

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT  
 WASHINGTON, D. C. 20523  
**BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET**

FOR AID USE ONLY  
*Batch 70*

1. SUBJECT CLASSIFICATION	A. PRIMARY Science and technology	TC00-0000-0000	
	B. SECONDARY Applications		
2. TITLE AND SUBTITLE La prevention contre les moustiques dans les terres irriguees			
3. AUTHOR(S) (101) U.S. Agr. Research Service			
4. DOCUMENT DATE 1969	5. NUMBER OF PAGES 39p.	6. ARC NUMBER ARC	
7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS AID/AFR/RTAC			
8. SUPPLEMENTARY NOTES (Sponsoring Organization, Publishers, Availability) (In Collection: techniques am.,134)			
9. ABSTRACT			

10. CONTROL NUMBER <i>PN-AAE-952</i>	11. PRICE OF DOCUMENT
12. DESCRIPTORS Insect control Irrigated land Mosquitoes Environmental engineering	13. PROJECT NUMBER
	14. CONTRACT NUMBER AID/AFR/RTAC
	15. TYPE OF DOCUMENT

**La prévention contre  
les moustiques dans  
les terres irriguées**

Traduction d'une étude en langue anglaise intitulée  
**MOSQUITO PREVENTION ON IRRIGATED FARMS**  
Agriculture Handbook N° 319  
élaborée par un groupe de spécialistes  
de la détermination, de la conservation  
des ressources naturelles, de l'irrigation,  
et de la santé publique  
et publiée par le  
**DEPARTEMENT DE L'AGRICULTURE DES U.S.A.**  
**WASHINGTON, D.C.**

La présente édition en langue française est publiée par le  
Regional Technical Aids Center (RTAC)  
dénommée  
Centre Régional d'Éditions Techniques (CRET)  
qui relève du  
**DEPARTMENT OF STATE**  
**Agency for International Development**  
Office of Institutional Development (AFR/ID)  
Washington D.C.  
Pour tous renseignements au sujet des publications CRET  
s'adresser à la  
*Mission Américaine de l'A.I.D.*  
*Ambassade des États-Unis d'Amérique*  
(Capitale du pays d'où émane la demande)

## PRÉAMBULE

Partout au monde le développement des cultures irriguées s'est traduit par une augmentation du nombre de moustiques. Ces insectes suceurs de sang menacent sérieusement la santé, le confort et le bien-être des populations. Ils entravent également les activités agricoles et industrielles, et réduisent considérablement les bienfaits de l'irrigation. Le problème irrigation-moustique est aggravé par l'extension des superficies irriguées, l'accroissement démographique, l'urbanisation, l'industrialisation, la résistance accrue des moustiques aux insecticides, l'inquiétante apparition de résidus d'insecticides dans l'eau et la nourriture, l'accroissement rapide des activités récréatives de plein air et la demande croissante du public pour un milieu plus confortable et plus salubre.

Dans la plupart des zones irriguées, on trouve des gîtes naturels de moustiques, mais l'expérience a montré que la prolifération des moustiques prend des proportions bien plus inquiétantes lorsque ces gîtes ont été créés par l'homme. Ces foyers à moustiques sont généralement causés par des pratiques défectueuses d'irrigation, de drainage ou de gestion agricole.

Les gîtes de moustiques sont souvent créés par les ouvrages hydrauliques tels que les réservoirs, canaux, conduits ou fosses d'irrigation. Pour résoudre définitivement le problème dans les secteurs irrigués, il faut avant tout prendre des mesures pour éliminer ou modifier les gîtes aquatiques de ces bestioles. Ces dernières années, il est apparu que pour y parvenir, une coordination étroite est indispensable entre les spécialistes de la lutte contre les moustiques et ceux qui sont chargés de l'aménagement hydraulique de l'agriculture et des activités connexes telles que la protection des sols, de la faune et de la flore. Bien que des divergences puissent quelquefois surgir entre les spécialistes de la démoustication et les utilisateurs d'eau, il y a toujours moyen de se mettre d'accord sur certains objectifs précis, dans l'intérêt mutuel. L'intérêt public exige que la lutte contre les moustiques soit coordonnée avec la gestion et la distribution de l'eau d'irrigation afin de procurer le maximum d'avantages au plus grand nombre possible d'intéressés. Bien que la solution ne soit pas toujours évidente dans certains cas, les difficultés peuvent être aplanies bien plus rapidement par une action coordonnée fondée sur une parfaite connaissance des intérêts en cause.

La lutte contre les moustiques dans les exploitations irriguées n'est qu'un aspect du problème général irrigation-moustique. La présente brochure fournit des renseignements sur :

- 1) la nature des problèmes irrigation-moustique,

2) les foyers à moustiques créés par l'homme dans les exploitations irriguées,

3) les rapports entre la lutte contre les moustiques, l'irrigation rationnelle des superficies arables et la conservation du sol, de l'eau, de la faune et de la flore. Elle a été rédigée pour servir de guide aux agents de vulgarisation agricole, aux chefs de secteurs de démoustication, aux techniciens de la défense et restauration des sols et aux autres agents techniques de la santé publique et de l'agriculture intéressés dans la mise en valeur des terres et l'utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation dans les exploitations.



FIG. 1. — Vue aérienne d'un périmètre irrigué.

## NATURE ET ÉTENDUE DES PROBLÈMES IRRIGATION-MOUSTIQUE

### IMPORTANCE SOCIO-ÉCONOMIQUE ET SANTÉ PUBLIQUE

Une douzaine d'espèces vulnérantes de moustiques peuvent présenter un danger pour la santé publique dans les secteurs irrigués, du fait de leur capacité de tourmenter les humains ou de leur transmettre des maladies.

Trois de ces maladies constituent un fléau particulièrement redoutable pour l'humanité : la fièvre jaune, le paludisme et l'encéphalite commune connue sous le nom de maladie du sommeil.

Le paludisme est répandu sur presque toute la terre, plus particulièrement dans les régions tropicales, mais aussi dans les régions tempérées, où heureusement, de nombreux foyers ont été éteints. Il est transmis par des moustiques appartenant au genre *Anophèles*.

La fièvre jaune, transmise par un moustique, le *Stegomyia Fasciata*, ne se rencontre que dans les régions tropicales. C'est une maladie très grave pouvant entraîner la mort.

La maladie du sommeil est normalement transmise par la mouche tsé-tsé. En Amérique, où elle sévit encore sous trois formes principales, elle est cependant transmise par plusieurs genres de moustiques, dont le *Culisita melanura* et certains *Aédés*. Les moustiques contractent le virus de cette encéphalite des oiseaux et autres vertébrés sauvages puis le transmettent aux chevaux et aux hommes.

Même s'ils ne transmettent pas de maladies graves, certains moustiques vulnérants de l'espèce *Aédés* tourmentent les populations rurales, provoquent souvent des réactions pénibles, des allergies et quelquefois des infections secondaires.

En plus du grave danger qu'ils présentent pour la santé publique, les moustiques nuisent au rendement des exploitations irriguées. Leurs piquûres réduisent l'efficacité des paysans et peuvent déprécier la valeur des terres. Quelquefois, les récoltes ne peuvent se faire dans de bonnes conditions au moment opportun à cause du désagrément provoqué par les moustiques. Des nuées de moustiques tourmentent les bêtes, les empêchent de manger, diminuent leur vitalité et, de ce fait, réduisent la production de viande, de lait et d'œufs.

De plus grands dommages au bétail peuvent résulter des maladies trans-

prises au bétail par les moustiques, vecteurs de l'encéphalite, de l'anaplas-mose, de la diphtérie aviaire et d'autres graves maladies qui tuent chaque année de nombreux animaux de la ferme et des volailles. Ainsi, tant pour sa santé que pour son bien être matériel, il est de l'intérêt du fermier de lutter contre les moustiques.

Les moustiques des terres irriguées causent aussi du tort dans les régions urbaines en réduisant l'efficacité des ouvriers, en diminuant la valeur des biens immobiliers et en faisant obstacle aux activités récréatives de plein air.

## **BIOLOGIE DES MOUSTIQUES DES RÉGIONS IRRIGUÉES**

Les moustiques des régions irriguées comportent quatre genres ou groupes importants : *Anopheles*, *Culex*, *Aedes* et *Psorophora*. Toutes ces espèces de moustiques ont 4 stades distincts dans leur cycle biologique : œuf, larve, puppe et adulte. Tous les moustiques ont une caractéristique commune : celle de vivre dans l'eau en permanence depuis l'éclosion des œufs jusqu'à l'émergence de l'adulte. On les trouve généralement dans les eaux peu profondes ayant une végétation abondante et des débris flottants et où ils sont protégés contre l'action des vagues. On ne les trouve pas dans les eaux courantes et profondes des lacs, des étangs ou des fleuves.

D'après le comportement de ponte, les moustiques peuvent être divisés en espèces d'eau temporaire et en espèces d'eau permanente. Les *Aedes* et les *Psorophora* se reproduisent en eau temporaire et déposent leurs œufs sur le sol saturé de zones d'où l'eau de surface s'est retirée. Par contre, les *Anopheles* et les *Culex* déposent leurs œufs à la surface de nappes d'eau permanentes ou semi-permanentes. L'éclosion des œufs d'*Aedes* et de *Psorophora* est stimulée par les inondations qui suivent. Les œufs de ces moustiques peuvent rester à l'état de repos pendant une longue période, quelquefois plusieurs années, si les conditions sont défavorables à l'éclosion. Les œufs éclosent normalement plus ou moins simultanément quand ils sont submergés et pour certaines espèces, une nouvelle génération peut se développer à chaque inondation pendant l'été. Les œufs d'*Anopheles* et de *Culex* éclosent généralement quelques jours après la ponte. La durée entre l'éclosion des œufs et la sortie des moustiques adultes varie suivant les espèces et les conditions ambiantes, notamment la température de l'eau. Le développement des stades aquatiques peut durer 4 ou 5 jours par temps chaud, mais plusieurs semaines par temps froid. Les moustiques *Aedes* et *Psorophora* se développent généralement plus rapidement que les *Anopheles* et les *Culex*.

