

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 108 (1982)
Heft: 20

Artikel: Quelques problèmes liés à l'aménagement des grands ouvrages hydrauliques en région tropicale
Autor: Mermoud, André
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74680>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 30.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Quelques problèmes liés à l'aménagement des grands ouvrages hydrauliques en région tropicale

par André Mermoud, Lausanne

1. Généralités

De tout temps les hommes ont tenté de tirer un profit maximal de l'eau en réalisant d'importants aménagements hydrauliques tels que barrages, réservoirs, canaux, réseaux d'irrigation, puits, etc. Beaucoup de tentatives furent couronnées de succès. D'autres ont abouti à des échecs retentissants: salinisation des terres, recrudescence de l'érosion, extension des maladies liées directement ou indirectement à l'eau, graves déséquilibres écologiques, etc.

Au cours des dernières décennies le recours à de nouvelles techniques et à de puissantes machines a permis le développement d'immenses projets hydrauliques. Certains problèmes apparus lors de la réalisation de ces grands projets en pays développés ont pris une ampleur insoupçonnée en climats tropicaux. Plusieurs aménagements se sont traduits par des conséquences sociales, culturelles, économiques et écologiques désastreuses qui n'avaient pas été prévues par les auteurs du projet.

Il est certain qu'en matière d'hydraulique, comme dans de nombreux autres domaines, l'intervention humaine modifie l'équilibre naturel préétabli. Le problème est de savoir si cette rupture d'équilibre reste tolérable et jusqu'où elle peut aller sans qu'il en résulte de dommages excessifs qui finalement se répercutent sur la santé et le bien-être de l'homme. Pour certains écologistes outranciers toute atteinte à l'équilibre naturel constitue une nuisance. Ils considèrent volontiers que l'homme doit être au service de son environnement, dût-il en souffrir ou mourir de dénutrition. Cette position excessive a au moins le mérite de suggérer que l'on ne peut pas réaliser un ouvrage sans se préoccuper de son impact socio-économique, culturel et écologique.

En réalité toutes les conséquences prévisibles d'un projet hydraulique devraient faire l'objet d'une étude globale détaillée. Se limiter à l'évaluation du seul résultat spécifique visé (quantité d'énergie produite, augmentation de rendement, etc.) n'est pas suffisant. L'étude coût-bénéfice doit inclure également les avantages accessoires de l'ouvrage (écrêtements des crues, facilités de navigation,

etc.) et les mesures à prendre pour limiter les désagréments potentiels (envasement, recrudescence des maladies liées à l'eau, regain d'érosion, préjudice occasionné à la flore et à la faune aquatiques, etc.). Il faut cependant reconnaître qu'une évaluation quantitative précise de l'impact global d'un ouvrage est difficile, voire impossible. La marge d'incertitude peut être réduite par une approche pluridisciplinaire (ingénieur, écologiste, sociologue, économiste, etc.), mais il subsiste toujours un certain risque. En outre les scientifiques doivent souvent s'incliner devant des considérations économiques et politiques, les gouvernements accordant plus d'importance à un profit immédiat qu'à des investissements à long terme destinés à sauvegarder l'environnement.

L'objet de ces lignes est de présenter les risques pour l'environnement humain et le milieu naturel occasionnés par des aménagements hydrauliques. Il vaut pourtant la peine de rappeler les bienfaits considérables apportés à l'humanité par ces ouvrages. Il ne fait aucun doute que, sans l'accroissement massif des surfaces irriguées, la situation alimentaire mondiale serait dramatique. Les travaux hydrauliques ont épargné de l'inondation quantité de vies humaines et de surfaces cultivées. La production d'énergie hydro-électrique a contribué à accroître le potentiel énergétique, source de tout développement économique.

