleuse de la terre, et lui donne une consistance argileuse, à travers ce laquelle ni l'air ni l'eau ne peuvent se déplacer librement. En pratique on a résolu le problème grâce à l'addition d'un composé sulfurique, par exemple le gypse, soit au terrain, soit à l'eau d'irrigation. Le soufre se combine avec le sodium pour le rendre soluble, et par conséquent dissolvable.

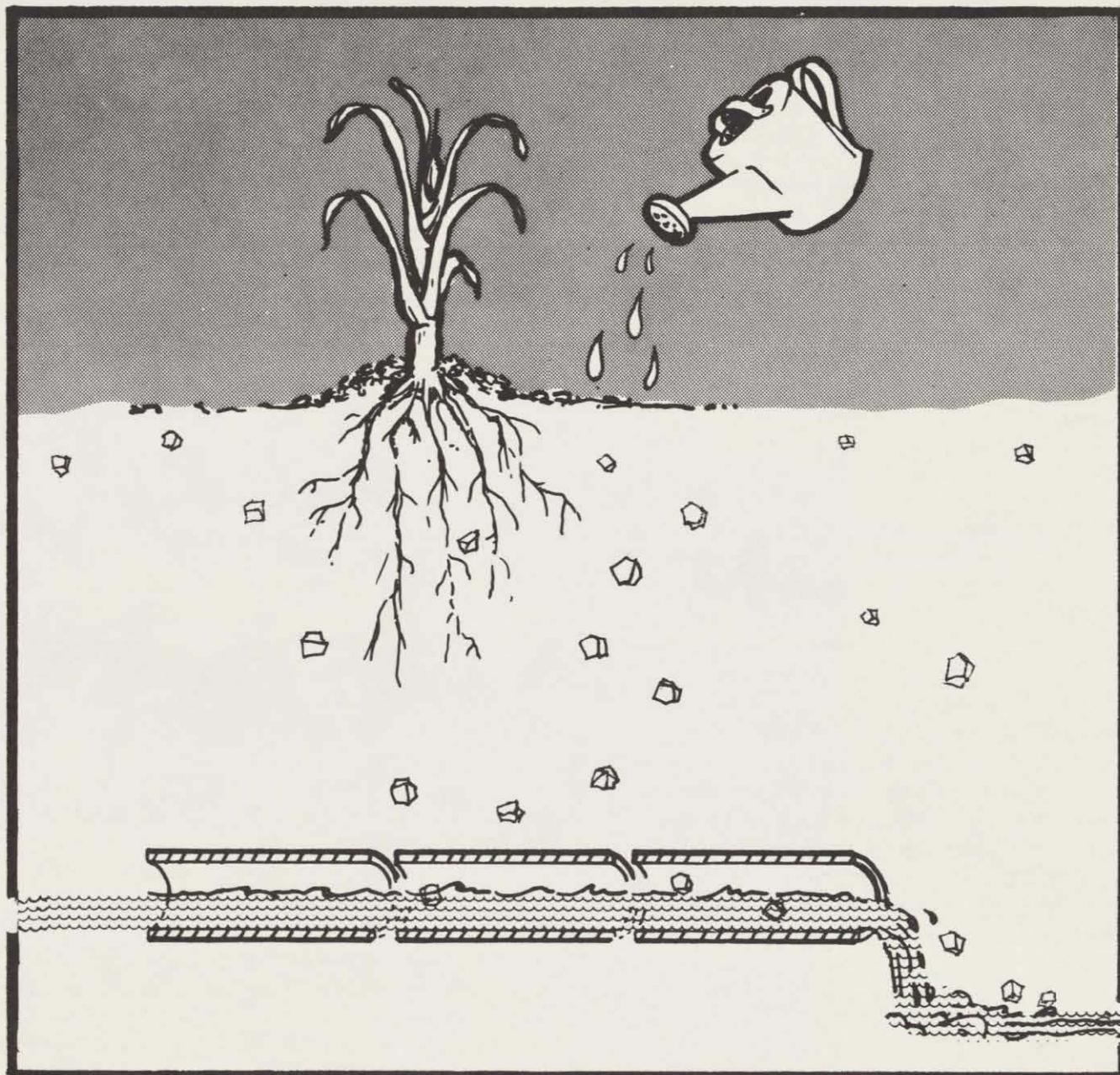
Le gypse en poudre est peu rentable pour résoudre le problème d'alcalinité ; on utilise un gypse brut, qui, pour un même poids donné, coûte entre le tiers et la moitié

de son équivalent en poudre. Des chercheurs universitaires, engagés dans un projet de l'AID, ont découvert que les roches de gypse de 4 à 7 kg placés dans les canaux perdent de 10 à 15 % de leur poids par heure d'exposition en eau courante. D'autres expériences ont été réalisées, en plaçant les

blocs de gypse dans des puits auxiliaires et dans des canaux cimentés.

Les déséquilibres chimiques qui menacent les sols peuvent être corrigés, mais cela nécessite une compréhension de ce qui

Le filtrage est la seule méthode efficace pour l'élimination des dépôts de sel nocifs, mais nécessite un système de drainage appelé à charrier les éléments toxiques.



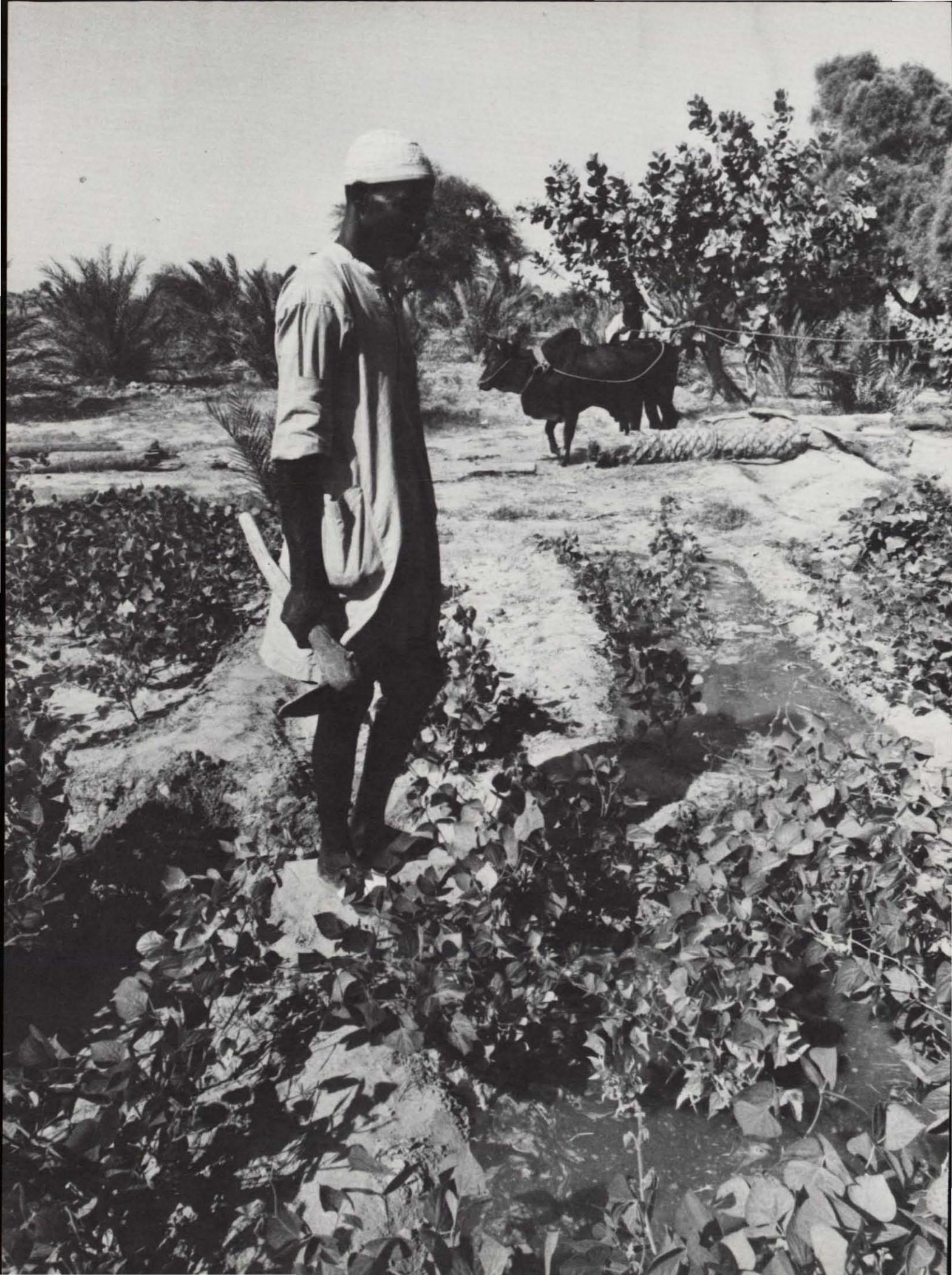
arrive au sol lui-même. Les techniciens doivent insister sur la nécessité de procéder à une analyse chimique soignée du sol et de l'eau d'irrigation. Un exemple tiré d'Amérique latine illustre ce point. Les agriculteurs intéressés à un projet d'irrigation croyaient avoir affaire à un problème de salinité car leurs récoltes n'étaient pas bonnes. Le filtrage n'apporta aucune amélioration et une étude chimique complète révéla que le problème était dû à un déséquilibre micronutritif causé par une quantité excessive de métaux pesants dans le terrain.

Les problèmes de salinité et d'alcalinité sont les cancers du sol ; à cause du caractère insidieux de leur action, on ne les reconnaît seulement que lorsque les dommages sont tels que l'agriculteur n'a que l'alternative suivante : abandonner son terrain ou dépenser pour améliorer sa terre autant ou plus que celle-ci ne peut normalement rapporter. Les agriculteurs doivent être tenus au courant de ces problèmes pour pouvoir entreprendre une action à temps qui protège la terre, sauve les cultures et ménage les revenus.





Les agriculteurs qui comprennent les dangers des éléments chimiques dans le sol, peuvent assurer un meilleur entretien de leurs terres en vue de maximiser les rendements.





Drainage à la Ferme

Les techniciens et les planificateurs qui travaillent avec les agriculteurs pour améliorer la gestion d'eau sur le terrain ne devraient pas oublier qu'aucun nouveau système d'irrigation ne devrait être inauguré sans prendre en considération les problèmes de drainage qui vont immanquablement surgir. Dans les zones humides où la terre peut facilement s'imbiber ou quand la nappe d'eau est près de la surface, le besoin de drainage est bien évident. Il l'est moins dans les champs irrigués des régions arides — y compris les déserts — bien que le drainage y soit aussi critique pour l'agriculture qu'il ne l'est pour le marais.

Quand l'eau d'irrigation répand du sel dans les champs, ce sel doit éventuellement être enlevé, faute de quoi il s'accumule au point de détruire la vitalité des champs. Le seul moyen de dessalement est de drainer l'eau qui a filtré à travers la surface du sol en dissolvant les sels en excès dans le pourtour des racines. Cette eau filtrée peut s'obtenir à partir d'une irrigation importante périodique, souvent effectuée juste avant les semailles, ou à partir des pluies saisonnières, qui adviennent dans la plupart des régions. En tout cas l'eau doit pénétrer le sol pour

entraîner les sels et être drainée par le bas. S'il n'existe pas de drainage naturel souterrain, c'est à l'homme de le fournir.

Il peut sembler paradoxal à première vue, lorsqu'on implante un système d'irrigation dans un désert où l'eau est pratiquement absente, d'avoir à mettre en place un système de drainage souterrain. D'importantes sommes d'argent ont été investies récemment dans un programme destiné à ouvrir de nouvelles terres à la culture. On a utilisé pour le faire un système fort bien conçu, qui pompait l'eau d'un fleuve important de la région. Pendant un temps, l'eau fut distribuée efficacement et les récoltes prospérèrent. Cependant, le système de drainage à canal ouvert s'avéra désastreux. Les sels s'accumulèrent, et la terre devint stérile. L'opération fut un échec parce que le drainage était inadéquat.

Un drainage déficient occasionne une série de risques et de catastrophes pour l'agriculteur. L'été, les vapeurs des eaux stagnantes font périr les récoltes, cette même eau servant de bouillon de culture aux moustiques. Le sol devient compact et imperméable. Les sels s'accumulent, le milieu ambiant des racines se détériore. Les plantes



Les régions sèches aussi bien que les régions humides nécessitent un drainage adéquat.

sont attaquées par des champignons prolifères. Les algues et les mauvaises herbes prolifèrent, et finissent par envahir les zones pauvrement drainées.

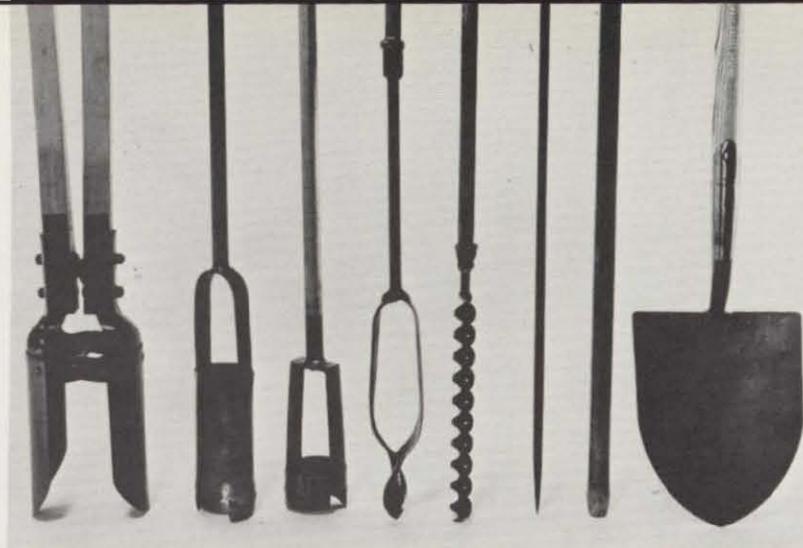
Un exemple illustre ce problème. Si un champ de blé est irrigué avec de l'eau contenant 2500 p.p.m. de sel, la récolte recevra 25 tonnes de sel pour chaque mètre cube d'eau fourni. Si les champs reçoivent 50 cm³ d'eau le sol absorbera au moins 12,5 tonnes de sel par hectare chaque année. 5 centimètres cubes d'eau doivent filtrer à travers le sol pour maintenir un équilibre salin satisfaisant. Si le drainage naturel ne permet pas la réalisation de cette opération, le drainage artificiel doit être pratiqué. Si rien n'est fait, c'est la fin du champ en tant qu'unité agricole productive.

Des problèmes de drainage local peuvent se poser près d'un cours d'eau où se produisent des infiltrations, faisant ainsi monter la nappe d'eau vers la surface. Cette eau, recueillie par les opérations de drainage, peut être de la même qualité que celle du canal, et un système de pompage permet de

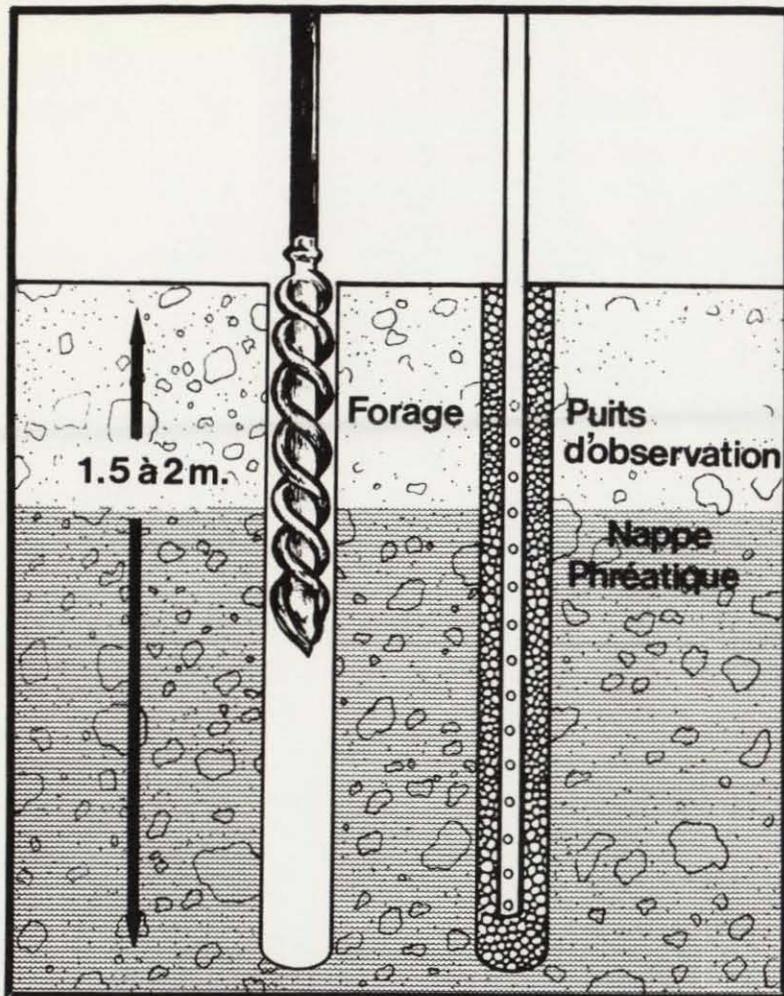
la réutiliser pour l'irrigation des champs. Cette pratique dépend totalement de la qualité de l'eau. Chaque utilisation d'une même eau d'irrigation provoque une diminution dans la qualité de cette eau, car une partie s'évapore, faisant augmenter la proportion de sel.