Les moustiques adultes s'accouplent aussitôt après l'émergence. Les femelles commencent à chercher les repas de sang qui sont nécessaires, pour beaucoup d'espèces, avant la ponte. Le comportement vulnérant des moustiques adultes varie suivant les espèces. Les *Anopheles* et les *Culex* se nourrissent principalement la nuit, alors que les *Aedes* et les *Psorophora* s'alimentent aussi bien la nuit que le jour. La plupart des espèces est particulièrement vorace pendant une période d'une heure ou deux aussitôt après le coucher du soleil. Les *Aedes* et les *Psorophora* sont agressifs et virulents, tant pour l'homme que pour le bétail. *Culex*

*tarsalis*, le moustique commun, vecteur de l'encéphalite, se nourrit volontiers aux dépens d'un grand nombre d'hôtes, comprenant l'homme, les oiseaux sauvages et domestiques et le bétail.

Le rayon d'action des moustiques varie beaucoup suivant l'espèce et les conditions ambiantes. La direction et la distance du vol dépendent beaucoup de la présence des aliments et des gîtes, ainsi que des conditions du vent. La proximité des aliments constitue probablement le facteur le plus important affectant le mouvement des moustiques dans les exploitations irriguées ; si une nourriture adéquate et suffisante se trouve près des sites de prolifération, les moustiques adultes ne s'éloigneront probablement pas beaucoup de leurs gîtes. En revanche, les moustiques peuvent voler plusieurs kilomètres lorsqu'ils ne trouvent pas de quoi se nourrir près de leurs gîtes larvaires. La portée du vol des *Anopheles* et de quelques *Culex* est généralement d'environ 1 500 mètres, bien que plusieurs espèces couvrent fréquemment une distance de plusieurs kilomètres ; par exemple le moustique vecteur de l'encéphalite, *Culex tarsalis*, peut voler jusqu'à 16 kilomètres. La plupart des espèces d'*Aedes* et de *Psorophora* sont de grands voiliers et sont connus pour s'éloigner à plusieurs kilomètres de leur gîte larvaire.

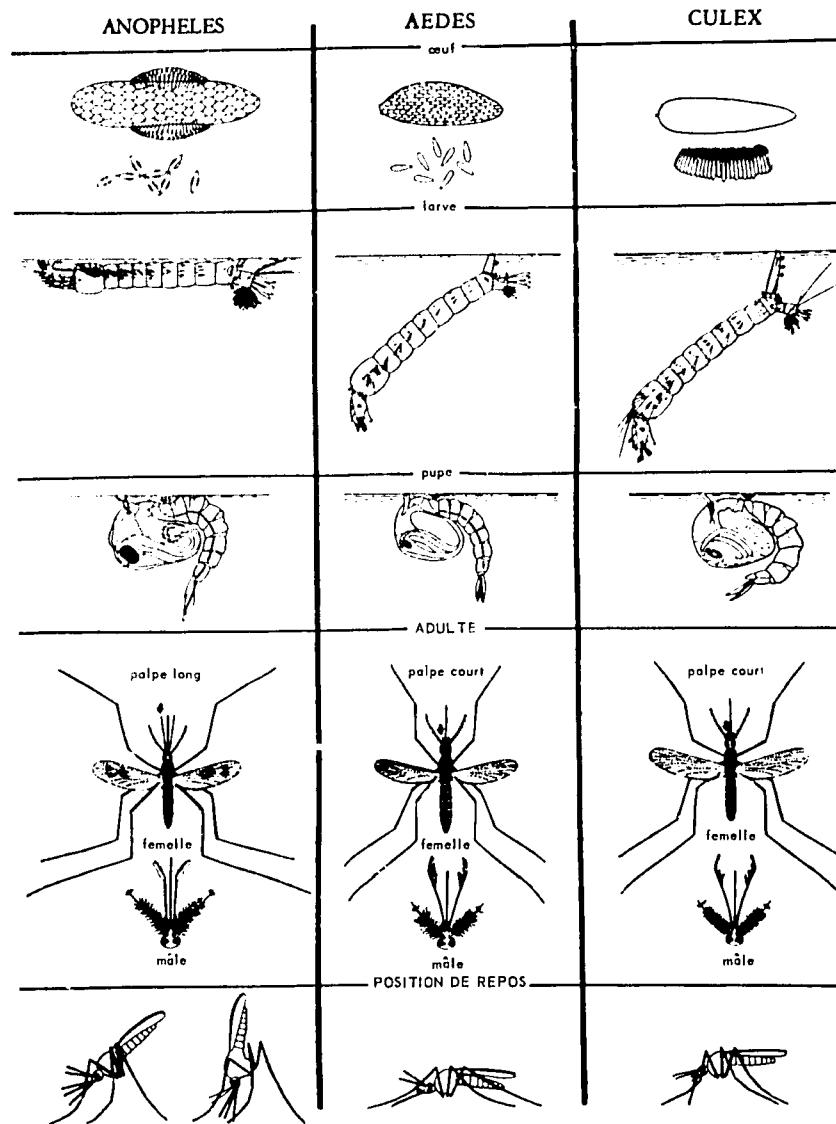


FIG. 2. — Caractères distinctifs des trois moustiques communs.

## **GITES DE MOUSTIQUES DANS LES EXPLOITATIONS IRRIGUÉES**

Les études faites dans des zones irriguées ont montré que dans les exploitations irriguées, les moustiques prolifèrent souvent dans des gîtes aquatiques situés à l'intérieur aussi bien qu'à l'extérieur des champs. Les gîtes naturels de moustiques se trouvent dans de nombreuses zones irriguées mais ceux créés par l'homme sont généralement bien plus importants.

### **GITES DANS LE CHAMP**

La prolifération abondante des moustiques survient souvent dans les parties basses des champs utilisés pour les pâturages, les prairies de fauche et autres cultures fourragères très denses. quand l'eau d'irrigation est retenue assez longtemps pour que les larves terminent leur développement. La mince couche d'eau doit être présente au moins 4 ou 5 jours pour que les larves se développent et donnent des moustiques adultes. Le riz est une des seules cultures importantes de plein champ, qui ne réussit bien que lorsqu'elle est immergée si longtemps. Les moustiques prolifèrent quelquefois dans les champs irrigués plantés de cultures en ligne, comme le coton, mais généralement l'eau n'est pas retenue assez longtemps pour que les larves aux stades aquatiques terminent leur développement.

Les observations, dans plusieurs régions, ont montré que lorsque l'eau d'irrigation est retenue assez longtemps dans les pâturages et les prairies de fauche pour permettre le développement des larves de moustiques, les bonnes plantes fourragères et légumineuses sont fréquemment détruites et remplacées par des plantes de terrain humide, qui ont moins de valeur agricole. De sorte que l'accumulation prolongée de l'eau qui est favorable à la prolifération des moustiques est nuisible à la croissance des cultures courantes.

En Californie, des nuées d'*Aedes nigromaculis* prolifèrent dans des nappes d'eau stagnante dans les prés irrigués. Beaucoup de ces pâtures sont irriguées 10 à 15 fois d'avril à octobre et une génération de moustiques peut se développer dans les flaques et les mares qui persistent après chaque irrigation. Des enquêtes faites dans une vallée de l'Etat de Montana montrèrent que plus des deux tiers de toute la population des moustiques (surtout *Aedes dorsalis* et *A. vexans*) proliférant sur une



FIG. 3. — Les affleurements à la partie basse des champs irrigués sont des foyers importants de moustiques. De plus, de telles nappes d'eau causent souvent des dommages aux plantes cultivées et gênent les travaux agricoles.

superficie de 2 000 hectares, provenaient des nappes d'eau stagnante dans les champs irrigués, les prés et les prairies à chiendent. Dans cette vallée, l'eau d'irrigation ne s'écoule pas assez vite dans les prés et ceci favorise la prolifération de *Culex tarsalis*, le moustique de l'encéphalite. Des études faites dans l'ouest du Nebraska ont fait apparaître qu'un grand nombre de *Culex tarsalis* et d'*Aedes* proliféraient dans les nappes d'eau stagnante des prés irrigués et des prairies de fauche. La pratique de l'irrigation pour la production du foin et le paccage du bétail est largement répandu dans certaines régions montagneuses. Dans beaucoup de vallées, les prés en bas-fonds sont inondés continuellement au printemps et au début de l'été. L'eau s'accumule aussi dans les basses terres après l'irrigation, plus tard dans la saison. De tels habitats aquatiques sont très favorables à la prolifération des moustiques dans les zones irriguées.

En plus des dépressions dans les terrains irrigués, l'eau est quelquefois retenue assez longtemps dans les rigoles latérales et les drains, favorisant ainsi le développement des moustiques vulnérants. Cette particularité se rencontre le plus souvent dans les secteurs où le sol est à texture fine et où le drainage souterrain est médiocre. Les canaux et les fossés tapissés d'une quantité excessive de végétation sont plus favorables à la prolifération des moustiques.