2. Perturbation du cycle de l'eau

Les barrages offrent à l'évaporation d'immenses surfaces. En climat chaud et sec, d'énormes quantités d'eau sont ainsi perdues (dans les pays tropicaux, l'évaporation dépasse souvent 2 m par an). L'irrigation occasionne aussi une recrudescence des pertes par évapotranspiration car les cultures arrosées transpirent des volumes d'eau bien plus élevés que la végétation naturelle.

Les grands lacs artificiels, au même titre que les lacs naturels, peuvent modifier le climat d'une région. On observe généralement un léger adoucissement de la température, une pluviométrie sensiblement accrue et une recrudescence du brouillard.

Sur le site du barrage et dans les terres irriguées, l'infiltration est généralement accrue. En revanche, à l'aval de l'ouvrage, la régulation du débit maintient le cours d'eau en permanence dans son lit mineur, souvent colmaté, ce qui perturbe la réalimentation des nappes. L'abaissement du niveau phréatique peut devenir chronique lorsque les périmètres irrigués sont alimentés par pompes intensifs dans des puits. Il peut en résulter une diminution du débit des rivières et un assèchement des sources à l'origine de graves sécheresses.

3. Problèmes liés à la conservation des ouvrages hydrauliques

3.1 Envasement

L'envasement est un problème majeur posé par la construction des ouvrages hydrauliques et spécialement des barrages. Les grandes retenues sont des bassins de décantation d'une remarquable efficacité. Les matériaux en provenance de l'amont se déposent peu à peu dans le barrage et diminuent progressivement sa capacité. Certains exemples sont significatifs de l'importance de ce problème. Ainsi la retenue de Khassim-Birha au Soudan qui a vu sa capacité diminuer de moitié en 15 ans, ou le barrage d'Anchicaya en Colombie dont le quart du volume utile était occupé par des sédiments après 2 ans. Ce ne sont pas des cas isolés. Aux Etats-Unis, des études sérieuses ont révélé que le 40% des réservoirs auraient une durée de vie inférieure à 50 ans.

Pour faire face à l'envasement, on prévoit des seuils de vidange. Ces ouvrages ne sont pas toujours efficaces et, lorsqu'ils fonctionnent, ils peuvent occasionner des dégâts considérables à l'aval par dépôt de boue et par la mauvaise qualité des eaux profondes du barrage. Ces eaux généralement pauvres en oxygène dissous favorisent l'apparition d'un milieu appauvri en oxygène avec réduction du fer, du manganèse, des sulfates et formation d'hydrogène sulfureux et de CO₂. Lors des rejets de fonds et des vidanges, ces eaux malsaines peuvent détruire la faune et la flore aquatiques.

Outre la diminution de capacité du bassin, les dépôts solides peuvent occasionner de fâcheuses conséquences à l'aval de l'ouvrage. Ce sont, en particulier:

- une accélération de l'érosion du lit du cours d'eau, les eaux claires étant plus agressives que les eaux chargées;
- une modification de l'équilibre géomorphologique des deltas;
- les éléments minéraux piégés dans la retenue ne sont plus disponibles pour l'alimentation de certains micro-organismes, source de nourriture des poissons, et pour la fertilisation



Fig. 1. — L'impact global d'un barrage ou d'une retenue d'eau n'est pas toujours facile à prévoir. Une approche pluridisciplinaire permet souvent d'éviter ou, tout au moins, d'atténuer les conséquences défavorables de l'ouvrage.

des terres riveraines. Ainsi en Egypte pendant des millénaires les crues du Nil déposaient une précieuse couche de limon sur les champs inondés. Aujourd'hui le haut barrage d'Assouan retient les sédiments fertiles et les paysans doivent répandre des engrais artificiels. Ce même pays a vu la pêche à la sardine s'effondrer après la mise en eau du barrage. Autrefois source de revenus importants pour l'Egypte, les sardines ont pratiquement disparu du Nil suite au déficit de sédiments, déficit ayant occasionné une diminution du plancton qui nourrissait les sardines.