Etudes Préliminaires au Drainage

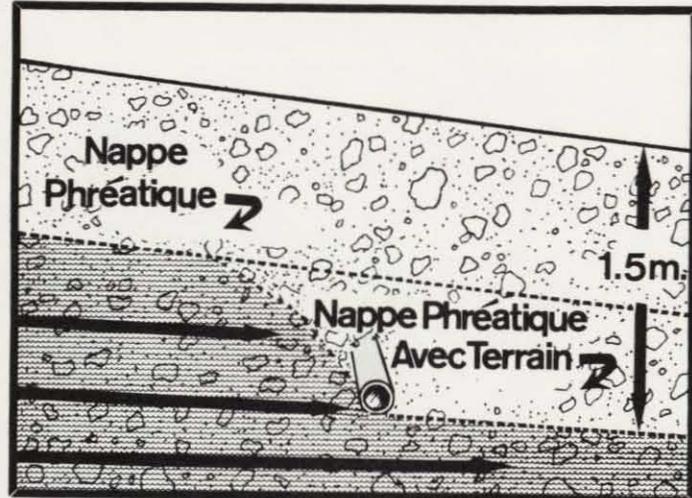
Lorsqu'on entreprend de résoudre un problème de drainage, le premier pas consiste à déterminer la source, la direction du courant et le volume d'eau nuisible. Il faut étudier les relevés des eaux de pluie et de ruissellement pour déterminer le volume et



Les forages donnent des indications sur la texture du sol, sa structure, sa perméabilité relative et la profondeur de la nappe souterraine



On peut transformer les forages en puits d'observation en tassant du gravier dans le tuyau placé dans le trou. De tels puits serviront aux techniciens pour déterminer les variations de la nappe souterraine. On peut enterrer des drains de façon à empêcher la nappe d'eau de remonter trop près de la surface du sol.



l'intensité d'eau nuisible. Les chercheurs doivent étudier les cartes topographiques et les cartes aériennes qui révèlent les dépressions de terrain, la localisation des canaux, les zones susceptibles d'inondation, et indiquent les sites adéquats pour la mise en place des drains. Les résultats des forages révèlent les caractéristiques géologiques du terrain et peuvent déterminer la présence de puits artésiens, aussi bien les poches d'eau coincées par les stratifications du sous-sol. Des mesurages des cours d'eau indiqueront la perte produite par infiltration ou au contraire les excès d'eau. Ces échantillonnages ne sont presque jamais suffisants pour conduire le chercheur au coeur du problème, et habituellement on fait appel sur le terrain à un travail plus détaillé.

On devra examiner les plantes affectées et effectuer des tests du sol environnant. Un outil indispensable utilisé pour explorer les conditions du sous-sol et pour forer des puits d'observation est la « sonde » dont le

diamètre varie de 5 à 10 cm. Les forages doivent s'enfoncer à une profondeur égale à une fois et demie celle prévue pour le drain ; plus on effectuera de forages, et plus on recueillera de renseignements utiles. Les forages fournissent des renseignements sur la composition du sol, sa structure, sa perméabilité relative et la profondeur de la nappe d'eau. On peut transformer les forages en puits d'observation en y introduisant un tube en plastique dont le diamètre sera légèrement inférieur à celui de la sonde et que l'on calera en tassant du gravier tout autour. De tels puits sont essentiels pour mesurer les variations de la nappe phréatique, et peuvent aider à déterminer si l'élévation du niveau est due à l'irrigation, aux précipitations ou aux infiltrations provenant des fossés ou des champs adjacents. C'est seulement après avoir établi la cause et l'envergure du problème que les techniciens peuvent suggérer aux agriculteurs les

meilleurs moyens de protéger leur champs et leurs récoltes.

Les Méthodes de Drainage

En général les problèmes de drainage sont plus graves dans les endroits où l'eau de surface est utilisée pour l'irrigation. Le problème peut être résolu par l'installation de drains de captage ou de trop-plein, le choix se faisant d'abord en fonction des caractéristiques d'écoulement des eaux en excès, des conditions du sous-sol, et des caractéristiques physiographiques de la zone affectée.

La tactique préférée est de capter l'eau nuisible avant qu'elle ne puisse atteindre la zone de culture, ce qui est la fonction d'un drain de captage. Les drains de captage sont utilisés pour assainir le sol et le sous-sol, comme par exemple dans le cas des eaux d'infiltration d'un canal, qui se répand dans une zone de culture par écoulement latéral sur un terrain relativement imperméable. Les drains de captage doivent être posés aussi profondément que possible pour faciliter l'écoulement de l'eau au-dessous du sol sur une strate imperméable. Certains drains de captage ne sont que des fossés ouverts, alors que d'autres sont dallés. Il faut choisir avec soin le matériau de revêtement recouvrant les drains, de façon à ce qu'il soit poreux et capable d'absorber suffisamment d'eau, pour que celle-ci ne contamine pas le système de drainage.

Dans les endroits où on ne peut pas utiliser de drains de captage, des drains de trop-plein peuvent souvent résoudre le problème. Les drains de trop-plein sont disposés de façon systématique ou au hasard dans le champ considéré. Les lignes latérales sont généralement disposées en forme de quadrillage ou bien de manière oblique, chaque branchement latéral étant relié à un canal plus important ; ce dernier déverse l'excès d'eau dans un collecteur central qui dessert les systèmes de plusieurs fermes. Cependant tout système de drainage ne vaut que par sa capacité d'évacuation. Quand le niveau d'eau dans le collecteur est supérieur à celui du

drain ou du fossé de drainage, le problème n'est résolu qu'en installant un puisard et une pompe, permettant d'aspirer et de déverser l'eau dans un collecteur situé plus haut.

Les agriculteurs peuvent choisir le type de drain qui doit être utilisé pour résoudre leurs problèmes particuliers. L'option sera choisie en fonction des possibilités financières, des caractéristiques du terrain et des coutumes.

Il n'y a rien de mieux que les drains ouverts pour évacuer rapidement de grandes quantités d'eau, parce que l'eau qui s'écoule à la surface du terrain peut pénétrer dans un drain ouvert bien plus rapidement que dans un drain fermé. Les drains ouverts sont moins coûteux et peuvent capter efficacement l'eau de ruissellement provenant des collines ou d'autres terrains plus élevés, tendant à être inondés au cours de fortes précipitations. La taille des fossés ouverts dont on a besoin pour transporter des quantités d'eau données est dictée par la pente et le profil du terrain, lequel à son tour est déterminé par la texture du sol. Les drains destinés au seul transport d'eau de surface ou à l'interception des eaux de ruissellement doivent être prévus pour fonctionner à plein rendement quand l'eau de ruissellement est à son maximum. Les drains destinés à abaisser le niveau de la nappe aquifère doivent être prévus de telle manière que l'eau qu'ils recueillent circule à un niveau inférieur à la profondeur souhaitée de la nappe aquifère. La construction de drains ouverts ne présente pas de difficulté, le coût est raisonnable ; en fait les seuls frais sont ceux d'entretien du système tout au long de l'année.

Les conduits de drains sont de deux sortes ; de courtes buses de ciment ou d'argile mises bout à bout pour constituer une ligne continue, ou bien des tuyaux plus longs, en plastique et perforés. Quand ils sont proprement installés, de tels drains demandent peu d'entretien et ne gênent pas les travaux agricoles.

Quand le niveau de la nappe phréatique est élevé et que l'indice de salinité atteint le



seuil d'alerte, il faut enterrer les buses plus profondément. La nappe doit être suffisamment profonde pour que l'action capillaire ne puisse la rapprocher de la surface où elle commencerait à s'évaporer et libérer les sels dissous.

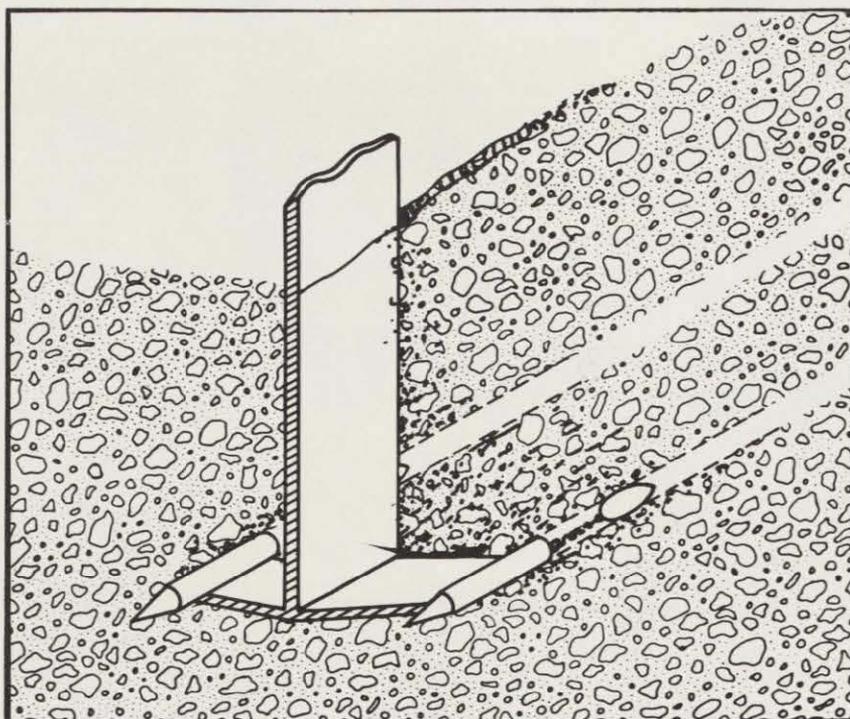
L'intervalle entre les lignes de drains doit être tel que le niveau de la nappe phréatique compris entre ces lignes soit à une profondeur suffisante pour que les racines des cultures puissent pousser dans un milieu non saturé. Pour maintenir la nappe à une profondeur idéale, l'intervalle est proportionnel à la profondeur du drain. En aucun cas la nappe d'eau ne devra s'abaisser à un niveau inférieur à celui des buses.

Les conduits disposés au-dessus de la nappe aquifère ne pourront recueillir l'eau s'infiltrant vers le bas, et aucune eau ne pourra pénétrer dans le conduit avant que la nappe d'eau ne s'élève au même niveau que celui des conduits. Plusieurs formules ont

été établies pour espacer les lignes des conduits, mais étant donné que la circulation de l'eau jusqu'aux conduits dépend surtout de la composition et de la structure du sol, ces formules ne sont qu'approximatives. En pratique il est bon de commencer par des intervalles plutôt espacés. Si l'expérience démontre que les intervalles ne font pas l'affaire, on peut disposer davantage de conduits latéraux. Si un agriculteur travaille une terre contenant des alluvions ou du sable très fin, il notera que le sol a tendance à se liquéfier quand il se sature d'eau. Si cela arrive on doit lui montrer comment entourer le conduit d'une couche de gravier de 5 à 10 cm d'épaisseur. Cette couche empêchera le sol liquéfié de s'écouler dans le conduit et d'en boucher les ouvertures.

En Angleterre on utilise les drains-taupe depuis le 18ème siècle, et ailleurs, avec le même succès, en Australie et en Nouvelle Zélande. En 1970 l'AID a lancé des études intensives pour déterminer si les drains-

On ne peut utiliser des double drains-taupe que dans certaines conditions, et dans des sols particuliers.



taupe pouvaient s'employer avec succès dans d'autres pays, étant donné que de tels drains sont faciles à installer et nécessitent un investissement relativement faible.

L'équipement normal des drains-taupe consiste en une torpille d'acier soudée à une lame d'acier verticale et qui travaille le sol à l'aide d'un équipement mécanisé. La plupart des drains-taupe sont creusés à 45 à 60 cm de la surface. L'expérience a montré que les drains-taupe à canal unique sont peu durables.

La détérioration est provoquée par des sédiments qui tombent dans le sillon creusé par la lame verticale et qui remplissent rapidement le drain lui-même.

Le problème peut être considérablement réduit par l'utilisation d'un équipement qui creuse deux canaux à la fois. Étant donné que la lame verticale est placée à mi-chemin entre les deux torpilles, la majeure partie des sédiments sont coincés dans cette tranchée et très peu s'infiltrent dans les drains.

L'expérience des doubles « drains-taupe » tend à prouver qu'ils peuvent être efficacement utilisés dans l'argile, les limons et les sols organiques fibreux. La durée d'utilisation des drains-taupe dans les autres sols est trop courte pour qu'on prenne la peine de les

creuser ; quand ils sont recouverts d'une couche de plastique, les drains-taupes durent assez longtemps pour que leur emploi puisse être considéré comme une méthode appropriée de drainage du sous-sol. Des tests réalisés sur des drains-taupe non renforcés montrent qu'ils commenceront à se détériorer d'autant plus vite qu'ils recueilleront plus d'eau.

Des fortes précipitations survenant après la construction des drains-taupe détruiront le système, surtout si de fortes pluies s'abattent sur un sol déjà saturé.

Le meilleur moment pour creuser les drains-taupe est quand la surface est suffisamment sèche pour assurer un bon hâlage, et quand le sous-sol est juste assez humide pour assurer la plasticité nécessaire à l'obtention de canaux aux parois lisses. Un sous-sol trop sec fera s'effriter les parois au moment où la torpille creusera le sous-sol, recouvrant le canal de fines particules de terre.





Mesure de l'Eau et Structures

Les conseillers techniques en irrigation doivent mesurer le courant avec précision, afin de déterminer l'efficacité des systèmes d'irrigation et être ainsi en mesure de conseiller les agriculteurs sur la meilleure façon d'utiliser l'eau dont ils disposent. Les agriculteurs n'ont aucun moyen d'évaluer leurs systèmes d'irrigation s'ils n'ont pas la possibilité de mesurer la perte d'eau entre la source et son arrivée dans le champ. En outre ils doivent savoir si leurs cultures ont bien reçu suffisamment d'eau. Pour s'assurer de l'efficacité de procédé d'irrigation, il faut mesurer le courant d'eau à divers endroits du système.

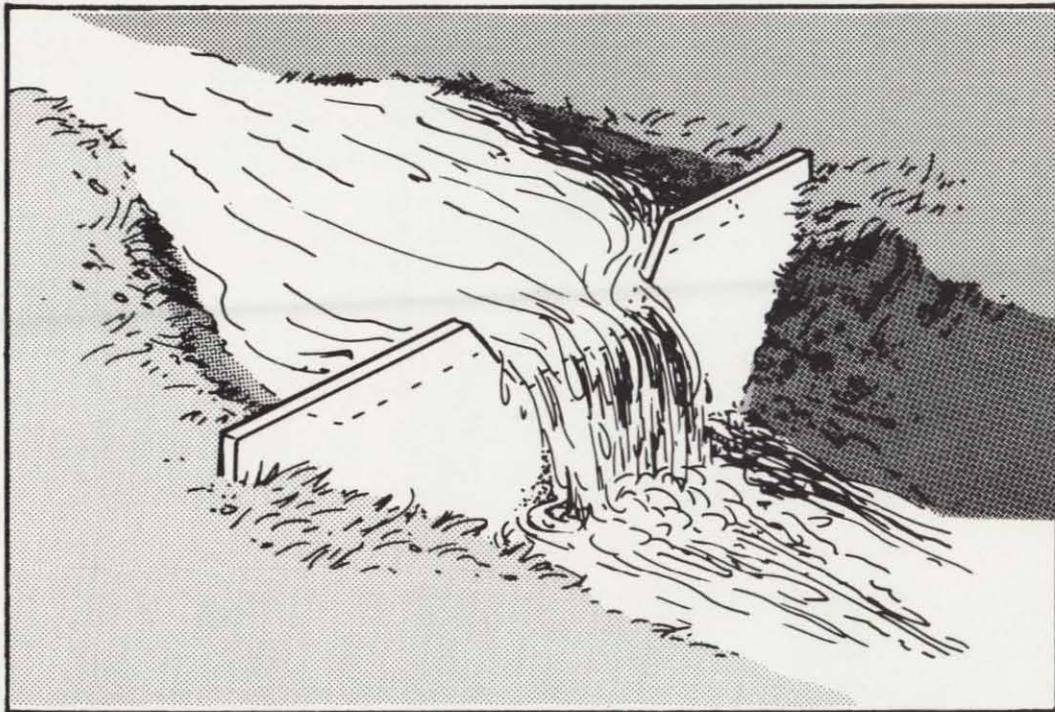
Mesure du Volume de l'eau

On a besoin de mesurer le courant à la fois dans les canaux principaux et au moment où l'eau se déverse dans le champ. On peut déterminer les mesures du volume d'eau des petits courants à l'aide d'un container volumétrique et d'un chronomètre, en observant combien de temps le container met à se remplir. On détermine le courant en

litres par seconde en divisant le volume du container par le temps requis, en secondes, pour le remplir. Cependant on mesure généralement le courant à l'aide d'instruments de mesure spéciaux placés dans le canal ou avec des fluviomètres, ou flumes.

L'un des instruments les plus simples pour mesurer le courant d'un canal est la vanne de mesure, petit barrage placé à travers le canal et comprenant une ouverture de dimension déterminée. Une ouverture est pratiquée au dessus du barrage, en forme de V, de trapèze ou de rectangle. D'après des tables et de simples équations, on peut facilement déterminer le courant en mesurant simplement l'élévation du niveau de l'eau au-dessus du sommet de la vanne.

La vanne de mesure peut être fabriquée en bois, en métal ou en béton ; elle est facile à construire et à installer, mais lorsque le courant passe dans le barrage, il en résulte une considérable baisse du niveau de l'eau. Pour prendre des mesures précises, il faut s'assurer que le niveau de l'eau en aval ne dépasse pas le sommet de la vanne.



Les barrages sont une méthode simple pour mesurer la force du courant.