Les moustiques peuvent aussi proliférer dans l'eau résiduelle de différents aménagements hydrauliques tels que les chutes, notamment quand ils contiennent des débris végétaux ou des détritiques, mais la prolifération des moustiques dans ces ouvrages est généralement insignifiante par rapport à celle provoquée par d'autres types de gîtes aquatiques dans les champs.

Les rizières constituent un type spécial de gîtes de moustiques dans



FIG. 4. — L'eau séjournant dans les rigoles latérales favorise la prolifération des moustiques.

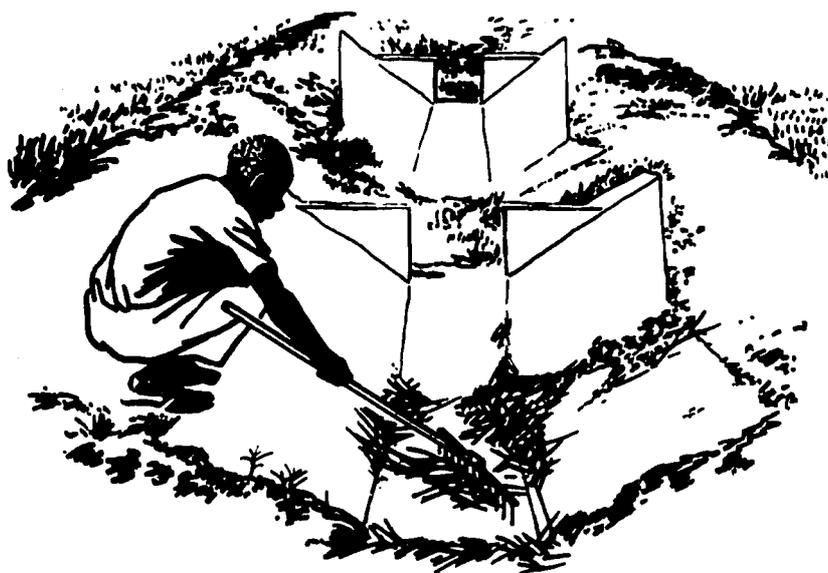


FIG. 5. — L'eau résiduaire et les débris végétaux dans certains ouvrages hydrauliques, tels que les chutes artificielles, peuvent favoriser la prolifération des moustiques.

le champ, car le procédé de déversement utilisé pour cultiver le riz est favorable au développement des moustiques. Dans les rizières du delta du Mississippi et des régions côtières du Golfe du Mexique, la population des *Psorophora confinis* et *Psorophora discolor* est due aux inondations intermittentes et celle d'*Anopheles quadrimaculatus*, le moustique du paludisme, à l'inondation continue. Certaines rizières sont généralement inondées pendant toute la période de croissance des moustiques et elles fournissent un habitat aquatique favorable aux *Culex tarsalis* et *Anopheles freeborni*. De plus, un grand nombre d'*Aedes nigromaculis* et d'*Aedes dorsalis* résultent fréquemment de l'inondation initiale des rizières.

## GITES A L'EXTERIEUR DES CHAMPS

Dans de nombreuses zones irriguées les moustiques prolifèrent dans une variété de gîtes aquatiques situés en dehors des limites des champs irrigués. Ces habitats favorables au développement des moustiques comprennent les fossés le long des routes, les ballastières, les dépressions dans les terres non arables et de nombreuses autres zones non drainées, qui sont inondées par l'eau résiduelle s'écoulant des champs irrigués. Ces habitats aquatiques contiennent souvent une végétation dense qui favorise la prolifération des moustiques. Les nappes d'eau stagnante en permanence ou semi permanence sont propices à la prolifération de *Culex tarsalis* et à de nombreuses espèces d'*Aedes*.

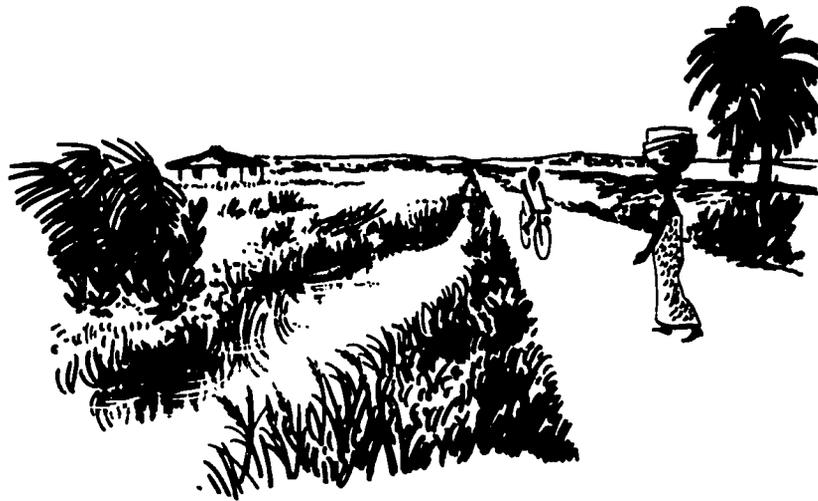


FIG. 6. — Les moustiques pullulent souvent dans les ballastières et les fossés qui, le long des routes, collectent les eaux résiduelles des champs irrigués.

Des réservoirs et des étangs sont utilisés dans certaines exploitations pour le stockage et la régulation de l'eau d'irrigation. Ces réservoirs sont aussi favorables à la prolifération des moustiques que les grandes retenues. Les raisons sont fondamentalement similaires : elles comprennent (1) la végétation émergente ou flottante dans des endroits où l'eau



FIG. 7. — Les ponceaux placés trop haut laissent une mare favorisant la prolifération des moustiques (photo USDA).

est peu profonde (2) les accumulations d'épaves et de débris dans les eaux basses et les anses protégées de l'action des vagues, (3) les dépressions non drainées dans la zone des fluctuations et (4) les points d'infiltration en contrebas des barrages de retenue.



FIG. 8. — Les principaux foyers de moustiques sont les dépressions de terrain qui recueillent l'eau résiduaire s'écoulant des champs irrigués.



FIG. 9. — Dans les réservoirs d'irrigation et les étangs, des conditions favorables à la multiplication des moustiques sont créées par la végétation émergente ou flottante dans les petits fonds et les anses protégées de l'action des vagues.



FIG. 10. — Les moustiques prolifèrent dans les fossés de drainage peu entretenus où l'eau s'écoule mal et stagne.

Les moustiques *Aedes* peuvent proliférer dans des réservoirs où le niveau d'eau varie, découvrant et recouvrant alternativement les fonds tapissés de végétation.

Les foyers à moustiques sont quelquefois créés par les réseaux d'irrigation qui alimentent les fossés de la ferme. Une grande quantité d'eau d'irrigation est souvent perdue par les infiltrations provenant de canaux non revêtus et de rigoles latérales creusés dans des sols perméables. Dans les zones à faible drainage souterrain, les eaux perdues par infiltration forment souvent des marais ou s'écoulent dans les fossés le long des routes, les ballastières et autres dépressions.

## **CORRÉLATION ENTRE LA PRÉVENTION CONTRE LES MOUSTIQUES ET LES AUTRES INTÉRÊTS**

### **CORRÉLATION AVEC LA CULTURE IRRIGUÉE**

La plupart des foyers à moustiques, précédemment décrits, résultent de mauvaises pratiques d'irrigation et de drainage, notamment mauvaise préparation du sol, aménagements et méthodes d'irrigation peu adaptés au terrain, à la culture ou à l'approvisionnement en eau ; application d'eau supérieure aux besoins de la culture, installation et entretien défectueux des réservoirs et des conduits et système de drainage insuffisant pour l'évacuation de l'excès d'eau. De telles pratiques provoquent aussi des pertes excessives en eau, l'inondation des champs, des accumulations de sels et d'alcali dans le sol, une détérioration de la structure du sol, le lessivage des éléments nutritifs des plantes et une réduction de la récolte. Les pertes d'eau résultant de l'irrigation des cultures provoquent souvent des conflits d'intérêt entre les divers organismes chargés de l'utilisation de l'eau.

La concurrence et l'augmentation des demandes font ressortir l'intérêt qu'il y a pour les consommateurs à utiliser l'eau judicieusement. La déperdition de l'eau d'irrigation est un facteur majeur du développement des gîtes favorables à la prolifération des moustiques. Grâce à la recherche, à l'expérience et aux progrès techniques, on a maintenant mis au point de nombreuses pratiques pour réduire les pertes d'eau d'irrigation. Dans les paragraphes suivants, nous décrirons quelques-uns des problèmes fondamentaux posés par la gestion du sol et de l'eau dans les terrains irrigués et la façon de les résoudre.

### **LES PERTES D'EAU PENDANT LE STOCKAGE, L'ADDUCTION ET L'APPLICATION**

Il n'est pas rare de trouver des périmètres d'irrigation où un quart seulement de l'eau effectivement consacrée à l'irrigation est consommée par les cultures. Le reste est perdu pendant le stockage, l'adduction ou l'application. En fin de compte, une grande partie de cette « eau perdue » retourne aux fleuves ou aux nappes d'eau souterraines et devient dispo-

nible pour d'autres utilisateurs. Une autre partie s'accumule dans les dépressions de terrain et forme des marécages à moins que l'eau ne soit emportée par des drains naturels ou artificiels.