S'il est évident que l'eau est naturellement chargée de sédiments, il n'est pas moins vrai que c'est très souvent l'intervention humaine qui favorise l'envasement des ouvrages. Il faut rappeler que toute modification du bassin versant influe sur l'écoulement de l'eau et la quantité de sédiments transportés. Le déboisement inconsidéré, le surpâturage, la surexploitation du sol, les incendies et les pratiques agricoles inadéquates accélèrent l'érosion et contribuent largement à emplir de terre les barrages. Un bassin d'accumulation constitue souvent un site très attractif pour les populations autochtones qui colonisent massivement les environs et accélèrent ainsi les processus de dégradation des sols (fig. 1).

Il est indispensable de contrôler vigoureusement les phénomènes érosifs et, si nécessaire, de cumuler les mesures susceptibles de diminuer l'érosion (reboisement, modification des techniques culturales, diminution des troupeaux, etc.) pour éviter le comblement prématuré de l'ouvrage.

3.2 Invasion des ouvrages par les plantes aquatiques

La prolifération des plantes aquatiques dans les ouvrages hydrauliques en pays tropicaux constitue souvent un véritable cauchemar. L'invasion des barrages et des canaux peut être le fait de plantes enracinées, d'algues à filaments ou de plantes flottantes (jacinthes d'eau, fougères flottantes, laitues d'eau, etc.). Ces espèces aquatiques doivent être combattues pour de multiples raisons:

- elles entrent en compétition avec la population poissonnière pour la lumière, l'oxygène et les éléments nutritifs. Dans les cas graves, la vie animale disparaît totalement et des conditions anaérobies s'instaurent dans le bassin;
- elles posent des problèmes à la navigation et dévalorisent l'intérêt récréatif de la retenue;
- elles contribuent à accroître l'évapotranspiration. Des études sur des bassins recouverts de plantes aquatiques ont révélé des pertes pouvant être quadruplées par rapport à celles des surfaces libres;
- elles créent des gîtes privilégiés pour certains insectes ou mollusques vecteurs de maladies, en particulier la bilharziose et la malaria;
- elles obstruent les dégrilleurs, perturbent l'écoulement de l'eau dans les canaux ainsi que le fonctionnement des ouvrages de régulation et de distribution.

La lutte contre les plantes aquatiques peut avoir un caractère préventif ou offensif.

a) Action préventive

Les risques de prolifération de plantes aquatiques peuvent être réduits moyen-

nant un certain nombre d'études et de mesures préalables. Il est parfois avantageux de réajuster la hauteur de la digue pour limiter les zones peu profondes favorables au développement des espèces végétales. On peut aussi prévoir de larges déversoirs pour faciliter l'évacuation des herbes flottantes. Avant la mise en eau, il est indispensable d'éliminer toute végétation sur le site du barrage.

Par la suite on contrôlera régulièrement la qualité des eaux d'apports, spécialement en ce qui concerne leur teneur en phosphates et en nitrates.

Dans le cas des canaux et des rivières, il est parfois intéressant de planter sur les rives des rideaux d'arbres. L'ombre qui en résulte peut occasionner un déficit de lumière naturelle suffisant pour perturber la photosynthèse et prévenir le développement des grandes plantes aquatiques.

b) Action offensive

La destruction des plantes indésirées peut se réaliser par l'un des moyens suivants:

- lutte mécanique: coupe à la main ou à la machine. En général, on fait appel à des dragues ou à des navires faucardeurs. C'est une méthode difficile et onéreuse. Le succès est mitigé et le traitement doit être renouvelé plusieurs fois par année;
- lutte chimique: elle utilise des herbicides ou des défoliants qui ne sont pas toujours sans danger pour l'écosystème et qui peuvent nuire à l'usage auquel l'eau est destinée. La décomposition des matières organiques occasionne une très forte demande en oxygène dissous et la production de substances toxiques préjudiciables à la faune piscicole. Les forêts et cultures adjacentes peuvent subir des dommages;
- lutte biologique: elle recourt à des herbivores tels que des insectes, poissons, escargots, mollusques, etc. ou à des micro-organismes ennemis des plantes organiques. On peut citer, à titre d'exemple, la carpe de Chine qui se nourrit principalement de phytoplancton (plancton végétal) et la carpe des herbes qui consomme les plantes aquatiques. La lutte biologique est promise à un certain avenir; elle mérite une intensification des recherches en cours.