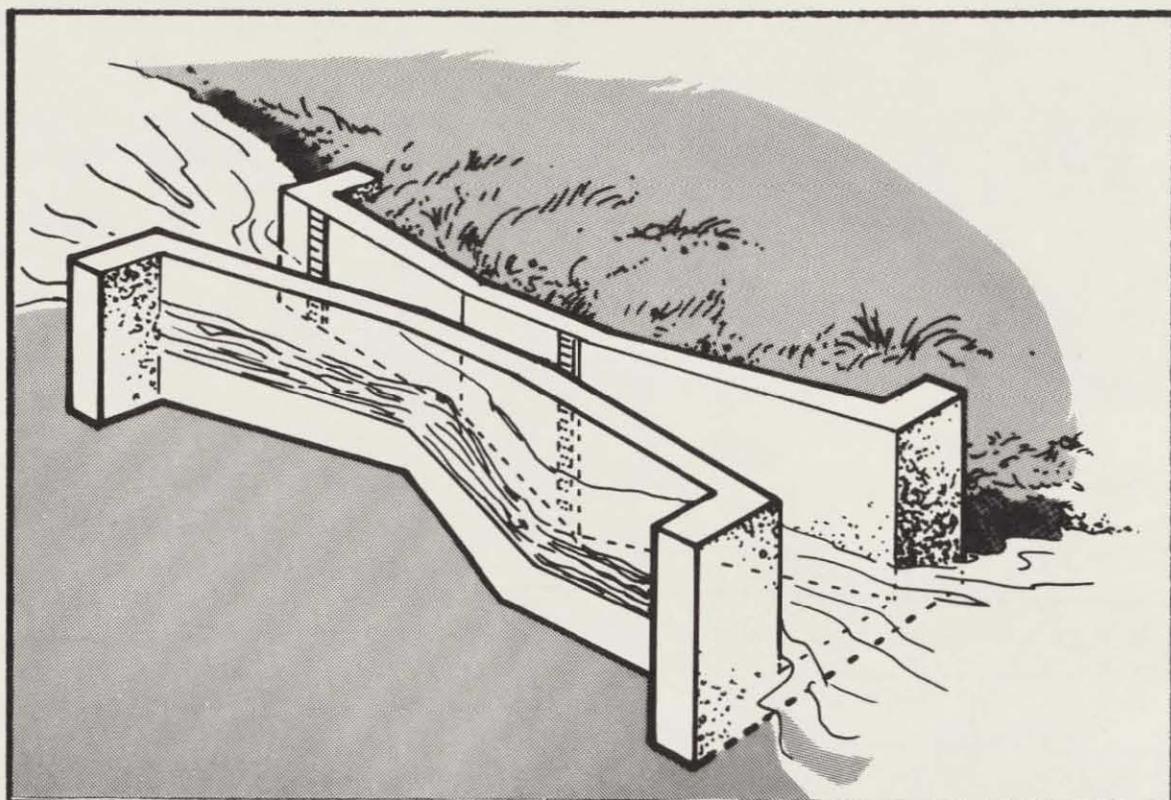
Quand il n'est pas possible d'utiliser les instruments qui exigent une baisse du niveau de l'eau, on peut utiliser les flumes. Le *Flume Parshall* revêt des dimensions variées, et donne des mesures précises à la fois pour les petits et les grands canaux. Le courant est déterminé par les dimensions du flume et par la mesure de l'élévation du niveau de l'eau au-dessus de la base du flume. Cette mesure peut être effectuée en un seul point du flume sauf dans le cas où il existe une différence considérable entre le niveau de l'eau en aval et en amont. Dans ce cas, on doit effectuer les mesures en deux endroits du flume pour obtenir une mesure valable.

Une variante du Flume Parshall est le « flume coupe-gorge », qui a été testé en laboratoire et sur le terrain au cours des dix dernières années. Le coupe-gorge est relativement bon marché et facile à mettre en place. De surcroît il exige une baisse du niveau minimal, ce qui implique qu'on peut l'utiliser sans risque de voir l'eau déborder de chaque côté du canal. Le flume coupe-gorge diffère du Flume Parshall en ce sens que sa base est plane, ce qui rend sa conception et sa fabrication plus aisées. Grâce à sa

base plane, le coupe-gorge, à la différence du Parshall, peut être mis en place directement dans le lit du canal. Ce flume fonctionne sous l'eau aussi bien qu'en la surface, ce qui accroît encore son utilité sur le terrain.

Le flume coupe-gorge ne fournira de mesures exactes du courant qu'à la condition qu'il soit correctement installé. Avant tout, le flume doit être placé dans un endroit où le canal est droit. Si les conditions d'exploitation exigent des variations fréquentes de débit de l'eau, on peut placer le flume après un coude ou une écluse, mais pas trop près de l'écluse pour éviter les effets de débordements éventuels. Le flume ne doit pas être placé non plus en aval d'une canalisation ou de quelqu'autre type de construction.

Lorsqu'on place un flume coupe-gorge dans un cours d'eau, il faut prendre soin de l'aligner parallèlement aux rives du chenal et d'éviter toute inclinaison. Avec l'usage, tous ces instruments de mesure ont tendance à varier de position, le plus souvent en s'enfonçant vers l'aval. En effet l'eau a tendance à gicler lorsqu'elle passe dans le flume, ce qui a pour effet d'éroder le chenal immédiatement en aval.

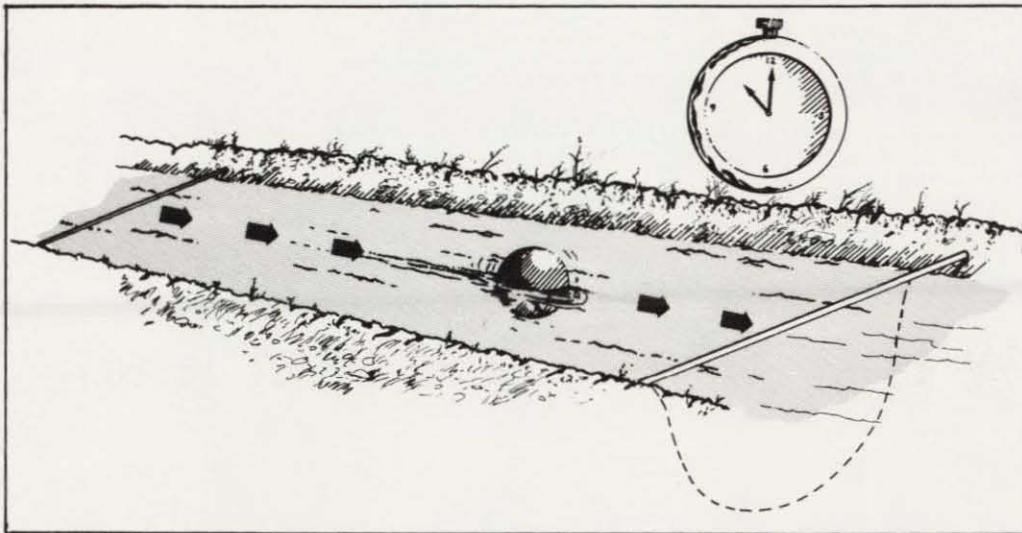


Les flumes sont faciles à installer et à entretenir dans les parties alignées du cours d'eau.

En principe on n'a pas besoin d'une structure de transition entre le chenal et l'entrée du flume coupe-gorge. On peut réaliser des mesures à l'intérieur du flume soit avec des jauges, soit avec des puits régulateurs ; ces derniers sont plus précis parce qu'ils fournissent une surface d'eau plus calme comparée aux fluctuations et aux remous qu'on rencontre à l'intérieur des flumes. Ces puits régulateurs sont indispensables si l'on compte utiliser des instruments fournissant des informations continues. Il est toujours préférable d'utiliser des instruments de mesure lorsque l'eau s'écoule librement car dans ces conditions il suffit d'établir des mesures du courant en amont pour déterminer le débit. Bien que le courant puisse se mesurer par des instruments immergés, cette opération nécessite 2 puits régulateurs ou deux jauges. Les puits régulateurs peuvent être placés l'un à côté de l'autre, offrant ainsi la possibilité d'obtenir des informations continues en amont et en aval, à l'aide d'un instrument d'enregistrement à double-tête.

L'entretien des flumes coupe-gorge est simple et à la portée de n'importe qui. Les parois doivent être débarrassées de mousse la qui s'y accumule et la base nettoyée des dépôts. Les parois en acier ont tendance à être incrustées après un certain temps, mais on peut les nettoyer facilement en les frottant avec une brosse en paille de fer. Une fois ces parois nettoyées, il est recommandé d'empêcher de nouveaux dépôts en les traitant avec une peinture d'asphalte, ce qui accroîtra la durée de vie du flume.

Il peut arriver que les techniciens aient besoin de déterminer le courant du chenal sans disposer de vanne ni de flume. Une solution simple consiste à utiliser la méthode dite du « bouchon », qui nécessite un bouchon, un chronomètre et un jour sans vent.



Lorsqu'il n'existe pas de flumes ou de barrages, on utilise la méthode dite « du bouchon » pour déterminer le courant.

Imaginons un canal rectangulaire d'un mètre de large ; on isole un point à 10 m en amont de canal. Le bouchon est placé au centre du canal et on chronomètre son passage entre le point de lancement et la borne des 10 m. Cette opération est répétée plusieurs fois et on détermine ensuite le temps moyen de passage du bouchon. Si le temps moyen est de 20 secondes, la vitesse du courant sera de 50 cm par seconde. Mais il ne faut pas oublier que la vitesse du courant dans le chenal sera inférieure à la vitesse en surface, dans une proportion d'environ 80 %. Ainsi la vitesse réelle sera $50 \times 0,80 = 40 \text{ cm/sec}$.

Si la coupe transversale de ce même canal est de $0,5 \text{ m}^2$, alors le débit à cet endroit est de $0,4 \times 0,5 = 0,2 \text{ m}^3$ par seconde. Il s'ensuit que si le courant est constant pendant une heure (3600 secondes) le débit à cet endroit sera de $3.600 \times 0,2 = 720 \text{ m}^3$. Cette quantité d'eau répartie uniformément sur un hectare fournira à l'agriculteur une pénétration moyenne de 17,2 cm.

La méthode du bouchon donnera à l'agriculteur une mesure relativement précise du courant, mais loin de l'être assez pour déterminer les pertes le long de ce cours d'eau, dans un domaine où les vannes ou les flumes sont d'un meilleur usage.

Lorsque les techniciens doivent préciser la perte d'eau le long d'un canal due aux infiltrations et aux débordements, et qu'ils n'ont pas les instruments de mesure appropriés sous la main, ils peuvent utiliser la

méthode suivante : une section du canal est temporairement bloquée avec des barrages de terre, et remplie d'eau à son niveau habituel. En l'absence de courant, la baisse du niveau sera due aux infiltrations. On mesure la perte d'eau à l'aide d'un simple mètre et on observe la baisse de niveau enregistrée à l'heure.

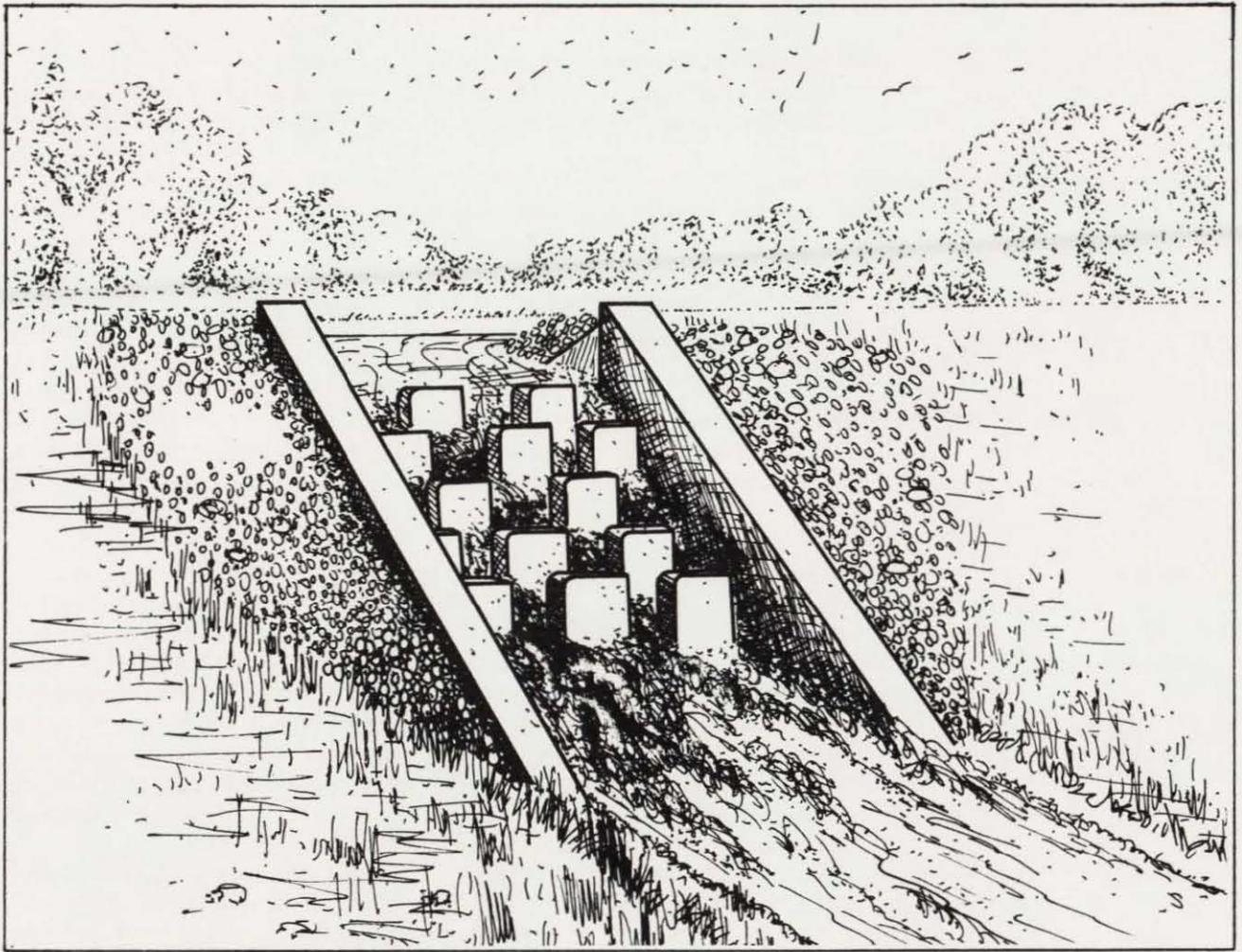
Si la section bloquée du canal mesure 100 mètres de long et 2 mètres de large en moyenne, et si le niveau de l'eau baisse de 5 centimètres à l'heure, alors on aura $0,05 \times 2 \times 100 = 10$ mètres cube par heure, ce qui donne 0,028 mètres cube par seconde. Si le canal déverse habituellement 0,2 mètres cube par seconde, à pleine capacité, cela signifie que tous les 100 mètres, tout au long du canal, 1,4 % du courant du canal est perdu, soit 14 % pour un cours d'eau de 1000 mètres.

Structures des Cours d'Eau

Dans la conception de tout système d'irrigation, de drainage ou de conservation des sols, les planificateurs sont confrontés à des problèmes de contrôle du courant pour minimiser l'érosion. Souvent on pourra réduire le courant à l'aide d'une pompe hydraulique.

Une « régulatrice » (check) est n'importe quelle structure utilisée pour maintenir ou augmenter le niveau de l'eau dans le canal ouvert. Ces régulatrices sont conçues de telle manière que le niveau d'eau désiré en





aval puisse passer au-dessus ou à travers la structure tout en conservant une profondeur constante en amont. Les régulatrices fonctionnent comme des vannes ou des pertuis, ou bien comme une combinaison des deux. Pour les canaux souterrains, on emploie généralement une espèce de régulatrice-barrage-mobile, préfabriquée, en plastique, en acier, ou en béton. Lorsque le sol est plus friable, on doit pourvoir le côté aval d'un tablier ou d'un rip-rap. Lorsqu'il s'agit d'un canal cimenté, on peut utiliser des gouttières préfabriquées pour faire coulisser les portes. Des panneaux portables en acier, maintenus en place par la pression de l'eau font aussi de très bonnes régulatrices.

On utilise des chutes pour le contrôle des tranchées d'écoulement et pour réduire l'angle de la pente, là où il ne pousse pas de végétation naturelle. La chute permet de

remplir les tranchées en ralentissant le courant et en permettant aux sédiments de se fixer. Les chutes doivent être placées en amont des zones d'érosion, et les régulatrices sont généralement situées immédiatement au-dessus des chutes afin que la nappe d'eau soit suffisamment haute pour desservir les champs.