*Réservoirs.* — L'eau recueillie dans les réservoirs est sujette à des pertes par évaporation, infiltration ou consommation par les plantes sauvages dans les retenues ou autour d'elles. La prolifération des moustiques est souvent associée directement à ces désagréments. On procède actuellement à des recherches sérieuses pour mettre au point des méthodes destinées à réduire ces pertes d'eau.

Les réservoirs soulèvent des problèmes d'infiltration lorsque le matériau du fond est poreux ou fissuré. Il est souvent possible de traiter de petits réservoirs avec de la bentonite ou tout autre matière isolante afin de réduire les pertes par infiltration. Si le réservoir considéré n'est pas trop grand on peut recouvrir le fond de baches en matière plastique afin de diminuer la perte d'eau par infiltration, lutter contre la croissance de végétaux sur les bords du réservoir et réduire ainsi la prolifération de moustiques. Le coût élevé des matériaux, leur vie relativement brève et les dégâts provoqués par les rongeurs et les oiseaux sont des facteurs qui doivent être encore résolus avant qu'une large utilisation de tels matériaux puisse être envisagée.

Le tracé de nombreux réservoirs forme des coudes et des anses qui ne sont inondés que lorsque le niveau d'eau est élevé. Un système de digues peut quelquefois être utilisé pour retenir l'eau dans le réservoir principal et par ce moyen freiner la croissance de la végétation dans les eaux basses pour réduire les pertes d'eau par évapotranspiration. Une telle pratique éliminerait aussi les foyers potentiels de moustiques.

*Canaux, rigoles latérales et fossés.* L'évaporation de l'eau en transit et la consommation par la végétation sur les remblais de canaux entretenus correctement est négligeable. Par contre, les pertes par infiltration des canaux d'irrigation non revêtus varient entre 25 et 50 % de toute l'eau débitée dans les canaux. Les pertes par infiltration finissent souvent par imbiber les terres adjacentes dont le drainage exige une installation coûteuse si l'on veut poursuivre les travaux de culture. De plus, des canaux plus larges doivent être construits pour apporter l'eau supplémentaire qui sera finalement perdue par infiltration avant d'atteindre le terrain à irriguer. Evidemment, l'autre solution consiste à revêtir ou à placer dans des conduits fermés les sections de canal qui se révèlent trop perméables.

Un effort considérable est déployé pour mettre au point des revêtements de canaux économiques pour réduire les pertes excessives par infiltration. Les revêtements de béton et les membranes asphaltiques enterrées sont les procédés les plus couramment employés actuellement, mais le coût en est élevé. L'on emploie aussi le béton bitumineux, les enveloppes asphaltiques préfabriquées, les émulsions asphaltiques, la terre compactée, la bentonite et un mortier formé de ciment et de terre. On s'intéresse beaucoup actuellement aux revêtements peu onéreux en films de matière plastique et à ceux en jute et asphalte laminé pour les canaux latéraux et les fossés d'irrigation. La plupart de ces nouveautés en sont encore au stade expérimental. Néanmoins, elles offrent la promesse

d'une suppression éventuelle des pertes principales par infiltration et de la prolifération des moustiques qui en résulte.

L'exploitation des réseaux d'adduction peut aussi donner lieu à des pertes substantielles d'eau là où la demande varie selon le climat, les vacances ou d'autres facteurs. L'eau doit être gaspillée pour protéger le canal lorsque la demande est irrégulière. A moins que des déversoirs et des drains adéquats ne soient prévus, le trop-plein peut périodiquement déborder sur les terrains incultes, formant ainsi des marais particulièrement favorables à la prolifération des moustiques.

*Application de l'eau.* L'efficacité de l'irrigation (pourcentage de l'eau distribuée qui reste dans la zone des racines de la culture) est fonction du tracé de l'exploitation, du degré de préparation du sol et de la compétence de l'exploitant. Dans beaucoup d'exploitations, l'efficacité varie entre 34 % et 70 %, ce qui signifie que 30 à 66 % de l'eau appliquée est perdue par percolation profonde, évaporation et ruissellement en surface. Une partie de cette eau est réutilisée lorsqu'elle peut être récupérée dans un canal d'amenée en contre-bas, mais une bonne partie de l'eau est définitivement perdue. Cette eau doit être évacuée au moyen de drains en surface ou souterrains pour éviter la formation de mares ou l'élévation du niveau de la nappe phréatique, nuisibles aux cultures, et réduire la prolifération des moustiques.

L'irrigation et les techniques culturales doivent être adaptées au sol, à la pente, à la culture et aux ressources en eau. L'érosion, les dégâts par l'alcali, l'imbibition des terres par l'eau et les pertes d'eau inutiles devraient être évitées. Il faut faire un inventaire précis des ressources en sol et en eau et choisir des méthodes d'irrigation adaptées à ces conditions. Les réseaux de distribution devront être conçus de manière à fournir suffisamment d'eau à toutes les parties de l'exploitation si besoin en est, et le terrain doit être préparé de sorte que l'eau puisse être employée judicieusement. Une fois installé, le réseau d'irrigation doit être exploité convenablement pour obtenir le maximum d'efficacité. Pour ceci, il faut ajuster le débit à la capacité d'absorption du sol, à la longueur de la course, à la dimension du sillon ou à la largeur des bords, ainsi qu'au stade de croissance de la culture. Il faut également connaître la capacité d'absorption d'eau du sol et la profondeur de l'enracinement de la culture afin d'employer la quantité correcte d'eau.

Pour plus de détails sur la conception et l'exploitation de réseaux d'irrigation, consulter la brochure intitulée « Comment irriguer vos terres » (N° 91, Collection Techniques américaines). Il faut bien se rendre compte que les meilleurs réseaux d'irrigation ne donneront pas de bons résultats si l'exploitant gère mal son eau. Inversement, le meilleur irrigateur ne saurait obtenir une efficacité maximale si le réseau d'irrigation qu'il exploite n'est pas étudié et construit tel qu'il se doit.

## GESTION DU SOL ET DE L'EAU

*Capacité rétention* : Pour exploiter efficacement un réseau d'irrigation, il faut connaître la capacité de rétention du sol afin de déterminer combien de temps l'eau devra rester sur le champ pour alimenter la zone des racines. La gestion des sols pour maintenir un taux de rétention adéquat est considérée par quelques autorités comme étant le problème primordial lié à la production agricole sur les terres irriguées dans les régions arides et semi-arides.

De nombreux périmètres d'irrigation ont été équipés qui, au mieux, étaient marginaux du fait de la médiocre capacité de rétention du sol. Dans certains secteurs, la topographie est idéale pour la mise en valeur des terres et de la distribution de l'eau d'irrigation, mais les sols sont à prédominance d'argile à texture fine avec un drainage interne médiocre. Dans de tels cas, la capacité de rétention est pratiquement nulle dès que la couche arable est humide. Si l'argile est du type de la montmorillonite, des crevasses se forment avec le dessèchement. Dès lors, l'eau d'irrigation ne fait que remplir les crevasses, lesquelles se referment dès qu'elles sont gonflées.

On peut améliorer les structures des sols de surface par des alternances d'humidification et d'assèchement, de gel et de dégel, mais ceci est rarement suffisant, pour résoudre les problèmes liés à l'application et à la distribution de l'eau. Lorsque les cultivateurs ignorent la quantité d'eau nécessaire pour alimenter la couche à la profondeur des racines, ils ont tendance à irriguer pendant des périodes trop longues. Ceci conduit à une perte considérable d'eau qui s'accumule dans les extrémités les plus basses des champs. Sans drainage suffisant en surface, ces nappes d'eau forment d'excellents foyers à moustiques.

Des recherches conduites en terrain argileux ont permis de démontrer que la récolte de foin pouvait être décuplée, sans prolifération de moustiques et sans gaspillage d'eau, grâce à un réseau d'irrigation bien conçu, répartissant rationnellement les quantités d'eau requises selon de bonnes techniques de fertilisation.

Les accumulations d'eau peuvent être éliminées par la seule application de la quantité requise pour reconstituer l'humidité de la zone des racines de la culture. Mais malgré l'intérêt de cette technique qui exige un réseau bien conçu, son application est souvent difficile, étant donné le coût de l'équipement et de la main-d'œuvre supplémentaire qu'elle exige.

Dans de nombreux cas, il est impossible d'accroître sensiblement la capacité de rétention des sols. Un minimum de labour quand le sol est dans des conditions d'humidité optimales, sous-solage pour émietter les couches imperméables proches de la surface, paillage vertical et autres techniques peuvent quelquefois améliorer l'absorption d'eau et réduire le ruissellement. Le choix de la technique dépend de la nature du problème. Dans certains cas, un labourage profond (75 cm) des couches de

limon laminées, légèrement perméables augmente considérablement la capacité de rétention d'eau du sol et le rendement des cultures, dans un autre cas, un limon argilo-sableux de Pullman, devint plus perméable grâce à une culture de luzerne à racines profondes. Dans ce cas, la capacité de rétention fut quintuplée et elle persista pendant 3 ans, illustrant les avantages qui peuvent être tirés d'une rotation de cultures.

La capacité de rétention peut également être affectée par la quantité et la qualité des sels qui s'accumulent dans le profil du sol. Ces sels peuvent être présents dans le sol, avant qu'il ne soit irrigué ou peuvent s'accumuler à la suite de l'application d'une eau d'irrigation contenant une grande quantité de sels dissous. Par exemple, dans certaines régions, les 1,50 m à 2 m d'eau par ha distribués normalement dans une année — dont beaucoup s'est dissipée par évaporation ou transpiration peuvent ajouter 50 tonnes de sel au profil du sol. Les sels doivent être lessivés périodiquement par une application supplémentaire d'eau afin de maintenir la teneur en sel à un niveau favorable. Si le drainage naturel n'est pas suffisant, un drainage artificiel doit être réalisé pour débarrasser le sol de l'excès d'eau et de sel.

Là où se posent des problèmes d'alcali, la gestion du sol et de l'eau est plus difficile. Les sols à l'alcali ont une mauvaise structure avec de faibles capacités de rétention. Dans les sols à alcali, les nappes d'eau stagnent jusqu'à ce qu'elles soient éliminées par évaporation. Pour améliorer les terres à alcali il faut rabaisser la nappe phréatique et remplacer le sodium dans le sol par du calcium soluble ou un autre cation bivalent (le gypse est généralement employé), éliminer les sels par lessivage, et redistribuer et agréger les particules de sol pour améliorer la structure du sol et sa capacité d'absorption d'eau. Le défrichement des sols à alcali prend du temps et exige l'application d'eau pour le lessivage. Le lessivage exige habituellement 75 cm d'eau/ha pour chaque 2,5 tonnes de gypse appliqué. Il n'est pas rare qu'il faille appliquer 25 tonnes de gypse et plus par ha sur certains sols.

*Calendrier des irrigations.* L'importance des pertes d'eau par infiltration profonde et ruissellement vers l'extrémité basse des champs ajoute à l'incertitude de l'exploitant touchant l'époque la plus favorable pour irriguer ses terres et la quantité d'eau à appliquer.

Beaucoup d'exploitants irriguent par expérience. D'autres peuvent être astreints à un régime d'irrigation conçu selon un plan préétabli de distribution de l'eau par rotation parmi les usagers. L'exploitant qui peut avoir de l'eau à discrétion a le maximum de souplesse et la possibilité d'utiliser l'eau le plus efficacement.

Il y a plus de cultures sur-irriguées que sous-irriguées, principalement dans les régions où l'eau est abondante et peu coûteuse. Dans ces régions, le cultivateur remplacera souvent par un excès d'eau la main-d'œuvre nécessaire pour faire un bon travail d'irrigation. Quand la quantité d'eau est limitée et son coût élevé, l'on applique plus souvent des règles plus strictes. La sur-irrigation entraîne non seulement un gaspillage d'eau mais aussi une perte d'éléments nutritifs solubles qui peuvent être lessivés à des profondeurs inférieures à la zone des racines. Quelques cultures,

comme la luzerne, sont susceptibles d'être endommagées par une inondation prolongée durant les périodes chaudes et peuvent, soit dépérir, soit donner une faible récolte. Les mares provenant d'une irrigation excessive, favorisent en outre, la prolifération des moustiques.

La fréquence de l'irrigation dépend de la capacité de rétention en eau du sol dans la zone des racines et du taux d'évapotranspiration. Il est important, pour de nombreuses cultures agricoles, de maintenir une croissance continue si l'on veut obtenir une récolte optimale. La plupart des spécialistes sont en faveur de l'irrigation dès qu'environ 50 % de l'eau disponible dans la zone des racines a été utilisée. Pendant la période de plus grande croissance, quand les taux d'évapotranspiration sont les plus élevés, un sol sablonneux peut nécessiter une irrigation tous les 4 à 6 jours, alors qu'une terre argilo-limoneuse n'aura besoin d'irrigation que tous les 14 jours ou plus. Le fermier doit donc connaître la capacité de rétention en eau du sol afin de prévoir correctement les périodes d'irrigation.

Le problème se complique encore du fait que les taux d'évapotranspiration des cultures annuelles ne sont pas constants pendant toute la saison, mais augmentent généralement un petit peu au moment du semis, et beaucoup pendant la période de plus grande croissance ; ensuite le taux diminue progressivement pendant la maturation de la culture. De plus, les récoltes périodiques de plantes vivaces, comme la luzerne, modifient aussi l'utilisation de l'eau ; les taux sont plus bas aussitôt après la récolte. Dans quelques régions, les facteurs climatiques affectent sensiblement le taux des pertes d'eau : il baisse pendant les périodes humides et froides et augmente durant les périodes chaudes et sèches.

Il faut tenir compte de nombreux facteurs pédologiques et culturaux pour organiser correctement l'irrigation. Grâce aux recherches, le cultivateur dispose de techniques et d'informations qui peuvent servir à améliorer l'irrigation. Ils peuvent se procurer dans le commerce des instruments pour mesurer l'humidité du sol. Utilisés correctement, ces instruments permettent de déterminer quand une culture doit être irriguée. Les taux de consommation d'eau saisonnière et périodique (évapotranspiration) ont été mesurés pour de nombreuses cultures, ce qui permet de dresser un calendrier des irrigations selon une approche « comptable ».

Des études expérimentales sur les besoins en irrigation basés sur l'apparence des plantes et les stades critiques de leur développement ont fourni des données susceptibles d'application pratique. Par exemple : les haricots de plein champ, poussant sur des sols humides peuvent, sans réduire le rendement, être irrigués cinq jours après que le feuillage tourne du vert clair au vert foncé. Un flétrissement limité du maïs avant la formation des aigrettes a peu d'effet sur le rendement, mais quatre à six jours de flétrissement pendant la floraison et le stade « aigrettes » peut le diminuer de 40 %.

La majeure partie de l'eau actuellement gaspillée pourrait être employée à irriguer des terres supplémentaires : il suffirait pour cela de tenir compte des renseignements et des techniques existants en ce qui concerne les périodes d'irrigation.

*Calcul des doses d'irrigation* : Dans de nombreuses régions, le cultivateur irrigue pendant des périodes de 12 à 24 heures ou même plus longues, ceci en fonction des conditions du sol et de la quantité d'eau nécessaire. En fait, il mesure rarement l'eau dans ses champs et les terres adjacentes pour savoir combien d'eau il a appliqué. Il existe plusieurs appareils de mesure de l'eau, mais beaucoup d'entre eux ne sont ni assez simples ni assez robustes pour convenir à tous les cultivateurs. Le débitmètre de Parshall, sans être d'une grande précision, permet de déterminer assez près les besoins du champ, mais il exige encore des sections de canal standard en plusieurs endroits de la ferme. Il a l'avantage cependant d'être portable et de donner l'indication directe des débits. Des compteurs à lecture directe en « pied-acre » sont utilisés maintenant dans quelques régions, principalement là où l'eau d'irrigation est pompée. La recherche sur la mesure de l'eau continue d'être prioritaire dans quelques laboratoires d'hydraulique. Tant que le cultivateur ne sera pas équipé d'un appareil simple pour mesurer l'eau d'une façon précise, le problème du ruissellement des champs irrigués ne sera pas résolu.

Il existe d'autres moyens d'augmenter l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Les réseaux d'irrigation à faible pente ou à bassin de niveau promettent d'être hautement efficaces. Dans certains sables limono-argileux fins, l'efficacité de l'application de l'irrigation dans les bassins d'irrigation à banquettes nivelées a atteint 90 % avec une distribution excellente de l'eau. Avec ce système, il suffit à l'irrigateur de connaître l'importance du flot et le temps nécessaire pour fournir une quantité donnée d'eau. Dans la Lower Rio Grande Valley, environ 600 000 ha de terre irriguée se trouvent maintenant dans des cuvettes nivelées à faible pente. L'irrigation par submersion permet non seulement un meilleur réglage de la quantité et de la distribution de l'eau d'irrigation mais souvent aussi le cartage et la rétention de l'eau de pluie pendant les orages de forte intensité. L'eau supplémentaire provenant des pluies facilite le lessivage des sels et apporte un complément aux réserves limitées d'eau d'irrigation.

Il reste cependant quelques problèmes à résoudre avant que les systèmes d'irrigation des cuvettes à faible pente ou horizontale ne soient acceptés sans réserves. Citons notamment : les escarpements entre les banquettes, le maintien du nivellement des calants, la sensibilité de certaines cultures à la submersion et l'important flot nécessaire, mais dès que l'eau d'irrigation devient plus rare et plus coûteuse, des aménagements pour l'irrigation à faible pente seront de plus en plus adoptés.

*Dose d'eau optimum selon les besoins de la culture.* Toute technique qui augmente le rendement des récoltes augmente aussi l'efficacité de l'emploi de l'eau, exprimée en unités de culture marchande produite par centimètre d'eau. Il est donc important que tous les facteurs affectant la production, telles que la teneur en eau du sol, la densité de la végétation et la fertilité soient maintenues en équilibre pour l'utilisation la plus rationnelle de l'eau. Si un seul de ces facteurs est déficient, l'efficacité maximale de la production ne peut être atteinte.

Des recherches ont montré qu'en augmentant la croissance et le ren-

dement des cultures au moyen d'engrais, les besoins en eau augmentent par ha pour produire la culture fertilisée. Cependant, un rendement doublé n'entraîne pas une double consommation d'eau. En fait, l'augmentation de l'évapotranspiration des cultures fertilisées augmente rarement la consommation d'eau de plus de 5 %, même si les rendements augmentent de 200 à 300 %. L'efficacité maximale de l'eau dépend d'une bonne gestion du sol et de l'eau. Dans de telles conditions, la prolifération des moustiques présente rarement un problème. Par contre, une mauvaise utilisation de l'eau se traduit souvent par un engorgement et une forte prolifération de moustiques.