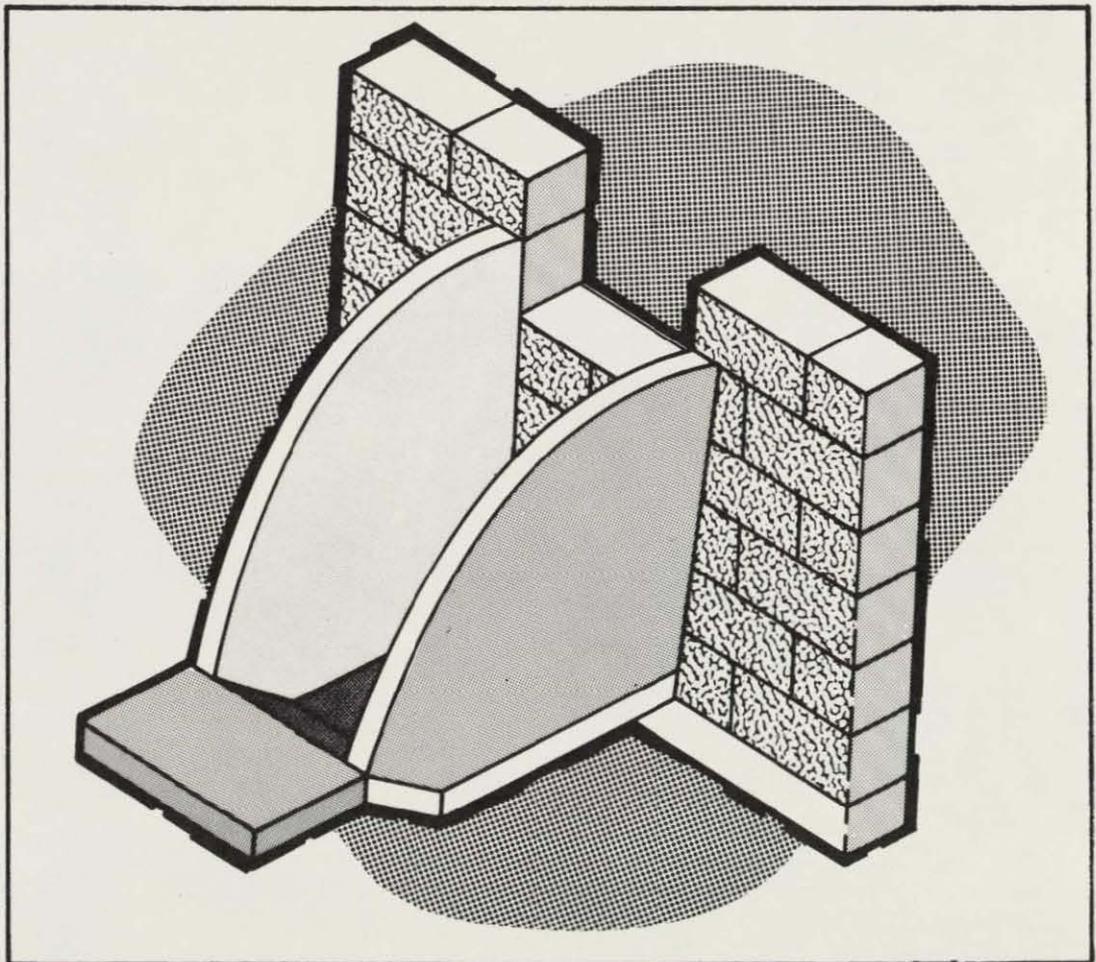
Il peut se présenter des problèmes dans le canal d'évacuation du pertuis à cause de l'effet des remous. Ces remous risquent de provoquer la dégradation des rives et des inondations périodiques. Ce problème est rarement envisagé, ce qui entraîne la nécessité de procéder à des mesures correc-

tives une fois l'installation terminée. Un compresseur de remous, ressemblant à un radeau s'est avéré efficace et apporte l'avantage supplémentaire d'amener une eau plus calme aux instruments de mesure situées à une faible distance en aval.

Les illustrations données en annexe montrent la grande variété des instruments régulateurs du courant disponibles, et pour

un prix raisonnable. Ces instruments sont utilisables dans les systèmes d'irrigation des petites exploitations. Chaque schéma est très détaillé et présente l'ensemble des modèles ; les tables, les équations et les graphiques peuvent être obtenus par les techniciens pour les aider à améliorer la gestion de l'eau dans les petites exploitations.

Les édifices de dénivellation et les barrages doivent être bâtis en maçonnerie et en béton pour en garantir la solidité.







Gestion des Cours d'Eau

Où que l'agriculture soit pratiquée, on dénote des insuffisances dans les systèmes d'irrigation. Une enquête sur 22 projets d'irrigation aux Etats-Unis a démontré que 36 % de l'eau d'irrigation subsistait entre le moment où elle quittait le barrage et le moment où elle atteignait le champ. De plus 42 % de l'eau ainsi parvenue à la ferme était perdue due aux insuffisances du système d'irrigation.

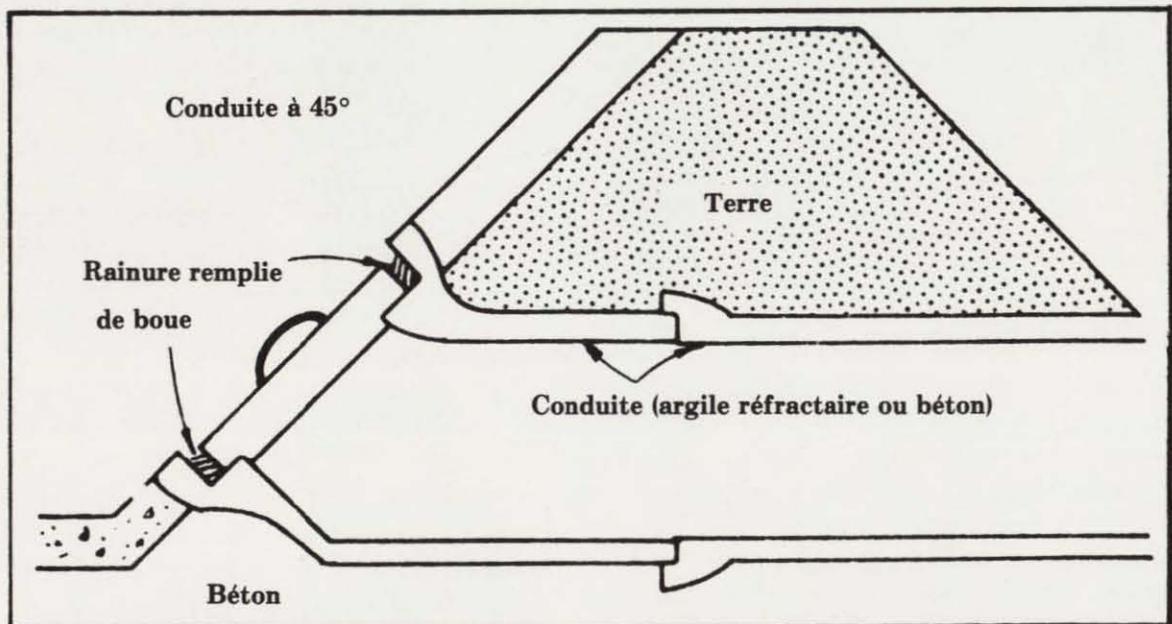
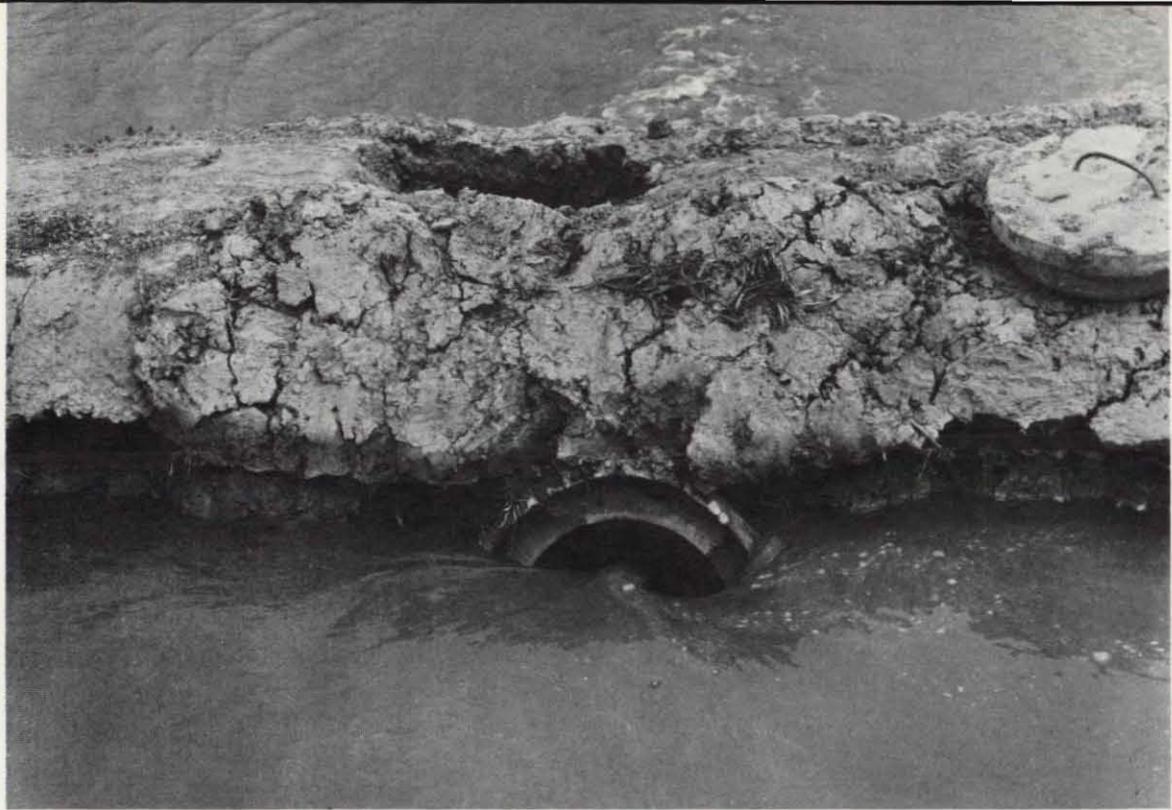
Ainsi on comprend que des agriculteurs consciencieux soient généralement incrédules lorsque les techniciens étudient leur système d'irrigation et démontrent qu'ils perdent une quantité d'eau incroyable avant qu'elle n'atteigne l'exploitation. Dans un pays où les techniciens de l'AID ont fait récemment une enquête sur un système d'irrigation typique, ces derniers ont présenté leurs découvertes à quinze agriculteurs réunis le long du cours d'eau. Un des agriculteurs déclara : — « C'est un mensonge, ni plus ni moins, que de déclarer que 50 % de l'eau d'irrigation sont perdues le long du cours d'eau. » Quand on lui demanda combien de terrains il pouvait irriguer, il dut admettre qu'il pouvait irriguer un hectare à l'heure en tête du champ, mais seulement un demi-hectare à son extrémité. Convaincu par sa propre réponse l'agriculteur accepta d'appuyer la

décision d'améliorer le cours d'eau.

Trois raisons expliquent les pertes le long des cours d'eau :

- *Infiltration* par les parois du canal dans le sol et ensuite dans la nappe phréatique.
- *Fuites d'eau* à la surface à cause de débordements ; infiltrations lentes sur les côtés, rupture des canalisations à la sortie ou dans d'autres zones mal renforcées.
- *Evapotranspiration* provoquée par des mauvaises herbes le long et dans les lits des cours d'eau.

L'eau qui s'infiltré dans le sol n'est pas toujours perdue ; elle passe dans les nappes souterraines où il est possible de la récupérer. Mais elle est perdue pour l'agriculteur situé bien en aval du chenal, s'il n'a pas de puits auxiliaire.



Si on n'entretient pas correctement les dérivations des cours d'eau, on perd ainsi une énorme quantité de cette coûteuse eau d'irrigation. Le

dessin ci-dessus montre une façon ingénieuse de résoudre le problème, à l'aide d'un édifice de contrôle en béton.

La végétation qui pousse le long et dans les cours d'eau utilise de grandes quantités d'eau. Le phénomène d'évapotranspiration entraîne aussi la formation de dépôts de sel, ce qui accroît le problème de salinité. Les racines envahissent le sol le long et au-dessous des parois du canal, augmentant la

perméabilité du sol, ce qui provoque de nouvelles infiltrations et de nouvelles pertes d'eau. Cette végétation ajoutée aux sédiments donnent au canal un relief plus accidenté, ce qui réduit son débit.

Un autre problème, spécialement pour les cours d'eau anciens, est la perte d'eau



due aux trous laissés par les rongeurs. Ces trous tiennent lieu d'entonnoirs, par lesquels l'eau s'échappe de chaque côté du canal, causant souvent une irrigation excessive des champs voisins. Il est quasiment impossible de se débarrasser des rongeurs eux-mêmes, et l'agriculteur doit combler ces trous en y tassant de la terre.

Les sédiments sont toujours un problème grave pour l'ensemble des cours d'eau. Cette accumulation de vase et de sable fin au fond bouche les canaux, réduisant ainsi l'intensité du courant. Un second

problème surgit lorsque les canaux principaux se subdivisent en canaux plus petits. Les canaux secondaires, à plus faible capacité, peuvent charrier moins de sédiments que les canaux principaux. Il faut bien entendu se débarrasser de ces sédiments, mais, de ce fait, les rives du canal finissent par empiéter sur les champs des fermiers. Ces derniers ont le choix entre



perdre cette portion de leurs terres, ou bien répandre les sédiments dans les champs, qui doivent alors être de nouveau nivelés. Des expériences en laboratoire utilisant des systèmes hydrauliques se poursuivent à la recherche de méthodes de vidange des sédiments, mais la solution la plus courante consiste à construire des collecteurs de sédiments dans les cours d'eau.

Les collecteurs de sédiments sont des portions du chenal dont la surface a été élargie et la profondeur augmentée. Cette section servira de bac à sédiments, et devra donc être suffisamment grande pour que la vitesse du courant ne soit pas réduite de

plus de la moitié. Lorsque le courant diminue, les sédiments se déposent dans le collecteur, d'où on pourra les enlever. Les bacs à sédiments doivent être situés en haut des cours d'eau pour faciliter le retrait des sédiments.

Un collecteur de sédiments construit par des agriculteurs avec l'aide des conseillers de l'AID a donné d'excellents résultats. Le bassin, construit dans les premiers 45 mètres du cours d'eau, mesurait 1 mètre sur 2 et offrait une section de $1,7 \text{ m}^2$. Avec un courant de $0,085 \text{ m}^3$ par seconde, la vitesse moyenne du courant dans le bassin était de $0,05 \text{ m/sec}$, à comparer avec $1,5 \text{ m/sec}$ dans le reste du cours d'eau. De cette façon la plus grande partie des sédiments se retrouvait bloquée dans le bassin. Dans ce cours d'eau, la quantité de sédiments déposés chaque année variait entre 140 et 200 m^3 par an, et le collecteur devait être nettoyé entre 6 et 10 fois par an.



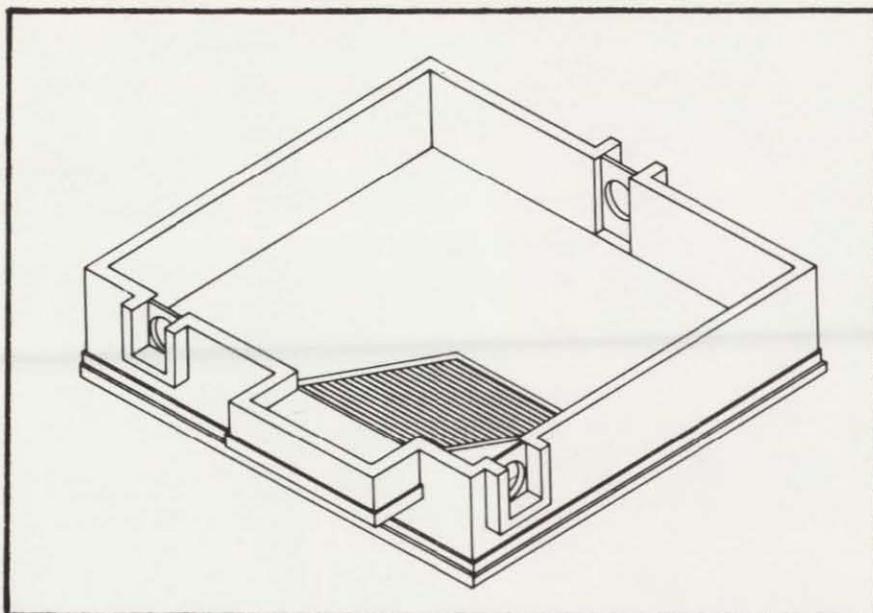
Avant de commencer la rénovation du cours d'eau il faut établir le montant des pertes d'eau en mesurant la vitesse du courant de façon précise. On y parvient au moyen des flumes, Parshall ou coupe-gorge, placés à des intervalles compris entre 500 et 2000 mètres. Ces mesures sont établies plusieurs heures après que l'eau ait commencé de couler dans le chenal. Le taux d'efficacité est égal au débit du flume en amont divisé par le débit du flume en aval, le tout multiplié par 100. La différence constatée entre les deux flumes peut s'exprimer en perte réelle d'eau au kilomètre ou en pourcentage de perte d'eau par kilomètre.

La rénovation du cours d'eau commence par la fermeture de l'arrivée d'eau, le temps d'enlever les mauvaises herbes, de renforcer les parois de la tranchée, de remplir les trous

des rongeurs et d'examiner l'étanchéité des vannes. Tout ce travail, très simple peut se réaliser à la main ou à la pelle. Pendant ce temps, les techniciens complètent les examens nécessaires, revoient la pente du canal de façon à s'assurer que les niveaux requis soient maintenus tout au long du chenal.

La hausse continue du prix de l'acier a conduit à l'élaboration de structures de contrôle en ciment, moins chères et tout aussi efficaces. L'une de ces structures comprend des conduits de ciment inclinés à 45 degrés, dont le collier et le bouchon sont au niveau des berges du canal. Lorsqu'il devient difficile de renforcer les parois autour de ces conduits, des panneaux de ciment placés dans le lit du cours d'eau empêcheront l'eau de détruire ces structures de contrôle. Lorsqu'on utilise du bois parmi les matériaux de construction du couvercle, la fermeture n'est pas étanche parce que le bois gonfle sous l'effet de l'eau. L'utilisation de matériaux en acier éliminent ce problème. Ces structures sont construites dans une gouttière, qui, garnie de boue, assure l'échanchéité.

On peut maintenir les habitudes sociales et l'intégrité du cours d'eau en ajoutant des édifices spéciaux ; dans ce cas, il s'agit d'un bassin pour bestiaux en béton.