*Drainage* : Le succès d'une irrigation en agriculture dépend d'un bon drainage naturel ou artificiel. Traditionnellement, les cultivateurs se sont d'abord préoccupés d'amener l'eau à leurs terres, et ce n'est qu'à l'apparition de problèmes résultant de l'irrigation qu'ils ont pris conscience de la nécessité de drainer les terres. Malheureusement de nombreux sols hautement productifs ont été engorgés et lessivés parce qu'aucun drainage n'a été prévu en temps voulu. Il n'est naturellement pas toujours possible de savoir à l'avance où les drains sont nécessaires. Mais lorsqu'il est possible de prévoir la nécessité d'un système de drainage, il est plus facile et moins onéreux de l'installer au départ que de remédier ultérieurement aux inconvénients d'un engorgement excessif et de l'alcalinisation.

Les principales difficultés de drainage sont causées par l'irrigation excessive et les pertes d'eau des canaux non revêtus. Ces pertes peuvent être réduites, ainsi que nous l'avons dit. La plupart des systèmes d'irrigation subissent des pertes d'eau par percolation ou ruissellement qu'il est difficile d'éviter. Dans ce cas, des installations de drainage peuvent être nécessaires pour prévenir les dégâts aux cultures, diminuer l'accumulation des sels par lessivage et permettre l'exécution des travaux culturaux en temps voulu.

Des installations de drainage tant en surface que sous surface s'imposent sur la plupart des terrains irrigués. Les drains en surface sont nécessaires pour enlever l'excès d'eau d'irrigation et le ruissellement des précipitations. Les drains sous surface sont nécessaires pour emporter l'eau des affleurements résultant d'une élévation du niveau de la nappe phréatique. Des drains en surface sont souvent prévus dans les systèmes modernes d'irrigation ; mais la plupart des anciens réseaux d'irrigation ne comportaient pas de dispositifs de drainage de l'eau excédentaire. Le ruissellement des eaux de précipitations est en général peu important dans les zones irriguées des régions arides et semi-arides du fait que la pluviosité est faible et que les champs sont de petite dimension et isolés topographiquement par des branchements et des canaux d'irrigation. Les fossés pour le drainage de l'excès d'eau d'irrigation sont donc le plus souvent suffisants pour recueillir les eaux de ruissellement provenant des précipitations.

Le drainage sous surface est généralement le principal objectif dans les terres irriguées des régions tempérées. Le système sous surface est souvent employé pour drainer, à la fois, les eaux de surface et les eaux sous surface. Les drains peuvent être soit couverts, soit à ciel ouvert.

Les drains couverts sont rarement utilisés comme drains à deux fins, du fait du coût élevé des grandes tuiles de drainage nécessaires pour assurer à la fois l'évacuation des eaux de ruissellement et les eaux souterraines. Les drains sous surface sont soit des drains de dégagement ou d'interception dépendant pour leur alignement du sens d'écoulement de la nappe phréatique. Les drains de dégagement sont placés parallèlement à la direction du courant d'écoulement de la nappe phréatique et les drains d'interception perpendiculairement à ce courant ; ces derniers sont aussi parfois utilisés lorsque la nappe repose sur une pente faible ou inexistante.

L'emplacement des drains de surface dans les secteurs irrigués dépend généralement du mode d'irrigation. Les drains des champs sont placés à la partie basse des rangs ou des bandes de bordure et de préférence adjacents aux canaux d'irrigation, aux lignes de clôture ou aux routes. On prévoit généralement des ouvrages de régulation pour que l'eau des drains puisse être déversée dans des canaux d'irrigation en contrebas ou écoulee par-dessus ou par-dessous les canaux vers un orifice de sortie. Si le débit des drains est faible par rapport à la capacité du canal, on peut le déverser dans les canaux d'irrigation sans crainte de dépasser leur capacité. Lorsque le débit des drains est élevé par rapport à la capacité des canaux, des ouvrages doivent être prévus pour traverser ces canaux. Les ouvrages généralement utilisés dans ce but comprennent : les aqueducs, conduits souterrains, siphons retournés, ponceaux et les ponts.

Le tracé du drainage sous surface employé dans les champs irrigués est semblable à celui utilisé pour résoudre les problèmes de drainage dans les terres non irriguées. Les drains sont généralement disposés en parallèle, en gril, en arêtes de poisson ou au hasard. Les drains d'interception sont le plus souvent utilisés et sont disposés au hasard sur une pente douce afin de maintenir une profondeur uniforme. Les drains sous surface doivent répondre aux mêmes normes de drainage et d'évacuation que les drains de surface dans les superficies irriguées. Les drains sous surface sont généralement plus profonds ; il est donc plus difficile de déverser l'eau dans les canaux d'irrigation pour la réutiliser. Des ponceaux ou aqueducs sont généralement employés aux croisements avec les canaux d'irrigation. Lorsque le taux de salinité de l'eau de drainage est élevé, il faut éviter de déverser cette eau dans les canaux d'irrigation.

La plupart des drains construits dans certaines régions irriguées sont du type ouvert, sous surface, pouvant servir à deux fins. Ils ont beaucoup d'avantages, mais en raison de leur profondeur et de leurs bords relativement plats, ils peuvent exiger une piste de passage de 18 à 30 mètres de large, 1 km de drains pouvant ainsi occuper jusqu'à 2,5 ha de terrain. L'eau de surface est admise dans les drains sous surface au moyen d'ouvrages de régulation de pente de différents types. La tendance actuelle est orientée vers la construction de drains couverts qui ne prélèvent aucune surface à la production et qui, s'ils sont correctement installés, ne demandent que peu d'entretien. De nombreux drains à ciel ouvert sont actuellement transformés en drains couverts.

Les drains à ciel ouvert sont souvent mal entretenus et envahis par la végétation. L'eau dormante retenue crée un foyer idéal pour la prolifération des moustiques. Le remplacement des drains à ciel ouvert par des drains couverts est donc avantageux tant pour les cultures que pour la lutte contre les moustiques.

Les systèmes de repompage qui sont couramment employés dans les terrains en pente de Californie permettent un emploi plus efficace de l'eau tout en éliminant les gîtes à moustiques. Dans ces réseaux, l'eau de ruissellement des champs irrigués est recueillie dans des bassins et renvoyée par pompage au canal d'amenée pour être redistribuée. En d'autres termes, on fait circuler l'eau jusqu'à ce que le sol en ait absorbé la quantité voulue. Dans certaines régions, l'eau de ruissellement provenant des pluies et de l'irrigation s'accumule souvent dans des dépressions de terrain. La pratique du repompage permettrait de résoudre le problème des moustiques tout en conservant les réserves d'eau dans une région où la nappe phréatique s'épuise rapidement.

Les installations de repompage auront une efficacité optimale d'utilisation dans les réseaux d'irrigation en pente, surtout si la capacité de rétention des sols est limitée. Cette pratique illustre également comment des techniques de conservation travaillent à l'avantage de plusieurs groupes intéressés : ceux qui s'efforcent d'éliminer les gîtes à moustiques et ceux qui se préoccupent de conserver des réserves d'eau limitées tout en améliorant les techniques d'irrigation.

## CONSERVATION DE LA FAUNE AQUATIQUE

Il y a quelques années, les intérêts respectifs de la démoustication et ceux de la conservation de la faune aquatique étaient généralement incompatibles. Au cours de ces dernières années, une approche coopérative pour le développement et la gestion des ressources en faune aquatique a souvent abouti à des techniques mutuellement bénéfiques.

La faune aquatique (les poissons, le gibier d'eau, certains animaux à fourrure et les nombreux échassiers et oiseaux plongeurs du rivage) doit vivre dans un milieu aquatique favorable pour bien se développer. Quelques-uns des besoins essentiels de la faune aquatique sont décrits ci-dessous avec quelques suggestions sur la façon de les satisfaire sans contrecarrer la prévention contre les moustiques dans les exploitations irriguées.

## CONNEXITES DES INTERETS SUR LE CHAMP

Comme il est indiqué précédemment, la rétention d'eau stagnante sur les terres irriguées, pendant un laps de temps suffisant pour permettre aux moustiques de se développer, est néfaste à toutes les cultures de plein champ sauf le riz. Si l'on applique de bonnes techniques d'irrigation et de drainage, la prévention contre les moustiques ne posera de problè-

mes en matière de conservation que dans les zones de riziculture. Comme la culture du riz n'implique généralement pas une inondation permanente pendant toute l'année, la connexité ne concerne que le gibier d'eau mais pas les poissons. Des gambusies sont quelquefois introduits dans les rizières pour aider à la lutte contre les moustiques, mais comme tels, ils ne constituent pas une ressource piscicole.

Les rizières submergées après la récolte peuvent fournir des bases excellentes de repos et d'alimentation pour les oiseaux aquatiques. Si la submersion a lieu à la fin du stade larvaire des moustiques, elle ne créera pas de problèmes moustique. Par contre, si elle se fait pendant la saison de reproduction des moustiques, il sera difficile d'empêcher l'accroissement de leur population.

### CONNEXITES HORS DU CHAMP

C'est dans les habitats hors champ des exploitations irriguées que la connexité entre la lutte contre les moustiques et le développement des poissons et des oiseaux aquatiques est la plus étroite. Ces habitats comprennent (1) les réseaux de collecte et d'évacuation ou d'utilisation de l'excès d'eau d'irrigation, (2) les petits réservoirs de stockage ou de régulation, et (3) les réseaux d'adduction. Ils ont tous une potentialité importante en tant qu'habitat productif pour les poissons et les oiseaux aquatiques et peuvent généralement être gérés de manière compatible avec la prévention contre les moustiques.