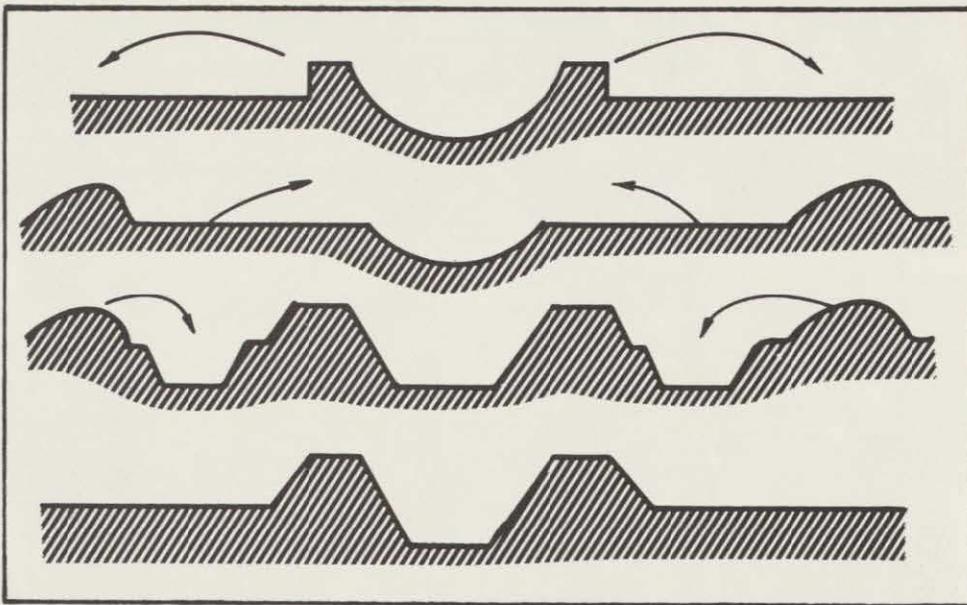


Toutefois les agriculteurs ne doivent pas oublier de renforcer la fermeture chaque fois qu'ils actionnent le couvercle.

Lors d'un projet d'amélioration d'un cours d'eau, on a eu besoin de 35 agriculteurs pour travailler sur un cours d'eau de 8500 mètres de long, et qui desservait une surface de 360 hectares. Le rendement des agriculteurs était de 190 mètres par jour, soit un total de 48 jours. Les agriculteurs fournirent 8800 heures de travail au total, auxquelles s'ajoutèrent 4200

heures accomplies par les maçons et les ouvriers spécialisés. Ce projet pilote coûte 1,20 \$ par mètre, mais permet une augmentation de 50 % du volume d'eau distribué dans les champs.

La rentabilité des cours d'eau en termes d'efficacité ne se maintiendra que si les agriculteurs continuent de les entretenir. L'expérience prouve que l'emploi de gardes à plein-temps pour veiller sur les cours d'eau est un investissement rentable, qu'il soient



Les cours d'eau peuvent avoir toutes sortes de formes. Ce qui importe, c'est qu'ils soient entretenus régulièrement par les agriculteurs eux-mêmes.



payés en espèces ou en nature. Les tâches du garde sont les suivantes:

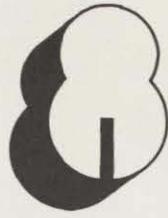
- *Infiltration* : réduction des infiltrations en bouchant les trous, les fissures, et les terriers des rongeurs. Remplissage des gouttières des vannes de sorties avec de la boue.
- *Ruissellement de Surface* : réduire ces ruissellements en renforçant les parois du cours d'eau
- *Débordement* : Empêcher que l'eau ne déborde en s'assurant que l'eau soit toujours à plus de 15 centimètres du bord.
- *Diminution du Courant* : Eliminer de l'eau les mauvaises herbes, les

plantes aquatiques et les autres corps étrangers.

- *Contrôle* : Surveiller les pratiques d'irrigation des fermiers sur leur portion du canal.
- *Hausse du Niveau d'Eau* : Lorsque le niveau d'eau approche de 5 centimètres le niveau de remplissage maximum toléré, alerter le comité local : le cours d'eau a besoin d'être nettoyé.

L'amélioration des cours d'eau existants et leur entretien régulier est l'initiative la plus importante que puisse prendre un groupe d'agriculteurs pour augmenter les récoltes et économiser l'eau d'irrigation.





Approvisionnement en Eau pour l'Irrigation

L'irrigation des cultures dépend de deux sources : les eaux de ruissellement ou les eaux souterraines. La plupart du temps, les eaux de ruissellement abondent au moment où le fermier n'a pas besoin d'irriguer. Cette eau, imprévue, dont on ne saurait déterminer la quantité à l'avance, est bien trop précieuse pour qu'on risque de la perdre. On a mis au point des méthodes de captage et stockage de cette eau.

Les Eaux de Ruissellement : Réservoirs

Lorsque le terrain s'y prête, des réservoirs de surface peuvent être aménagés dans des vallées où on a construit des barrages pour former des bassins de stockage. La taille de ces réservoirs est très variable : certains sont assez grands pour pouvoir irriguer des milliers d'hectares, d'autres ont une capacité réduite, et desservent de petites exploitations. La construction de ces bassins pose un certain nombre de problèmes.

Fréquemment, les sites propices à l'édification du barrage sont situées très loin des terres à irriguer. Ceci implique de lourds investissements en main-d'oeuvre et en

temps de travail pour pouvoir relier le bassins et les champs à irriguer : il faut en effet creuser de longs cours d'eau, et assurer leur entretien tout au long de l'année si on veut maintenir leur efficacité. Il est hors de question de construire un barrage avant d'avoir mené des études géologiques et hydrologiques au préalable. Même si on veut construire des barrages plus petits près des terres à irriguer, il faut avant tout consulter des ingénieurs spécialisés.

La topographie de nombreux endroits est tellement plane que les barrages ne peuvent y être édifiés. Malgré tout on peut aménager de petits réservoirs entourés de trois ou quatre murs. Les murs seront bâtis à l'aide de la terre qu'on aura enlevée pour creuser le réservoir. De tels travaux sont faisables s'ils restent à une petite échelle.

Ces réservoirs peuvent servir à stocker l'eau des puits dont la capacité est trop faible pour fournir une irrigation adéquate. La



plupart du temps on arrive à accumuler suffisamment d'eau durant la nuit pour une irrigation de surface limitée.

Les Eaux Souterraines : Les Puits de Séparation

Les recherches subventionnées par l'AID ont montré qu'il est possible d'extraire l'eau douce, propre à l'usage domestique et à l'irrigation, lorsque celle-ci recouvre une couche d'eau saline. Le phénomène est similaire à celui de la crème

qui se forme dans un récipient contenant du lait homogénéisé ; cette couche d'eau saline est due aux différences de gravité en des points spécifiques. Cette situation se rencontre la plupart du temps dans les îles, mais on la rencontre aussi sur le continent.

On a élaboré des méthodes pour pouvoir extraire l'eau douce de la surface ; en particulier l'utilisation de puits de séparation permet de réduire au maximum les mélanges d'eau saline et d'eau douce. Si on laisse l'eau douce se mélanger avec l'eau hautement minéralisée, l'eau extraite sera impropre à l'irrigation.

La méthode traditionnelle qui consiste à pomper l'eau des puits en utilisant des animaux peut s'avérer plus coûteuse que les pompes actionnées par un carburant quelconque.

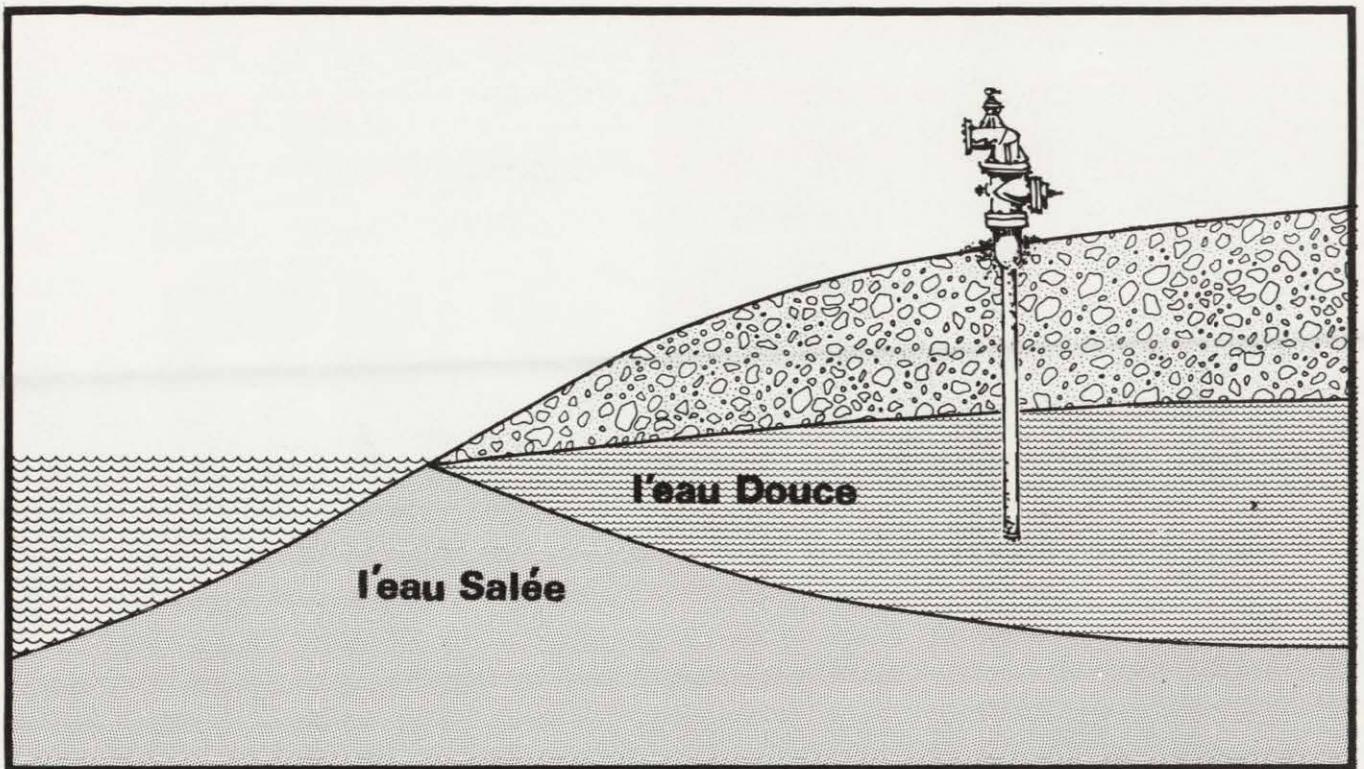


Lorsqu'on utilise les puits de séparation pour la première fois, on est souvent surpris, car, après avoir extrait de l'eau douce de bonne qualité pendant longtemps, l'eau finit par se détériorer et les récoltes pâtissent de l'excès de salinité. L'explication, courante, n'est pourtant pas facile à comprendre. Le puits a été touché par le phénomène d'aspiration cônica ; ce processus peu connu peut s'expliquer comme suit :

Quand on commence à pomper, l'eau saline remonte sous forme d'un cône, en réponse à l'action de pompage. L'apex du cône va monter jusqu'à un point situé juste

en dessous du puits. Dans des conditions normales, le cône continuera de monter jusqu'à une hauteur donnée.

Cette hauteur dépendra du volume d'eau aspiré dans le puits. Si ce volume excède un certain montant le cône va monter au point que la pompe du puits de séparation finira par absorber de l'eau salée, même si la couche d'eau douce est loin d'être épuisée. Il faut faire en sorte que la nappe d'eau salée ne monte jamais à plus de la moitié de la distance entre sa position d'origine et le



Cette coupe transversale d'un puits de séparation montre comment on peut extraire l'eau claire dont la nappe se trouve au-dessus d'une couche d'eau salée.

fond du puits. Si on maintient cet intervalle dans les limites voulues, les dangers d'une élévation du cône vers le haut sont considérablement diminués.

Dans le cas de puits creusés à une telle profondeur qu'on finit par pomper de l'eau salée, le problème peut parfois être résolu en coulant une chape de ciment au fond du puits. Ceci aura pour effet d'élever le fond du puits au-dessus de la zone où l'eau saline a tendance à monter. Dans d'autres cas, la réduction du débit des bassins de séparation réduira l'aspiration cônica à un niveau où le phénomène ne présentera plus aucun danger. En fait, la réduction de la puissance de la pompe, diminue non seulement le débit

d'eau douce, mais aussi l'aspiration cônica d'eau saline.

Une étude subventionnée par l'AID dans une petite exploitation indique les différents moyens de résoudre les problèmes des puits de séparation. Il s'agissait d'un puits creusé à 35 m de profondeur, et qui se mit à pomper de l'eau contenant un pourcentage de sel de 2300 ppm. Ce taux signifiait la condamnation du puits en tant que source d'irrigation. Les techniciens mesurèrent la salinité de l'eau à chaque niveau de profondeur. Ils constatèrent une brutale augmentation du taux de salinité, qui, à 28 m de profondeur, passait de 1200 à 3750 ppm. En vertu de ces constatations, les techniciens comblèrent le fond du puits sur une hauteur de 15 m avec du sable et une chape de béton. On réduisit la vitesse de pompage qui passa de 25 litres par seconde à 8,5 et la qualité de l'eau extraite s'améliora immédiatement et passa à 700 ppm. On put donc de nouveau l'utiliser pour irriguer les cultures.





Résumé

La possibilité d'un contrôle intégral de l'eau représente l'un des profits éventuels à tirer de l'agriculture par irrigation: alimenter les plantes avec l'eau dont elles ont besoin et au moment où elles en ont besoin. Au cours de dernières années, des réseaux complémentaires d'irrigation ont été utilisés pour les régions agricoles alimentées par des pluies lorsque la pluviosité a été faible. Cette méthode s'avère économique en plusieurs endroits en raison de la production accrue rendue possible grâce à une source d'approvisionnement en eau sûre. Ainsi donc, même si la superficie de terre irriguée représente moins de 15 pour-cent des régions cultivées du monde, la production provenant de cette zone irriguée — notamment lorsqu'il existe un réseau supplémentaire d'irrigation — constitue un fort potentiel de rendement alimentaire.

Le volume d'eau qui, en fait, irrigue les cultures dans une région donnée représente généralement une faible proportion de la masse des réseaux d'irrigation. Plusieurs raisons peuvent expliquer cet état de choses: suintement, pertes par évaporation, perte durant les opérations, écoulement provenant de fossés mal entretenus, végétation inutile croissant à l'intérieur ou le long des réseaux de conduits de distribution, champs mal tracés et aménagés. Chacun de ces facteurs crée des problèmes spécifiques. Les règlements régissant les opérations des agriculteurs augmentent le gaspillage si

l'eau n'est pas disponible lorsque l'agriculteur en a besoin.

La structure du réseau d'irrigation comprend un lieu d'emmagasinage d'eaux (dans certains cas un réservoir), un système d'adduction pour la canalisation de l'eau de la source aux champs et une méthode d'application de l'eau aux cultures. La complexité du système varie selon le nombre d'agriculteurs à desservir et la structure organique régissant le système. La construction et l'entretien de réservoirs, de barrages, de larges canaux et de structure d'embranchement relèvent généralement d'un organisme gouvernemental et ne présentent pas de problèmes techniques.

Dans la plupart des réseaux de canaux d'irrigation, notamment ceux qui se trouvent dans les pays en développement où les exploitations agricoles ne sont pas très grandes, des conduits plus petits transportent l'eau du canal principal aux exploitations individuelles. Ce système auxiliaire constitue le domaine d'action de l'agriculteur et sa zone de contrôle. Le réseau d'irrigation arrive au terme de son utilisation pratique quand les cultures ont achevé leur croissance et les avantages sur le plan

économique, de cette irrigation réalisés. Et pourtant, c'est cet aspect qui est souvent négligé par les ingénieurs et les constructeurs des réseaux d'irrigation. Des méthodes d'entretien déficientes entraînent le gaspillage d'eau par fuite et déversement.

Une fois que l'eau d'irrigation a atteint une exploitation agricole, des réseaux additionnels de canaux transportent l'eau à des champs individuels. Ce réseau peut être étendu étant donné que, même dans les petites exploitations, les champs individuels ont tendance à être de faible étendue. Un tel champ devient la dernière partie du réseau d'adduction qui emmène l'eau de la source à la racine des cultures. L'on peut encore enregistrer d'autres pertes par suite d'un nivellement irrégulier, d'un excès d'irrigation et d'un horaire d'irrigation inadéquat.

Les pertes d'eau d'irrigation amenées du canal principal vers les racines généralement excèdent le volume d'eau dans le canal lui-même et ces pertes se produisent dans tous les réseaux à travers le monde entier. Il est courant de voir la moitié du volume d'eau fournie par le canal perdue au cours du trajet à destination du champ de l'agriculteur, eau qui ne pourra être point utilisée pour la croissance des cultures.

Toute eau ajoutée au sol, si pure qu'elle soit, contient du sel en dissolution. Une utilisation continue sur une longue période contribue à une accumulation de sel dans le sol à moins que des mesures de prévention adéquates ne soient prises. La méthode préférée consiste à verser 10 pour-cent plus d'eau que nécessaire pour la croissance des cultures afin que le sel filtre dans le sol au-dessous de la racine. Mais dans trop de cas

cependant, le volume excessif d'eau versée crée d'autres problèmes qui exigent la construction de facilités de drainage pour la filtration de l'eau en excès dans le sol. Une superficie plane réclame d'important travaux de drainage couvrant toute la superficie irriguée. La salinité, l'alcalinité et l'humidité représentent des problèmes caractérisant les projets d'irrigation et la gravité de ces problèmes est directement liée au mode de gestion de l'eau. Toute l'eau perdue rejoint la nappe souterraine, en engrossissant le volume et rapprochant le jour où l'humidité et la salinité causeront l'abandon du terrain.

Un personnel adéquatement formé en matière de gestion des réseaux d'irrigation fait défaut. Plus d'attention doit être prêtée à la formation non seulement d'ingénieurs et de techniciens, mais aussi de ceux qui travaillent directement et indirectement avec l'agriculteur. Bien qu'il existe des postes d'expérimentation agricole, les améliorations apportées aux exploitations sont généralement limitées en raison d'une pénurie de conseillers agricoles qui soient à même de communiquer directement aux agriculteurs les résultats des recherches. Dans plusieurs pays, les composants de la recherche et les services consultatifs n'ont jamais été fusionnés dans le cadre d'une structure rationnelle : Ci-après quelque-uns des importants profits que l'on peut tirer d'une mise en exécution fructueuse de meilleures méthodes de gestion d'eau d'irrigation.

L'eau d'irrigation conservée grâce à la gestion représente peut-être la plus grande

source d'approvisionnement en eau disponible pour l'agriculture — elle est déjà dans le canal, prête à être utilisée.

Une gestion adéquate accroît le rendement de la terre irriguée, mais plus important encore, la gestion permet d'obtenir plus d'eau pour d'autres terres.

Si les agriculteurs, travaillant en collaboration, peuvent mieux réaliser la gestion de l'eau dans les petites exploitations, ils créeront une atmosphère de coopération entre eux d'une part, et entre eux et leurs gouvernements d'autre part.

Une telle occurrence peut être bénéfique pour d'autres régions où une coopération et une coordination analogues s'avèrent essentielles. Un programme couronné de succès peut accélérer la diffusion de nouvelles technologies à l'intention de plus grandes exploitations.

L'on peut arriver à une distribution équitable de l'eau d'irrigation, assurant ainsi que chaque agriculteur reçoit sa portion de ressource hydriques.

NOTE

Le présent guide a été élaboré en vue de la diffusion des résultats des recherches patronnées par l'Agence Internationale des Etats-Unis pour le Développement et menées par des scientifiques agricoles collaborant avec des agriculteurs et des agents de vulgarisation à la construction de fossés et de champs dans les petites exploitations. Les renseignements contenus dans le Guide sont loin d'être complets: un nombre de questions importantes concernant l'agriculture ne sont pas couvertes, à savoir le contrôle ou la prévention de maladies

d'origine hydrique, la viabilité économique des programmes d'irrigation ou la mise en place des institutions et les besoins de formation qui vont de pair avec une planification et une supervision efficaces des réseaux d'irrigation. La question de l'agriculture alimentée par les eaux de pluie a été intentionnellement omise dans le Guide parce que la gestion de l'eau dans les petites exploitations dans ces circonstances est un point qui mérite d'être examiné d'une manière plus approfondie, ce qui eut été impossible dans la présente publication.

Les éditeurs de cet ouvrage et ceux qui y ont contribué estiment que celui-ci s'avérera très utile en tant qu'instrument de travail des ingénieurs professionnels dans le domaine de l'irrigation, des scientifiques agricoles et d'autres qui travaillent directement avec les agriculteurs pour aider ces derniers à identifier leurs plus importants problèmes et à apporter une solution. Quelques-unes des solutions à ces problèmes sont suggérées dans le présent Guide.

**INTENTIONALLY
LEFT
BLANK**

Glossaire

BAC CLASSE A (Class A Pan) : Bac d'évaporation de l'Office météorologique des U.S.A. ; c'est un récipient cylindrique fabriqué en acier galvanisé ou en métal monel, d'une profondeur de 25,4 centimètres et d'un diamètre de 1221 centimètres.

CARROTT (Soil Augur) : Ustensile permettant de retirer des échantillons du sol sur une profondeur de quelques mètres.

CATIONS (Cations) : Ions positifs dans les composés chimiques qui se dissolvent dans l'eau.

CHUTE D'EAU (Drop Structure) : Installation permettant de régulariser le niveau du courant afin de réduire l'énergie en excès.

COEFFICIENT DU BAS (Pan Coefficient) K_p : Rapport entre l'évapotranspiration des cultures (ET cultures) et l'eau perdue par évaporation à partir de la surface d'eau d'un bac ouvert.

COEFFICIENT DE CULTURE (Crop Coefficient) K_c : Rapport entre l'évapotranspiration des récoltes (ET récolte) et l'évapotranspiration de référence (ET_o) les deux prises en conditions optimales de culture extensive.

CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (Electrical Conductivity) : Mesure de contenu en sel de l'eau d'irrigation, habituellement donnée en millimhos par centimètre (le millimho est une unité de conductivité électrique).

CONTROLE DU DEBIT (Headgate) : Mécanisme de contrôle à l'entrée d'un système d'adduction d'eau.

COURS D'EAU (Water Course) : Le système de voies permettant d'amener l'eau à la ferme à partir d'une source principale d'alimentation ou de canaux principaux.

DEPOT DE DIVISION (Division Box) : Installation pour répartir un cours d'eau en plusieurs canaux de distribution.

DERIVATION (Turnout) : Une installation pour dériver l'eau d'un cours vers le champ ou le fossé d'irrigation d'un agriculteur.

DRAINAGE (Drainage) : Assainissement du sol ou du sous-sol par écoulement des eaux en excès.

DRAINS DE CAPTAGE (Interceptor Drains) : Drains ouverts ou en galeries qui recueillent l'eau en excès susceptible de provoquer des problèmes dans les champs.

DRAINS DE TROP-PLEIN (Relief Drains) : Drains qui, dans les champs, enlèvent l'eau en excès risquant de nuire à la production.

DRAINS-TAUPE (Mole Drains) : Drains fermés composés de conduits non renforcés tracés dans le sous-sol par un cylindre en forme d'obus.

EVAPORATION DU BAC (Pan Evaporation, E) E(Bac) : Taux d'eau perdue par évaporation à partir de la surface d'eau exposée à l'air libre d'un bac d'évaporation.

EVAPOTRANSPIRATION, ET (Evapotranspiration ET) : Taux de transpiration en eau d'un manteau végétal plus l'évaporation à partir du sol et de la surface humide de la végétation habituellement en mm/jour.

DISSOLUTION (Leaching) : Elimination des sels solubles entraînés par l'eau passant à travers le sol.

FLUME (Fluviomètre) : Généralement un instrument qui mesure le flux d'eau dans un canal ouvert permettant le transport de l'eau à travers les terrains situés en contre-bas.

IMPORTANCE DU COURANT (Stream Size) : Flux disponible pour approvisionner les champs ou la zone d'irrigation.

INDICE D'ABSORPTION (Intake Rate) : Taux d'infiltration de l'eau fournie, généralement en mm/heure (voir indice d'infiltration).

INDICE D'ABSORPTION DU SODIUM (Sodium Absorption Ratio): Mesure de la quantité de sodium dans l'eau d'irrigation par rapport à la quantité de calcium et de magnésium.

INDICE D'INFILTRATION (Infiltration Rate) : Taux d'infiltration de l'eau fournie, généralement en mm/heure.

INDICE D'INFILTRATION DU TERRAIN (Soil Intake Rate) : Rapidité à laquelle l'eau pénètre dans le sol dans des conditions données comprenant la teneur en eau du sol, habituellement en mm/heure.

IRRIGATION (Irrigation) : Adduction d'eau aux terres par des moyens artificiels.

IRRIGATION DE BORDURE (Border Irrigation) : Approvisionnement en eau des degrés de terrain entourés de petites levées de terre qui retiennent l'eau.

IRRIGATION PAR BASSINS (Basin Irrigation) : Approvisionnement en eau des petites surfaces, normalement planes, qui sont entourées de levées de terre.

IRRIGATION PAR ONDULATIONS (Corrugation Irrigation) : Méthode modifiée d'irrigation par sillons aux canaux très petits, normalement de 6 à 10 cm de profondeur, et espacés de 50 à 100 cm.

IRRIGATION PAR SILLONS (Furrow Irrigation) : Une méthode permettant d'irriguer les champs en eau au moyen de petits sillons ou de fossés qui traversent le champ, d'habitude entre les rangs de plantes cultivées.

MILLIMHOS (Millimhos) : Une unité de mesure de la conductivité électrique dans l'eau d'irrigation proportionnelle au sel dissous dans l'eau.

NAPPE AQUIFERE (Water Table) : Niveau supérieur de l'eau souterraine où la pression de l'eau est égale à l'atmosphère c'est-à-dire la profondeur de niveau d'eau dans le puits de forage quand l'eau souterraine peut y entrer librement.

PERMEABILITE (Permeability) : Facilité d'écoulement de l'eau à travers le sol, normalement la mesure de l'écoulement en eau à travers une section définie et mesurée du terrain, par rapport à une unité de gradient hydraulique.

PHREATOPHYTE (Phreatophyte) : Plantes utilisant de grandes quantités d'eau, poussant habituellement le long des cours d'eau ou dans les endroits où l'eau est facilement accessible.

PROFIL DU TERRAIN (Soil Profile) : Coupe verticale du terrain, de la surface aux matériaux primaires en passant par toutes les couches.

PUITS AUXILIAIRES (Tube Wells) : Puits d'alimentation en eau d'irrigation creusés assez profondément dans la terre pour atteindre la nappe aquifère.

REFERENCE D'EVAPOTRANSPIRATION E_{To} (Référence Evapotranspiration): Le potentiel d'évapotranspiration comme celui d'une vaste surface de pré bien fourni d'une hauteur uniforme, entre les 8 et 15 cm, poussant avec vigueur, et suffisamment pourvu en eau, habituellement en mm par jour.

SALINITE (Salinity) : Le taux de sels dans le sol ou l'eau, souvent exprimé en parties par million.

SIPHON : Tube courbé utilisé pour transférer l'eau d'irrigation d'un cours ou d'un fossé en passant par un niveau supérieur, c'est-à-dire celui de la rive.

SOL ALCALIN (Alkaline Soil) : Sol qui contient suffisamment de sodium pour gêner la pénétration de l'eau et la croissance des récoltes.

SORTIE (Head) : Somme de la pression de sortie du fluide et de la haute en rapport à une donnée spécifiée. Une mesure d'énergie de l'eau en rapport à cette donnée.

SOUS-SOL (Sub Soil) : La partie du sol situé sous la terre arable soumise aux conditions climatiques.

STRUCTURE DU TERRAIN (Soil Structure) : Ordonnance de particules individuelles de terrain sur des agrégats secondaires.

TAUX DE CONSOMMATION (Consumptive Use) : Taux de transpiration en eau d'un manteau végétal plus l'évaporation à partir du sol et de la surface humide de la végétation, habituellement en mm/jour.

TAUX DE SODIUM (Sodicity) : Mesure du sodium dans le sol quand, en excès, il gêne l'infiltration de l'eau et la croissance des récoltes.

TEXTURE DU TERRAIN (Soil Texture) : Caractérisation du terrain en fonction de la taille et de la distribution des grains du terrain.

TRANSPIRATION (Transpiration) : Taux d'eau perdue par la plante par formation de vapeur d'eau dans les cellules vivantes, laquelle obéit à un processus physique et physiologique, habituellement en mm par jour.

VANNE DE MESURE (Weir) (Fluviomètre) : Un ustensile pour mesurer le flux d'eau dans un canal ouvert.

ZONE DES RACINES (Root Zone) : Profondeur du sol dans lequel les racines s'approvisionnent en eau nécessaire à l'évaporation, généralement en cm.

**INTENTIONALLY
LEFT
BLANK**

Bibliographie choisie annotée de la Recherche subventionnée par AID*

Durability of Double Mole Drains par Anan Sukiwat. Rapport sous contrat AID No AID/cd-2167, 1970, Utah State University, 58 pages. Code d'identification du document AID : PN-RAA-045.

Dans certains cas le drainage souterrain faisant usage de drains-taupe est très efficace. Les drains-taupe sont peu coûteux mais présentent un inconvénient majeur : chaque canal ainsi creusé ne dure pas longtemps, ceci étant dû à l'affaissement du canal-taupe et aux particules qui s'accumulent dans le canal d'irrigation. On a testé un double drain-taupe expérimental en laboratoire, de telle sorte qu'un canal-taupe se formait de chaque côté de la fente verticale creusée par la lame supportant les éléments de construction du canal. Il en a résulté des doubles drains-taupe sans fente verticale à la surface, rendant par là impossible l'accumulation et la chute des sédiments dans le canal. La durée de vie du double drain-taupe a été testée à raison de quatre volumes d'eau différents. Les résultats ont confirmé une bien meilleure durabilité dans le cas des double drains-taupe, comparée à celle d'un simple drain-taupe.

Evaluating the Effects of Water Yield Management par Martin M. Fogel. Proceedings, Third International Seminar for Hydrology Professors of the Subject of Biological Effects in the Hydrological Cycle, July 18-30, 1971, pages 303-314. Préparé par l'université d'Arizona sous contrat AID No AID/csd-2457 Code d'identification du document AID : PN-RAA-094.

On analyse les effets produits par la manipulation des bassins hydrologiques sur le débit d'eau de ces mêmes bassins. Le rapport traite des réactions produites par la manipulation de la végétation qui prolifère autour des bassins. Les informations ont été collectées à partir d'un projet d'étude effectué en Arizona. Les conclusions tendent à démontrer qu'il est très aléatoire de prédire l'effet qu'aura telle ou telle action sur la végétation ; n'oublions pas que l'hydrologie de surface n'est pas une science exacte. On peut effectivement augmenter le débit des bassins hydrologiques par la manipulation de la végétation, mais il faut bien faire la part des choses. Une des conclusions qui s'impose est qu'il faut des modèles de bassins hydrologiques plus perfectionnés avant de pouvoir manipuler en toute confiance la végétation environnante.

Installation and Field Use of Cutthroat Flumes for Water Management par Gaylord V. Skogerboe, Ray S. Bennett et Wynn R. Walker. Water Management Technical Report sous contrat AID No AID/csd-2460 No 19, Colorado State University, March 1972, 131 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAA-174.

Le flume coupe-gorge est un moyen simple et peu coûteux pour mesurer le courant des canaux. Les informations afférant à l'utilisation du flume coupe-gorge sont présentées dans le cas de

*Un symbole d'Identification des Documents est donné pour chaque référence portée dans cette bibliographie. Ces symboles sont utilisés dans le *Catalog of Research Literature for Development (Catalogue de Recherche Littéraire sur le Développement)* de l'Agence pour le Développement International (Agency for International Development) et dans le journal trimestriel des extraits, « A.I.D. Research and Development Abstracts » (ARDA) (Extraits de la Recherche et du Développement d'A.I.D.). Il est possible d'acheter des copies sur microfiches ou sur papier des documents portés dans ces publications en écrivant à l'adresse ci-dessous pour obtenir les bons de commande et les informations sur les prix courants. Les institutions des pays en voie de développement ont droit aux titres choisis de ARDA sans frais. Pour être sur la liste d'adresses en vue de recevoir ARDA, les institutions intéressées doivent demander un « ARDA Questionnaire » à :

Editor of ARDA, DS/DIU/DI
Agency for International Development
Washington, D.C. 20503, E-U.

courants libres et de courants circulant dans des canaux submergés. On fournit de plus les tables permettant d'établir les différences entre des courants libres et des courants submergés. Des exemples sont donnés pour illustrer la phase de conception du flume de façon à en déterminer la taille, mais aussi pour obtenir les débits d'eau obtenus dans le cas des courants libres comme dans le cas des courants d'un canal souterrain. On trouvera aussi les instructions nécessaires quant à l'installation et à l'entretien des flumes coupe-gorge. Le volume d'eau obtenu en fonction de la taille des différents flumes est donné en mesures anglosaxonnes et en système métrique. On trouvera ces résultats en appendice.

Irrigation Design and Management Related to Economics par Jack Keller, J. Paul Riley et R. John Hawks. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/csd-2459, Utah State University, September 1972, 17 pages. Code d'identification du document AID : PN-RAA-069.

Ce rapport présente l'analyse des relations qui existent entre les systèmes hydrologiques et économiques dans la production économique de cultures irriguées. Les facteurs économiques dans le système d'irrigation comprennent tous les coûts, variables et fixes. Le coût de l'eau est pris en considération, en même temps que les facteurs physiques qui influencent la production des cultures sous irrigation. En fonction des relations qui existent entre les différents facteurs, on suggère des les combiner de façon systématique de façon à optimiser la conception et la gestion des systèmes d'irrigation.

Irrigation Fundamentals par Glen E. Stringham. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/csd-2459, Utah State University, 52 pages. Code d'identification du document AID : PN-RAA-070.

Ce rapport présente les aspects fondamentaux de l'irrigation, et s'adresse aux programmes de formation en matière d'irrigation en Amérique du Sud. L'aspect essentiel de ce rapport concerne l'explication des caractéristiques des sols, en particulier le sol qui sert de réservoir aux cultures. En annexe, on trouvera huit démonstrations qui permettent aux individus de comprendre les différents principes du sol, et sa fonction en tant que réservoir d'eau pour la croissance des cultures.

Irrigation Requirements in Latin American Countries par Jerald F. Christiansen et Georges Hargreaves. Rapport rédigé sous Contrat AID No AID/csd-2167, Utah State University, 1972, 11 pages. Code d'identification du document AID : PN-RAA-003.