L'eau d'irrigation est souvent gaspillée par ruissellement et cette eau perdue crée certains des plus importants foyers à moustiques dans les fermes irriguées. Dans quelques secteurs, les terres en friche sont copieusement inondées par les eaux résiduelles pour accommoder les canards et autres oiseaux aquatiques. Ces superficies sont souvent très favorables à la prolifération des moustiques *Aedes*. Dans certaines régions des Etats-Unis, il a fallu dépenser des sommes importantes pour lutter contre les moustiques dans les zones propices au développement des oiseaux aquatiques.

La diminution progressive de nos ressources naturelles en eau nous force à faire le meilleur usage possible de l'excès d'eau d'irrigation et d'éviter toutes les pertes. Un des meilleurs moyens d'utiliser cette eau est de créer des étangs pour la reproduction des poissons et des oiseaux aquatiques. Une bonne conception, une construction correcte, une bonne gestion, et le contrôle des niveaux de l'eau et de la végétation aquatique dans ces étangs sont indispensables pour lutter efficacement contre les moustiques et favoriser la reproduction des poissons et des oiseaux aquatiques. En général une retenue de ce genre convenablement construite et exploitée ne provoquera qu'une fraction des proliférations de moustiques qui se développeraient sur ces terres si elles n'étaient pas aménagées et préservées contre les inconvénients de l'inondation par l'eau d'irrigation en excès ou de l'eau salée.



Fig. 11. — Cet étang avec une bordure nette et abrupte et une nappe d'eau exposée à l'action des vagues n'abritera que peu de moustiques. Des ouvrages de régulation de l'eau sont nécessaires pour éviter que la végétation de bordure ne soit immergée pendant des périodes prolongées durant la saison de prolifération des moustiques. (Photo USDA).

Un point important à observer lors de la construction des petits étangs est d'éliminer, autant que possible, les nappes d'eau peu profondes. Les étangs qui ont moins de 60 centimètres de profondeur favorisent la croissance des plantes aquatiques immergées et émergentes. Ces plantes sont indésirables dans un vivier car : 1 — elles abritent des petits poissons de sorte que beaucoup trop survivent et dépassent leurs ressources alimentaires donnant ainsi une population chétive ; 2 — elles peuvent absorber de précieux éléments nutritifs de l'eau et du fond, les concentrant dans des composés que les poissons ne peuvent utiliser ; 3 — elles gênent la pêche, la navigation et la natation. Ces mêmes plantes compliquent aussi le problème de la lutte contre les moustiques.

Dans les retenues utilisées principalement pour le gibier d'eau, les plantes aquatiques, aussi bien les immergées que les émergentes de bordure, sont souhaitables. Les plantes immergées peuvent pousser dans des eaux d'une profondeur de 1,80 m et plus, suivant la transparence de l'eau. De tels secteurs doivent couvrir environ 80 % de la surface totale de l'eau si l'on veut former un habitat idéal pour les oiseaux aquatiques. Ces plantes ne servent pas seulement de nourriture aux oiseaux aquatiques, mais aussi d'abri aux petits animaux aquatiques, tels que les insectes, crustacés et mollusques qui sont très précieux, sinon indispensables pour l'alimentation des jeunes canards, du fait de leur teneur élevée en protéine, phosphore et calcium. Quelques-unes des plus intéressantes plantes nutritives immergées pour les oiseaux aquatiques, telle *Potamogeton pectinus* peuvent être produites dans des

étangs de ce genre sans créer un foyer important de moustiques si ces nappes d'eau ont au moins 60 centimètres de profondeur et au moins 10 mètres de largeur.



FIG. 12. — Cette retenue aménagée dans les pâturages fournit de l'eau pour le bétail et un excellent habitat pour les poissons et les oiseaux aquatiques. Les précautions nécessaires ayant été prises, les moustiques prolifèrent moins facilement que dans le site marécageux sis à cet endroit avant l'aménagement de la retenue.

Les plantes de bordure, tant terrestres que semi-aquatiques sont nécessaires pour abriter le gibier d'eau et quelques-unes d'entre elles ont une valeur nutritive. Certaines espèces émergentes, telles que les roseaux et massettes fournissent un excellent lieu de nidification pour les oies et les canards et ne forment pas de foyers importants pour la prolifération des moustiques. Les plus petites, les espèces plus flexibles telles que les herbes des terres à alcali *Distichlis stricta* sont moins satisfaisantes comme lieux de nidification et comptent parmi les foyers à moustiques les plus prolifiques, surtout lorsqu'elles poussent en eau peu profonde. Cependant, elles peuvent fournir des zones d'alimentation pour les oiseaux aquatiques. L'aménagement de bords-francs autour des étangs est très utile pour réduire la prolifération des moustiques. Bien que ces bords-francs puissent réduire la surface totale de l'habitat de la faune aquatique, ils peuvent favoriser la croissance de végétation

de remblai. Cette végétation est souvent utilisée par le gibier comme lieu de nidification et certaines espèces constituent aussi d'excellentes plantes nutritives pour les oiseaux aquatiques. Dans les plus grands étangs, on peut aménager de petites îles pour fournir ce type d'abri.

L'installation d'ouvrages hydrauliques appropriés est nécessaire lors de la construction de ces petites retenues pour récupérer les eaux de l'irrigation. Ceci est nécessaire aussi bien pour la gestion de la réserve de chasse que pour la prévention contre les moustiques. Ces ouvrages doivent permettre de maintenir l'eau à des niveaux constants, ou d'élever ou abaisser ce niveau à volonté. Si possible, ils serviront aussi à évacuer les eaux excédentaires pour prévenir les surcharges dans le réseau.

Les phases principales de la régulation du plan d'eau dans les étangs permanents sont : la retenue permanente, la remontée du plan, la reprise des eaux et la fluctuation cyclique. L'effet de chacune de ces opérations sur la prévention contre les moustiques et la protection des poissons et du gibier peut être bénéfique ou néfaste, selon leur opportunité et leur importance.

Le niveau de l'eau doit être constant dans les étangs poissonneux, surtout à l'époque de la fraie printanière. Pour éviter que les œufs ne soient entraînés par le courant avant d'éclore, ce niveau constant durant la dite période favorise généralement la prévention contre les moustiques en limitant l'invasion de la végétation de bordure indésirable. Le débordement de l'étang pendant la couvaison des oiseaux aquatiques risque d'inonder les zones de nidification et de provoquer des pertes catastrophiques parmi les œufs et les jeunes oiseaux. Une brève remontée du plan d'eau peut favoriser la prévention contre les moustiques. L'eau emporte les débris végétaux et les épaves. Mais cette remontée doit être faite au début du printemps, avant le début de la période de nidification des oiseaux aquatiques.

Pratiquées sans discernement, la reprise saisonnière des eaux et la fluctuation cyclique peuvent être nuisibles au gibier et aux poissons, mais si elles sont correctement appliquées, ces mesures peuvent constituer un des instruments les plus efficaces de gestion des eaux et forêts. Par exemple, une baisse de niveau en automne réduit la quantité d'eau et d'aliments disponibles pour les oiseaux aquatiques migrateurs. En revanche, une baisse ou un cycle de fluctuation en cette même saison est souvent utile, car elle permet aux poissons prédateurs de mieux détruire les espèces qui nuisent à la reproduction des espèces désirées pour la pêche. La reprise saisonnière et la fluctuation cyclique sont également importants pour la prévention contre les moustiques, mais là aussi, ces mesures doivent être appliquées judicieusement. Par exemple, une évacuation des eaux précoce et excessive est très propice à la prolifération des moustiques car elle favorise l'invasion de la végétation de bordure qui abrite des foyers de moustiques l'année suivante.

Pour la prévention contre les moustiques, de même que pour la protection des poissons, il importe que toutes les dépressions marginales soient reliées à l'étang principal par des fossés afin d'en assurer le drainage. Le cycle normal de la fluctuation saisonnière du niveau d'eau

des étangs naturels est : hautes eaux à la fin de l'hiver et au début du printemps, un niveau relativement constant à la fin du printemps et une baisse graduelle du plan d'eau pendant l'été et au début de l'automne. Pour la conservation du gibier et la prévention contre les moustiques, les niveaux sont généralement adaptés au cycle naturel.

Lorsqu'il n'y a pas de source d'eau permanente, il est impossible d'installer des viviers permanents, et les retenues pour les oiseaux aquatiques doivent être alimentées par les crues saisonnières ou intermittentes. Là où l'apport d'eau est variable d'une année à l'autre, il est quelquefois possible de construire une série de petits étangs et de ne remplir que ceux pour lesquels l'eau est disponible. Dans quelques cas, les étangs asséchés pendant l'été peuvent être mis en culture ou ensemencés pour produire des plantes alimentaires naturelles appréciées par les oiseaux aquatiques, ex. le Panic (*Echinochloa crusgalli*). Ces étangs sont ensuite remplis à la fin de l'automne après la période de ponte des moustiques pour accueillir les oiseaux aquatiques migrateurs.



FIG. 13. — Des plantes de terres humides, tel ce panic, peuvent fournir d'excellents aliments et abris pour les oiseaux aquatiques si elles sont plantées près des retenues de la ferme.

Les petites retenues des exploitations agricoles sont souvent endommagées par les rats musqués, qui creusent des trous dans les digues et y provoquent des fuites. Les habitats préférés des rats musqués sont les endroits marécageux peu profonds avec seulement 20 % d'eau libre. C'est pourquoi les étangs à poissons et oiseaux aquatiques bordés de berges raides sans grande végétation décourageront les rats musqués.