Les renseignements climatiques de nombreuses régions d'Amérique latine ne fournissent pas toutes les précisions nécessaires quant à l'estimation du volume d'irrigation nécessaire. Pour bien faire, les informations collectées doivent comprendre les précipitations exactes, et établies sur une période suffisamment longue pour pouvoir déterminer une probabilité relativement précise des précipitations pour un mois donné. Des informations sur l'évaporation des trémis sont aussi nécessaires ; très souvent toutefois on ne peut pas compter sur des mesures à la fois standardisées et précises. Le rapport présente un certain nombre d'équations qui se substituent aux chiffres concernant l'évaporation par trémis pour le calcul de l'évapotranspiration. Par contre il existe des données sur la température, la part d'ensoleillement, les vents et l'humidité. Au moyen des équations et des renseignements disponibles en provenance du Venezuela, de l'Equateur, de la Colombie et d'El Salvador, on établit des tables qui donne le déficit mensuel d'évapotranspiration dans deux points extrêmes du Venezuela : l'une des régions est caractérisée par de fortes précipitations, l'autre au contraire par des précipitations très faibles. Il est très important, pour déterminer le volume d'irrigation nécessaire, de connaître un taux de précipitation relativement exact, basé sur les probabilités mensuelles de précipitations.

The Evaluation of Water Deficiencies par George H. Hargreaves. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/csd-2167, Utah State University, 1972, 19 pages, Code d'identification du document AID : PN-RAA-013.

Ce rapport traite d'un certain nombre de concepts qui établissent plus précisément les besoins en humidification des cultures et les sources disponibles. L'évapotranspiration potentielle sert d'indice d'humidification nécessaire. Les précipitations utilisables, qui correspondent aux précipitations atteintes ou en excès dans 75 % des cas, fournissent un indice des ressources d'humidification disponibles. Deux types d'indice sont proposés : L'un représente l'humidification disponible, l'autre suggère l'humidification adéquate opposée au manque d'humidité. Ce qu'on appelle le pourcentage adéquat se rapporte aux taux d'humidité constaté à une période donnée. On l'utilise pour préciser les précipitations nécessaires à la production des cultures. Pour établir les indices ci-dessus, on utilise les précipitations, la température, l'humidité relative, la force du vent et l'élévation. Un certain nombre d'équations sont établies à partir de ces paramètres et comprennent un large éventail de conditions climatiques, y compris celles qui sévissent dans des régions arides et semi-désertiques du globe.

A Suggested Program of Irrigation Research and Knowledge Transfer in Arid and Sub-Humid Areas par Allan D. Lebaron. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/csd-2167, June 1973, Utah State University, 21 pages, Code d'identification du document AID : PN-RAA-057.

Ce rapport présente une méthodologie simple pour organiser la recherche dans les pays en voie de développement. La première phase à suivre suggère d'obtenir les rendements des cultures en fonction de l'humidité et de la fertilité des sols, dans le cadre local. L'étude devrait inclure des tests des méthodes d'irrigation. Il faut de plus choisir des lieux précis où sera conduite l'expérience à partir des régions sélectionnées. Les coûts de l'implantation d'un système d'irrigation dans une exploitation agricole devront être établis à partir d'une étude sur le terrain, basée sur l'analyse économique des pratiques d'irrigation à l'échelon local. Finalement on devra établir une méthode concrète de façon à assurer le transfert technologique. Un modèle théorique a été établi à partir de l'expérience vécue par un certain nombre d'individus ; cependant le rapport ne présente qu'un certain nombre de généralités sur les coûts afférant à la recherche proprement dite, et aucune autre information précise.

A Strategy for Optimizing Research on Agricultural Systems Involving Water Management par Jack Keller, Dean F. Peterson, and H.B. Peterson. Rapport sous contrat AID No AID/csd-2459, Utah State University, July 1973, 20 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAA-336.

Les mécanismes du modèle qui assure l'exploitation optimale des systèmes agricoles par l'intermédiaire du transfert technologique y sont développés. Ce modèle théorique tente de diviser l'environnement en molécules distinctes et par là même, mesurables. La production des cultures intègre le résultat final obtenu par une action spécifique entreprise par l'homme en un lieu donné. Ce modèle devrait aider à organiser les renseignements relatifs aux cultures et aux différentes recherches. Ce même modèle offre un plan très utile pour guider le technicien au cours du programme de recherche et de développement jusque dans la phase d'analyse du projet. De la même façon on trouvera dans ce rapport les premiers jalons d'un système d'édition de l'information collectée. Cette étude reste théorique et n'inclut pas les applications du modèle.

The Effect of Agricultural Use on Water Quality for Downstream Use for Irrigation par J.E. Christiansen. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/csd-2167, Utah State University, July 1975, 35 pages. Code d'identification du document AID : PN-RAA-002.

Ce rapport présente une analyse des effets qui résultent de l'eau d'irrigation qui retourne dans le cours d'eau principal, sur la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation en aval. Les facteurs essentiels de cette analyse comprennent le volume de sel total, le taux de sodium, la conductivité électrique, le taux d'absorption de sodium, le carbonate de sodium résiduel, etc. A partir de ces paramètres, on

établit une échelle qui gradue la qualité de l'eau d'irrigation. En illustration on présente les changements qui affectent la qualité de l'eau, et qui résultent de détournements de trois fleuves des Etats-Unis pour les besoins d'irrigation.

Irrigation System Evaluation and Improvement par John L. Merriam, Jack Keller et Jose F. Alfaro. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/csd-2459, September 1973, Utah State University, 176 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAA-439.

Ce Manuel évalue les systèmes d'irrigation et comprend les procédures détaillées quant à l'évaluation sur le terrain des arroseurs, de la surface, de l'irrigation obtenue par le ruissellement des eaux, et aussi des méthodes de gestion. On y trouvera aussi les renseignements concernant le matériel nécessaire à l'évaluation des systèmes d'irrigation, ainsi que les instructions méthodiques afférant au travail sur le terrain. On présente des études de cas et le manuel comprend l'analyse et les solutions pour chacun des cas étudiés. Le chapitre sur l'irrigation de bordure et de sillon comprend une synthèse de la méthode d'évaluation ainsi qu'une liste exhaustive d'instructions pour une évaluation complète. Plusieurs annexes illustrent les différentes méthodes proposées, ainsi qu'un glossaire des termes utilisés.

Practical Skimming Well Design par Farid-Uddin A. Zuberi et David B. McWhorter. Rapport technique sur la gestion de l'eau préparé sous contrat AID No AID/csd-2162, Novembre 1973, 61 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAA-535.

Dans certaines parties du monde, telles que les régions côtières et dans les bassins qui recèlent des eaux souterraines salées, susceptibles de rentrer en interaction avec des eaux de pluies périodiques, il existe une fine couche d'eau de pluie claire, qui « flotte » au-dessus de la nappe d'eau salée. On trouve de tels phénomènes dans la Plaine Indus au Pakistan. Les puits ordinaires; creusés à grande profondeur et à débit rapide, produiront de l'eau salée et peuvent ruiner la nappe aquifère, en termes de qualité de l'eau. On peut concevoir des puits de filtrage, dans lesquels la profondeur du puits et la vitesse de pompage sont contrôlés de très près, de façon à pomper l'eau claire située au-dessus de la nappe d'eau salée en évitant que l'eau salée ne pénètre dans les puits. La conception des puits de filtrage est facilitée par la présentation d'un certain nombre de méthodologies basées sur les formules théoriques. Si un puits unique ne suffit pas, le rapport présente aussi une méthode de liaison entre différents puits de filtrage au moyen d'un collecteur. On trouvera aussi dans ce rapport le coût approximatif des puits de filtrage en fonction d'une étude réalisée au Pakistan. Les équations mathématiques sont toutefois d'une grande complexité.

Groundwater Extraction and Water Balance par George H. Hargreaves. Rapport sous contrat AID No AID/csd-2167, 1973, Utah State University, 23 pages. Code d'identification du document AID : PN-RAA-015.

L'extraction et l'utilisation optimale des eaux souterraines sont liées à l'épuisement des nappes souterraines et l'équilibre aquifère. On définit l'évapotranspiration potentielle, l'évapotranspiration réelle des cultures et de la végétation, les précipitations minimales, les manques en humidité et un indice de disponibilité de l'humidité. Ce rapport présente une méthode pour estimer l'évaporation potentielle et l'évapotranspiration des cultures avec un minimum de données climatiques. Pour la plupart des climats, il suffit de connaître la température et l'humidité moyennes. Pour les régions sèches, seule la température est requise. Les facteurs affectant les cultures sont présentés pour un grand nombre de cultures. Pour illustrer les différentes relations on présente l'analyse de l'équilibre aquifère d'un bassin quasi fermé du Nicaragua.

Drainage and Salinity Problems in Irrigated Areas, How to Avoid or Minimize Them par J.E. Christiansen et E.C. Olsen. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/ta-c-1103, Utah State University, April 1974, 64 pages. Code d'identification du document AID : PN-RAB-202.

Ce rapport décrit en général les problèmes de drainage liés à l'agriculture irriguée, et l'importance de la qualité de l'eau dans la détermination des nécessités de drainage associé à l'irrigation. On y étudie les caractéristiques des sols et les critères qualitatifs de l'eau. On présente différentes méthodes de drainage adaptées à l'agriculture irriguée, et la façon de regagner les sols qui ont été endommagés par suite de l'accumulation des sols ou un excès de sodium. Les auteurs insistent aussi sur l'importance de l'évaluation des besoins en drainage lorsque un projet d'irrigation est établi. Le lecteur trouvera en annexe un glossaire des termes associés au drainage et à la gestion des travaux d'irrigation. Ce rapport offre un guide utile et s'adresse aux personnes intéressées par un projet d'irrigation.

Irrigated Corn Production in Chile: Increasing Yields through Intensive Irrigation Management par R. Kern Stutler, Don C. Kidman, Juan Tossa et Norbert Fritsch. Rapport rédigé sous Contrat AID No AID/csd-2167, Utah State University, December 1974, 27 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-090.

Ce rapport analyse les résultats obtenus après un programme de trois ans, et qui impliquait l'investigation et la démonstration de certains concepts modernes d'irrigation associée à la culture du maïs dans la Province d'Aconcagua au Chili. L'accent était mis sur l'irrigation, la gestion des sols, la fertilité, les différentes sortes de maïs et la structure des plantes. D'après les résultats, on a constaté que le rendement potentiel du maïs est bien supérieur au rendement actuel. En adoptant les méthodes suggérées dans ce rapport les producteurs de maïs peuvent augmenter le rendement d'au moins 150 % avec les moyens dont ils disposent à l'heure actuelle. Même si la recherche a été entreprise dans la province de l'Aconcagua, on peut utiliser cette technologie dans d'autres régions de maïs, à l'aide de quelques modifications.

Energy Inputs to Irrigation par J.C. Batty, Safa N. Hamad, et Jack Keller. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/csd-2459, Utah State University, December 1974, 25 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAA-948.

Les ressources énergétiques nécessaires à l'obtention d'eau pour les cultures irriguées en utilisant neuf systèmes d'irrigation différents sont analysées dans ce rapport. Les systèmes présentés comprennent un système d'irrigation de surface sous forme de bassin à ciel ouvert, sans système de récupération des écoulements, un système d'irrigation de surface alimenté par des vannes et avec un système de récupération des écoulements, plusieurs systèmes d'arrosage et un système d'irrigation par ruissellement. Beaucoup des systèmes présentés sont tellement onéreux qu'on peut difficilement les envisager pour les pays en voie de développement. L'analyse comprend les ressources énergétiques nécessaire à la fabrication des pièces des systèmes et des installation, ainsi que les coûts de fonctionnement et d'entretien. Les systèmes d'irrigation de surface sont les moins coûteux aussi bien en termes financiers qu'en consommation énergétique.

Optimum Control of Irrigation Water Application par Martin M. Fogel, Lucien Duckstein et Chester C. Kisiel. *Automatica*, Volume 10, pages 579-586, 1974. Préparé par l'université d'Arizona sous contrat AID No AID/csd-245. Code d'identification du document AID : PN-AAA-793.

Cette étude traite de la manière de contrôler l'eau qui se répand dans la terre autour de la racine des cultures irriguées, de façon à minimiser les pertes. Ce contrôle est réalisé en planifiant le volume et la période impartie à l'irrigation de façon à réapprovisionner le réservoir d'eau contenu dans le sol et qui s'est vidé du fait de la consommation des cultures. Les taux d'évapotranspiration effectifs sont fonction du niveau d'eau déjà présent dans le sol et de l'évaporation, déterminée en fonction des probabilités ou des circonstances. Pour les cultures qui croissent dans un sol donné, le niveau optimum de l'eau est défini comme étant le niveau auquel les cultures poussent sans aucune difficulté. La diminution du rendement d'une culture est liée à son stade de croissance, et à la durée pendant laquelle l'eau a été en-dessous du niveau optimal. Cette étude est basée sur des considérations théoriques.

The Importance of Farm Water Management in Pakistan par Wayne Clyma et Gilbert L. Corey. Water Management Technical Report No 38, Préparé sous contrat AID No AID/ta-c-1100, Colorado State University, March 1975, 28 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAA-806.

Cette étude présente l'historique des recherches qui ont été entreprises récemment au Pakistan avant les Projets de contrôle de salinité et de reconquête des terres. Ces analyses ont généralement abouti à des conclusions beaucoup plus optimistes quant à l'efficacité de l'irrigation dans les exploitations agricoles que les études sur le terrain ne l'ont démontré. Des améliorations de l'ordre de 20 % paraissent être des mesures plus réalistes que les premiers taux annoncés qui variaient entre 50 et 85 pour cent. On peut donc conclure que l'amélioration des systèmes d'irrigation des fermes augmentera le volume d'eau disponible pour la production de ressources alimentaires, bien plus que tout autre investissement comparable. De plus ces améliorations affecteront aussi les problèmes de salinité et des terrains saturés d'eau. On propose un plan qui implique la modification de la forme du terrain, l'aplanissement, la remise en état des cours d'eau (considéré comme étant essentiel au Pakistan), le planning de l'irrigation, l'augmentation du volume d'eau à l'aide de puits abyssiniens, le stockage de l'eau le long du cours d'eau, le contrôle du canal de façon à satisfaire la demande en eau des cultures, la gestion des sols pour assurer l'humidité nécessaire, l'implantation des cultures en des endroits précis, les méthodes de cultures et l'entretien du système d'irrigation. L'implantation d'un tel plan doit prendre le macrosystème en considération, ainsi que les méthodes de gestion des sols et de l'eau, les institutions locales, avant d'aboutir à des décisions socio-économiques.

Irrigation Practices and Application Efficiencies in Pakistan par Wayne Clyma, Arshad Ali et Mein Mohammad Ashraf. Water Management Technical Report No 39, préparé sous contrat AID No AID/ta-c-1100, Colorado State University, March 1975, 36 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-720.

Les recherches sur les pratiques d'irrigation au Pakistan démontrent qu'il existe souvent des problèmes de sur-irrigation. Ceci est dû à un mauvais aplanissement et au mauvais agencement du terrain, à l'impossibilité de prévoir l'approvisionnement en eau en fonction des besoins des cultures, et à l'absence d'outils de mesure du volume d'eau répandu. Plus de 80 % des champs étudiés avaient des taux d'efficacité inférieurs à 40 % en matière d'eau répandue, la moyenne se situant aux environs de 20 %. Ceci est bien inférieur aux estimations officielles, et démontre la nécessité d'établir des mesures de l'efficacité de l'irrigation.

Improving Farm Water Management in Pakistan par Gilbert L. Corey et Wayne Clyma. Water Management Technical Report No 37, préparé sous contrat AID No AID/ta-c-1100, Colorado State University, March 1975, 32 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-721.

Le développement historique du système d'irrigation Pakistanais très étendu sur le territoire national, est présentés dans ce rapport. On y évalue aussi quels sont les domaines dans les projets individuels où les pertes en eau sont les plus importantes. Les auteurs insistent sur la nécessité de bien contrôler les eaux détournées du cours d'eau principal sur des branches annexes, à proximité des champs et des fermes ; les statistiques présentées montrent bien l'ampleur des pertes qui en résultent. Un autre aspect de l'étude insiste sur la nécessité pour les gouvernement de considérer la production alimentaire par unité d'eau plutôt que le volume d'eau amené dans les canaux. Un certain nombre de recommandations concernant les différentes phases à respecter pour augmenter la production par unité d'eau y sont présentées :

- 1) Analyse des modes de gestion de l'exploitation
- 2) Utilisation simultanée d'eaux souterraines et de surface
- 3) Un programme national de nivellement des terrains
- 4) Remise en état des cours d'eau
- 5) Révision des règles et des méthodes qui régissent l'approvisionnement en eau de l'exploitant agricole.

Design of Irrigation Drop Structures par Soon-kuk Kwun. Water Management Technical Report No 33, préparé sous contrat AID No AID/ta-c-1100, Colorado State University, March 1975, 123 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-272.

Ce rapport présente les données nécessaire à la conception de structures de dénivellation hydrauliques pour les canaux d'irrigation ou d'autres cours d'eau. Il faut employer ces structures lorsque l'inclinaison dans un canal est tellement importante, que pour palier à des dégradations éventuelles, il faut employer ces constructions pour dissiper l'énergie. Dans différents chapitres du rapport, le lecteur trouvera une description des aspects hydrauliques des structures de dénivellation, ainsi que les aspects essentiels de conception des structures verticales et de celles présentant un plan incliné. Une très longue bibliographie permettra au lecteur intéressé par une description plus précise de la conception de tels édifices de se référer à d'autres ouvrages. Toutefois pour les éléments hydrauliques, le rapport suffit.

Village Organizational Factors Affecting Water Management Decision-Making Among Punjabi Farmers par Ashfaq H. Mirza, David M. Freeman et Jerry B. Eckert. Water Management Technical Report No 35, préparé sous contrat AID No AID/ta-c-1100, Colorado State University, March 1975, 62 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-097.

Les facteurs sociologiques ont été analysés dans une étude rassemblant un échantillon de quinze villages, Punjabi pris au hasard. Cette étude a amené un certain nombre de décisions quant aux pratiques d'irrigation dans les exploitations agricoles. Les auteurs insistent sur les prises de décision concernant : (1) l'entretien et le nettoyage des cours d'eau, (2) le changement du système de rotation lorsque les fermiers irriguent chacun leur tour, et (3) les contacts établis avec les responsables du système d'irrigation. Certains facteurs essentiels ont été isolés ; ce sont les castes de villageois, les relations inter-habitants, les modes de propriété, les caractéristiques des dirigeants de la communauté et la nature de l'administration. Les auteurs présentent de nombreuses conclusions et d'hypothèses issues de leurs recherches, et qui indiquent les facteurs qui affectent le plus directement la prise de décision.

Organizational Alternatives to Improve On-Farm Water Management in Pakistan par George E. Radosevich et Graig Kirkwood. Water Management Technical Report No 36 préparé sous contrat AID No AID/ta-c-1100, Colorado State University, June 1975, 258 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-671.

Cette étude traite des lois régissant les eaux au Pakistan et les clauses qui affectent les organisations d'utilisateurs. De plus, on y traite aussi de certains lois qui régissent les eaux aux Etats Unis, en Espagne, en Argentine, en Turquie, et à Taiwan. Les auteurs insistent sur l'utilité des organisations d'utilisateurs, en particulier au Pakistan, en regard des cadres de lois présentement en application. On recommande une série de principes de base pour le Pakistan, basés sur l'information recueillie sur les lois régissant les eaux dans plusieurs autres pays.

Water Management Alternatives : A Tentative Appraisal par Jerry Eckert, Niel Dimick et Wayne Clyma. Water Management Technical Report No 43 préparé sous contrat AID No AID/ta-c-1100, Colorado State University, June 1975, 61 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-673.

Plusieurs méthodes sont proposées pour améliorer le bénéfice potentiel qui peut être tiré de l'eau d'irrigation. Plusieurs calculs illustrent les améliorations possibles, et qui comprennent l'alignement de cours d'eau, le réaménagement des cours d'eau dont le lit est terreux, le nivellement de précision des terrains, et un service consultatif adéquat en matière d'irrigation. En dernier lieu les auteurs donnent une méthode permettant de choisir les domaines d'un programme d'amélioration du système d'irrigation qui sont faisables d'un point de vue économique, et offrent par ailleurs la meilleure rentabilité. Les cas théoriques sont représentatifs des conditions qui existent au Pakistan.

Reference Climate Sites for Agricultural Technology Transfer par R.H. Shaw et R.W. Hill. Rapport sous contrat AID No AID/csd-2459, Utah State University, July 1975, 15 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-363.

Les auteurs présentent ici les méthodes d'identification et les caractéristiques essentielles des climats de référence pour la production alimentaire. De même, le rapport décrit la relation qui existe entre le climat et les possibilités de transfert technologique. Cet ouvrage tente de démontrer que le transfert de la technologie agricole est possible, à condition d'avoir suffisamment d'informations sur le temps, les sols, les cultures, et de développer des modèles physiques et biologiques. Les auteurs présentent un modèle d'identification systématique de la plupart des zones agricoles et climatiques du monde. Enfin, les auteurs proposent une méthode pour remédier au manque de données climatiques dans le monde, avec un coût et un temps minimum.

Irrigation Water Quality Evaluation par J.E. Christensen, E.C. Olsen et Lymon S. Willardson. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/ta-c-1103, Utah State University, August 1975, 46 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-389.

Il existe une grande confusion dans les différentes interprétation des termes « qualité de l'eau d'irrigation ». Parfois la qualité de l'eau d'irrigation se réfère seulement à la totalité des solides dissous, souvent exprimés quantitativement en milligrammes par litre. Parfois, la quantité de solides (sels) dissous dans l'eau se détermine indirectement en mesurant la conductivité électrique et s'exprime en millimhos par centimètres. Ces calculs ne donnent qu'une définition imprécise de la qualité de l'eau d'irrigation. Ce rapport analyse la qualité de l'eau, les composantes chimiques de l'eau, et d'autres conditions qui établissent les critères qualitatifs pour une bonne eau d'irrigation. L'analyse comprend la discussion des aspects se référant aux sols et aux plantes. On propose un plan de classification de l'eau, en prenant en considération la quantité totale de sel continue dans l'eau, les quantités relative de sodium comparées aux autres cations, et l'existence de substances toxiques telles que le boron. Plusieurs tables illustrent les degrés dans la qualité de l'eau d'irrigation.

Water Requirement Manual for Irrigated Crops and Rainfed Agriculture par G.H. Hargreaves. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/ta-c-1103, Utah State University, October 1975, 40 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-676.

On revoit ici les méthodes pour estimer l'évapotranspiration des cultures, en même temps qu'on analyse les nécessités de filtrage, les conditions des sols pour favoriser la croissance des cultures, et l'effet des facteurs climatiques. Le rapport présente aussi une vue d'ensemble sur l'efficacité en matière d'irrigation, les besoins en filtrage, les différents types de sols, et l'effet du manque d'humidité des sols sur le rendement des récoltes. De plus, l'auteur propose une démarche qui permet de planifier l'irrigation. Les informations continues dans ce rapport seront très utiles aux autorités chargées de l'irrigation ou aux conseillers techniques détachés sur le terrain. Toutefois, ces informations ne sont pas tout à fait à la portée de l'agriculteur local.

Physical and Socio-Economic Dynamics of a Watercourse in Pakistan's Punjab: System Constraints and Farmer's Response par Max Lowdermilk, Wayne Clyma et Alan C. Early. Water Management Technical Report No 42, Colorado State University, December 1975, 106 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-672.

Une enquête détaillée auprès de la majorité des fermiers installés le long d'une cours d'eau permet d'avoir une idée des facteurs qui caractérisent le processus de décision des agriculteurs dans le cadre de leur travail. Les facteurs sociologiques dominant ce processus ont permis de conclure à la nécessité d'avoir des conseillers techniques détachés sur place, de façon à appliquer immédiatement des techniques de pointe plutôt que de les laisser enfermés dans leurs préjugés. Les fermiers n'ont pas vu en général les problèmes liés aux excès de sédiments dans le cours d'eau, aux pertes des cours d'eau et enfin aux effets désastreux d'une sur-ou-sous-irrigation. Cette enquête confirme d'autres études, et les problèmes identifiés s'appliquent aussi à d'autres régions sous-développées du monde.

Water User Organizations for Improving Irrigated Agriculture: Applicability to Pakistan par George E. Radosevich. Water Management Technical Report No 44, Colorado State University, December 1975, 34 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAB-584.

Ce rapport analyse brièvement les lois sur les eaux et le parti que peuvent en tirer les organisations d'utilisateurs. Des recommandations spécifiques s'adressent au Pakistan, en raison du développement et de l'insitutionnalisation des associations d'utilisateurs d'eau au Pakistan. On y donne les grands principes qui régissent de telles associations. Le rapport est un résumé du Water Management Technical Report No 36 du Colorado State University (PN-AAB-671) — l'exception des analyses sur les lois sur les eaux d'autres pays et les annexes détaillées, ces informations ne figurant pas dans le présent rapport.

World Water for Agriculture par George H. Hargreaves. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/ta-c-1103, Utah State University, January 1977, 177 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAF-056.

On utilise les données climatiques établies sur 30 ans (1931-1960) dans 644 stations météorologiques, publiées par l'Organisation Mondiale de la Météorologie pour établir des tables de probabilités de précipitations, des tables de températures, d'humidités, d'ensoleillement, de l'évapotranspiration en déficit potentiel, basées sur les probabilités de précipitations en cet endroit précis durant la saison de croissance des plantes. Les climats sont classifiés pour les besoins

agricoles, et cette classification est basée sur la production agricole et les besoins relatifs en irrigation et en drainage. Les données prennent en considération les probabilités de précipitations et des incidence climatiques for les système agricoles alimentés par les eaux de pluies dans les stations réparties dans 85 pays du monde.

A Research Development Process for Improvement of On-Farm Management par Wayne Clyma, Max K. Lowdermilk et Gilbert L. Corey. Water Management Technical Report No 47 préparé sous contrat AID No AID/ta-c-1411, Colorado State University, June 1977, 58 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAF-544.

Ce rapport présente une méthode systématique d'investigation des techniques de recherche et de développement dans les pays en voie de développement et concernant des aspects particuliers de l'amélioration de l'irrigation et de son application dans les exploitations agricoles. Les quatre phases interdépendantes du transfert technologique sont identifiées comme suit: identification des problèmes prioritaires, recherche des solutions, évaluation des solutions possibles, mise en place du programme. L'identification des problèmes implique la participation de l'agriculteur pour lui permettre de mieux comprendre le fonctionnement du système d'irrigation, et pour s'assurer que les problèmes définis en priorité sont ceux qui peuvent être résolus dans le cadre des contraintes auxquelles le fermier aura à faire face. Les différentes phases de la mise en place du programme sont identifiées, en même temps que les étapes à respecter pour assurer le succès de l'opération. Le processus exige une grande coopération entre les techniciens chargés de diriger les opérations et les agriculteurs, qui doivent être tout à fait à même de comprendre tous les facteurs impliqués dans la bonne marche du projet.

Farm Irrigation Constraints and Farmers' Responses: Comprehensive Field Survey in Pakistan par Max K. Lowdermilk, Alan C. Early et David M. Freeman. Water Management Technical Report No 48-A, préparé sous contrats AID No AID/ta-c-1100 et AID/ta-c-1211, Colorado State University, 6 volumes, 148 pages, September 1978. Code d'identification du document AID : PN-AAG-347.

Cette étude en six volumes, résumée dans le volume 1, rassemble les résultats d'une étude faite sur le terrain pour déterminer les contraintes qui empêchent les fermiers Pakistanais d'améliorer leurs méthodes d'irrigation et d'obtenir de meilleures récoltes. L'étude comprend 287 fermiers dans 16 villages, utilisant 40 cours d'eau au total. Les pertes d'eau tout au long des rivières étaient très élevées : de un à deux tiers de l'eau se perdait entre le canal d'approvisionnement et la sortie sur les champs des agriculteurs. En moyenne la moitié de l'eau amenée par les cours d'eau était perdue. Le rapport explique de façon très détaillée les méthodes d'amélioration du système d'approvisionnement en eau en fonction des contraintes rencontrées par les fermiers. Les problèmes principaux ont été identifiés comme étant l'absence d'une organisation locale efficace, et qui aiderait et disciplinerait les agriculteurs à prendre une participation aux travaux d'entretien du cours d'eau, l'ignorance des fermiers quant à l'ampleur des pertes d'eau, et l'absence de connaissances techniques indispensables à la remise en état des cours d'eau.

Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management (3ème Edition) par John L. Merriam et Jack Keller. Rapport rédigé sous contrat AID No AID/csd-2459, Utah State University, 1978, 271 pages. Code d'identification du document AID : PN-AAG-745.

Ce manuel décrit de façon détaillée les procédures à mettre en place sur le terrain pour évaluer les résultats obtenues par différents types d'irrigation et les modes de gestion employés. Les différents systèmes étudiés correspondent à l'irrigation par arrosage, l'irrigation en surface, l'irrigation par infiltration. La plupart des chapitres incluent la liste des équipements nécessaires pour pro-

céder à ces évaluations, donnent les instructions à suivre pour rassembler les données sur le terrain, présentent les formulaires-type à utiliser pour inscrire et organiser les résultats, et montrent enfin un certain nombre d'études qui illustrent l'ensemble du processus. Le livre comprend des analyses et des recommandations pour des cas basés sur des faits réels. On explique par ailleurs les concepts généraux d'uniformité, d'efficacité et de gestion qui servent de critères d'évaluation pour chaque étude. On explique enfin un certain nombre de procédures, détaillées ou au contraire synthétiques, pour évaluer les systèmes d'irrigation.

BLANK PAGE

1

Autres Ouvrages Choisis à Consulter

Consumptive Use of Water and Irrigation Water Requirements édité par M.E. Jensen. Rapport Technique, American Society of Civil Engineers, New York, N.Y. 1973.

Conquest of the Land Through 7000 Years par W.C. Lowdermilk. Bulletin d'Informations Agricoles No. 99, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 1953.

Crop Salt Tolerance—Current Assessment par E.V. Maas et G.J. Hoffman. Journal de la Division de l'Irrigation et du Drainage, Volume 103, IR2, American Society of Civil Engineers, New York, N.Y., 1977.

Distribution, Control and Measurement of Irrigation Water on the Farm par A.R. Robinson, C.W. Lauritzen, D.C. Muckel et J.T. Phelan. Publication Diverse No. 926, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., Juillet 1963.

Engineering Field Manual—Irrigation. Section 15 du Manuel de Champ, Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., Publié en chapitres avec dates variées.

Irrigation Water Quality Evaluation par J.E. Christanson, E.C. Olsen et L.S. Willardson. Journal de la Division de l'Irrigation et du Drainage, Volume 103, Society of Civil Engineers, New York, N.Y., Juin 1977.

More Water for Arid Lands par D.F. Peterson et autres. National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1974.

Quality of Water for Irrigation par Robert S. Ayers. Journal de la Division de l'Irrigation et du Drainage, Volume 103, IR2, Society of Civil Engineers, New York, N.Y., Juin 1977.

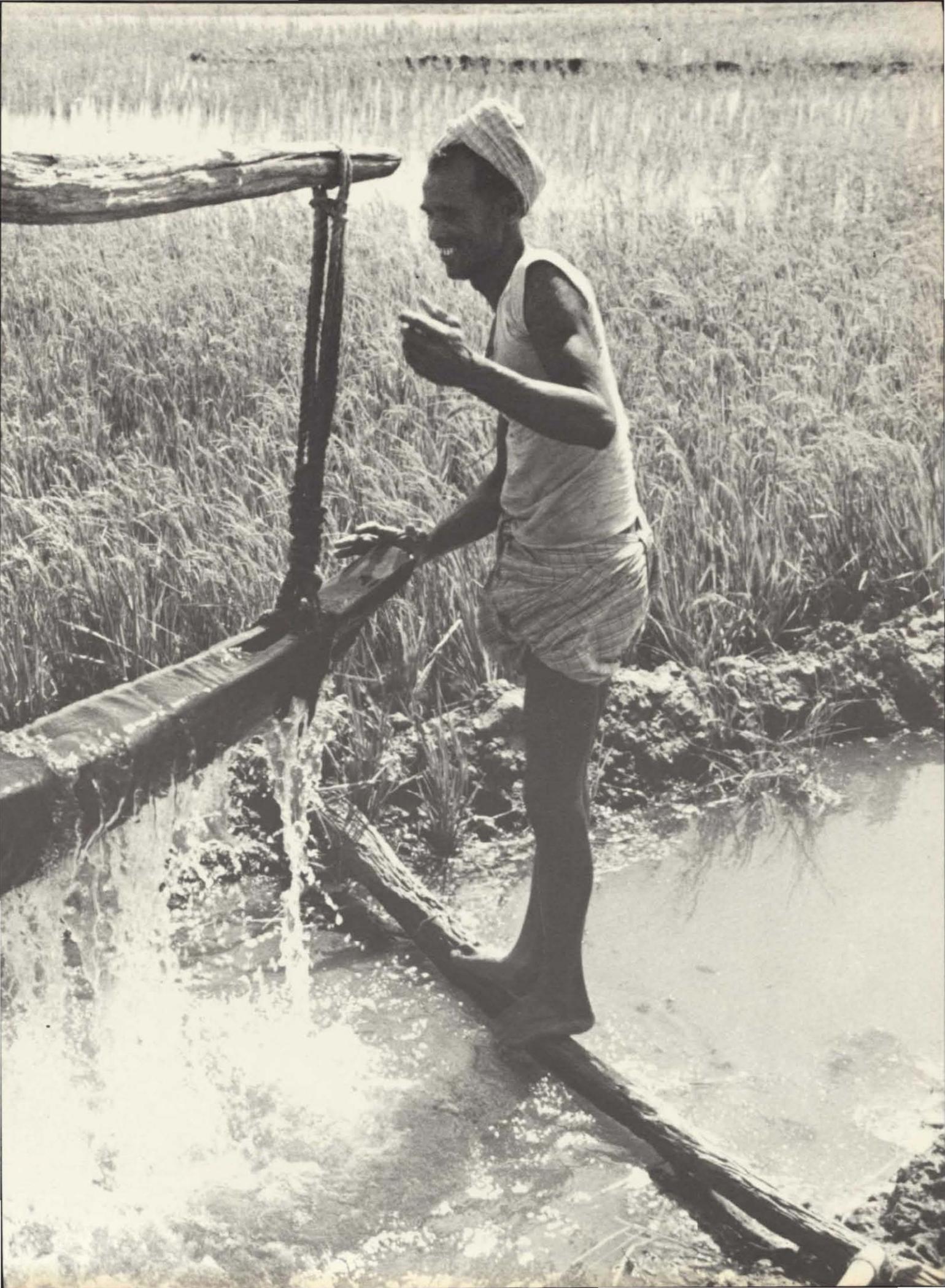
Stage Régionale sur l'Administration de l'Eau d'Irrigation. Banque du Développement Asiatique, Manille, Philippines, 1973.

Resarch Needs for On-Farm Water Management édité par D.F. Peterson. Débats au cours d'une Conférence Internationale, Université de l'Etat d'Utah, Logan, Utah, 1974.

World Water for Agriculture par George H. Hargreaves. Université de l'Etat d'Utah, Logan, Utah, Janvier 1977.

Methods of Estimating Evapotranspiration. Débats, 1966, Conférence Spécialisée sur l'Irrigation et le Drainage, American Society of Civil Engineers, Las Vegas, Nevada, 2-4 Novembre, 1966.





PROJECT NUMBER: _____
 PROCESS: _____ ACTION: _____ DATES: _____ IN'TIALS: _____
 CATALOGUE 1656 NS copy given to Kitty
 ABSTRACT ARDA
 FICHE RANDD

COMMENTS: _____



Préparé pour
 l'Agence Americaine chargée du Développement International
 Washington, D.C. 20523