Les canaux d'irrigation et les fossés de drainage constituent fréquemment des habitats excellents pour les poissons et les oiseaux aquatiques. Convenablement entretenus, ces émissaires ne créent pas de gîtes larvaires importants et leur utilisation pour la conservation des poissons et des oiseaux aquatiques est compatible avec la prévention contre les mousti-

ques. Les canaux d'irrigation sont d'excellents habitats pour les truites, spécialement la truite commune, si le courant est maintenu toute l'année. Un débit constant ou seulement à augmentation saisonnière empêche la croissance de végétation terrestre ou aquatique dans le lit du canal. Un ouvrage de dérivation permet d'évacuer l'eau dans le canal principal à la fin de la saison d'irrigation. Quand il est nécessaire de drainer les canaux pour les réparer ou les nettoyer, il est souvent possible de sauvegarder beaucoup des poissons échoués dans le canal. L'on utilise une seine ou un quelconque filet pour les transplanter ailleurs.

Les canaux à débit constant et les fossés de drainage sont souvent hantés par les oiseaux aquatiques, qui se nourrissent de la végétation immergée et des insectes aquatiques. Leur présence ne gêne en rien la prévention contre les moustiques, qui s'intéresse principalement à réduire la végétation de bordure et émergente et non à la végétation immergée.

Les zones recouvertes d'eau d'infiltration provenant des canaux d'irrigation sont habituellement des foyers à moustiques. Elles peuvent être fréquentées par les oiseaux aquatiques, mais elles ne leur conviennent qu'imparfaitement à moins d'être correctement aménagées. Lorsqu'il est impossible de réduire ces infiltrations provenant des canaux, il est souhaitable d'aménager des retenues pour les poissons et oiseaux aquatiques afin d'utiliser l'eau d'infiltration. Ceci peut se faire sans aggraver le problème des moustiques en appliquant les principes indiqués précédemment pour la récupération et l'évacuation de l'eau d'irrigation perdue par ruissellement.

## **PRINCIPES FONDAMENTAUX ET TECHNIQUES DE LA PRÉVENTION CONTRE LES MOUSTIQUES**

Comme nous l'avons indiqué précédemment, la solution définitive du problème des moustiques découlant de l'irrigation dépend des mesures prises pour prévenir, éliminer, limiter ou modifier convenablement les gîtes aquatiques produits par l'homme sur les terres irriguées ou non. Dans les exploitations irriguées, ceci peut être en grande partie réalisé par l'application de bonnes techniques d'irrigation et de drainage qui assureront une récolte abondante sans perte excessive d'eau, ni diminution de la productivité du sol. En faisant plein usage de tous les moyens de réduction des foyers, l'on réduira considérablement la nécessité d'applications répétées d'insecticides chimiques pour lutter contre les moustiques.

Les principes et techniques à appliquer pour obtenir ces résultats sont exposés dans les chapitres qui suivent. Les bénéfices agricoles découlant de ces techniques dépasseront généralement de loin le coût de leur application. Certaines d'entre elles seront également favorables à la conservation de la nature. Ainsi pourra-t-on bien souvent contrôler les moustiques et prévenir les maladies qu'ils transmettent sans bourse délier.

### **LES RETENUES**

- (1) Avant de le remplir, le bassin devra être aménagé comme suit :
- a) La zone normale de fluctuation d'été de l'étang permanent devra être complètement défrichée, sauf quelques arbres isolés et une végétation éparsse le long des rives abruptes ou dans les espaces dégagés qui seront soumis à l'action des vagues ;
  - b) les arbres enracinés au-dessous du plan d'eau minimal d'été, mais se dressant au-dessus de ce niveau, devront être enlevés. Dans certains cas, ces arbres peuvent être abattus et solidement fixés au sol, au lieu d'être enlevés. Cette pratique a quelquefois des avantages pour l'exploitation des pêcheries ;
  - c) toutes les dépressions, marécages et fondrières, qui seront inondées lors de la remontée de l'étang et qui retiendront de l'eau lorsque le niveau

redescend, doivent être reliées au réservoir principal par des drains pour l'écoulement complet ou la fluctuation des eaux retenues ;

d) si la zone de fluctuation d'été de l'étang permanent est limitée à quelques décimètres, il faut prévenir l'apparition de gîtes larvaires en approfondissant ou comblant les zones basses les plus étendues. Ceci réduirait la nécessité de prendre des mesures répétées pour lutter contre la végétation et la prolifération des moustiques ;

e) des dispositions doivent être prises pour assurer la régulation du plan d'eau afin de réduire au minimum les conditions favorables à la prolifération des moustiques sans gêner les fonctions principales du réservoir.

(2) Après la mise en eau, il est recommandé d'enlever périodiquement la végétation dense dans les terres plates et protégées à l'intérieur de la zone normale de fluctuation d'été de l'étang, permanent dans tous les secteurs vulnérables situés à portée de vol des moustiques, où se trouvent des agglomérations ou des lieux de séjour fréquentés par un grand nombre de personnes. La végétation, les débris et les épaves doivent être enlevés périodiquement de tous les drains, pour assurer le libre écoulement des eaux.

## RÉSEAUX D'ADDUCTION ET DE DISTRIBUTION

1") Des revêtements, des buses ou d'autres ouvrages doivent être prévus dans toutes les sections de canaux situés dans des sols poreux ou des fuites excessives risquent de former des marécages, des nappes d'eau et des mares.

2") Des drains doivent être installés pour éviter l'accumulation de l'excès d'eau d'irrigation et du ruissellement naturel le long du bord supérieur des canaux et des fossés. Tous les drains de croisement ou les ouvrages d'aménée doivent être placés en pente pour éviter la formation de mares.

3") Toutes les ballastières doivent être auto-drainées pour éviter la formation de mares.

4") Dans la mesure du possible, des dispositions doivent être prises pour empêcher que l'eau résiduelle ne soit retenue au fond des canaux et des ouvrages hydrauliques quand ils ne sont pas utilisés.

5") Des mesures efficaces doivent être prévues pour prévenir l'accumulation des eaux provenant des fuites des ouvrages de régulation hydraulique.

6") Des horaires de distribution doivent être fixés pour fournir une quantité d'eau adéquate mais non excessive, à des intervalles convenables pour assurer une irrigation efficace des cultures concernées.

7") La végétation et les débris qui ralentissent le débit normal doivent être enlevés de tous les canaux d'adduction, ouvrages hydrauliques et drains.

## TERRES IRRIGUÉES

1°) Les réseaux de distribution et de drainage de l'exploitation et le tracé des champs doivent être conçus en fonction de la topographie, de la nature du sol, des réserves d'eau, des cultures envisagées et des méthodes d'irrigation qui seront utilisées.

2°) Tous les champs irrigués en surface doivent être convenablement nivelés ou mis en pente afin de permettre l'application efficace de l'eau et l'évacuation de l'excès d'eau sans stagnation.

3°) Des réseaux de drainage adéquats doivent être installés pour évacuer l'excès d'eau provenant de tous les champs irrigués.

4°) Des méthodes d'irrigation efficaces devront être appliquées pour obtenir les meilleurs résultats.

5°) La quantité d'eau d'irrigation distribuée ne doit pas être supérieure à celle nécessaire pour arroser la zone des racines de la culture, plus les pertes inévitables et l'excédent d'eau de lessivage pour éviter une accumulation de sels dans la zone des racines.

6°) Dans la mesure du possible, il faut appliquer des méthodes de gestion du sol et des cultures pour maintenir une bonne structure des sols et un taux d'infiltration satisfaisant.

## RÉSEAUX DE DRAINAGE

1°) Des réseaux de drainage principaux devront être installés, afin d'assurer l'évacuation complète de l'excès d'eau d'irrigation du ruissellement et des infiltrations provenant de toutes les terres affectées par l'irrigation de l'exploitation.

2°) Des fossés de drainage devront être étudiés, construits et entretenus pour réduire l'accumulation d'eau dans les réseaux et assurer le libre écoulement des débits en tous temps.

3°) Des dispositions doivent être prises pour éviter les flaques d'eau derrière les remblais.

4°) Les drains, ponceaux, prises d'eau et autres ouvrages devront être profilés en pente pour éviter des points d'eau stagnante.

## BIBLIOGRAPHIE

La brochure originale, « Agriculture Handbook n° 319 » publiée par Agricultural Research Service, *United States Department of Agriculture*, Washington D.C., U.S.A., contient une bibliographie d'ouvrages sélectionnés en langue anglaise sur les divers sujets traités dans cette étude, à savoir : lutte contre les moustiques, irrigation, gestion du sol et de l'eau, protection de la faune et de la flore, santé publique, etc. Pour tous renseignements supplémentaires, s'adresser directement à cet organisme.

## TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE .....	1
NATURE ET ÉTENDUE DES PROBLÈMES IRRIGATION-MOUSTIQUE ....	4
Importance socio-économique et santé publique .....	4
Biologie des moustiques des régions irriguées .....	6
Gîtes des moustiques dans les exploitations irriguées .....	9
CORRÉLATION ENTRE LA PRÉVENTION CONTRE LES MOUSTIQUES ET LES AUTRES INTÉRÊTS .....	17
Corrélation avec la culture irriguée .....	17
Conservation de la faune aquatique .....	26
PRINCIPES FONDAMENTAUX ET TECHNIQUES DE LA PRÉVENTION CONTRE LES MOUSTIQUES .....	33
Les retenues .....	33
Réseaux d'adduction et de distribution .....	34
Terres irriguées .....	35
Réseaux de drainage .....	35
BIBLIOGRAPHIE .....	36