4. Problèmes liés à l'exploitation des réseaux d'irrigation

Les principaux problèmes occasionnés par l'irrigation sont le résultat d'une mauvaise utilisation de l'eau disponible. Une conduite déficiente des arrosages peut se traduire par la formation de terrains hydromorphes dans le cas d'apports excessifs ou halomorphes lors d'irrigation avec des eaux salées.

4.1 Apport excessif d'eau

Un excès d'irrigation peut être aussi nuisible qu'un déficit en eau. Dans les sols à bonne perméabilité tout surplus d'eau se traduit par un lessivage et un entraînement vers le bas d'éléments nutritifs essentiels pour les végétaux ou de substances dangereuses pour les eaux souterraines (pesticides, herbicides, etc.). Dans le cas de sols à porosité réduite ou de nappes à faible profondeur, on voit apparaître des phénomènes d'hydromorphie (engorgement des sols par l'eau) causés par un drainage déficient ou par remontée de la nappe à proximité de la surface. Une étude approfondie des doses à apporter et une éducation méthodique des utilisateurs sont deux éléments décisifs du succès de l'irrigation (fig. 2).

4.2 Risques de salinisation

L'irrigation avec des eaux salées pose des problèmes considérables. L'eau, même d'excellente qualité, contient toujours des sels dissous. A titre d'exemple, une application annuelle de 500 mm d'eau à la faible concentration de 200 mg/l (ppm) apporte au sol 1000 kg de sel par an et par hectare. Si ce sel n'est pas éliminé de la zone racinaire, une salinisation est inéluctable puisque l'eau s'évapore alors que le sel reste dans les couches superficielles. Le risque est particulièrement élevé dans les pays à climat chaud et sec. A chaque nouvelle irrigation la concentration augmente, rendant ainsi à plus ou moins long terme toute culture impossible. Le même problème se pose lorsqu'une nappe phréatique salée se trouve à faible profondeur. Le moyen de lutte classique est, outre la prévention par un contrôle rigoureux des doses appliquées, le lessivage des sels solubles. Ce lessivage peut s'effectuer naturellement pendant la saison des pluies ou par l'intermédiaire des crues saisonnières d'un fleuve. C'est ainsi que les abords du Nil ont été protégés de la salinisation par les crues successives du fleuve. Ce processus naturel de dessalement a disparu avec la construction du barrage d'Assouan. De nos jours, on doit procéder à un lessivage artificiel au moyen d'une irrigation excédentaire volontaire.

Dans le cas où le drainage souterrain est insuffisant ou lorsqu'une nappe phréatique se trouve à proximité de la surface du sol, le seul lessivage ne suffit pas. Il faut lui associer un réseau de drainage qui doit évacuer les eaux excédentaires et maintenir la nappe en dessous du niveau critique, fonction de la nature du sol et du type de végétal.

Un cas spectaculaire et dramatique de salinisation est celui de la plaine de l'Indus au Pakistan, la plus grande zone irriguée du monde. L'infiltration de l'eau d'irrigation a fait remonter la nappe phréatique, originellement à 15 ou 20 m

de profondeur, à raison d'environ 50 cm par an. Lorsque les eaux de la nappe, pourtant faiblement concentrée, arrivèrent à proximité de la surface du sol, la forte évaporation eut pour effet d'augmenter la concentration en sel des couches superficielles au-delà du seuil de tolérance des végétaux. Des surfaces immenses furent ainsi perdues pour l'agriculture. Dès les années 60, un programme gigantesque de sauvetage des terres irriguées fut entrepris. D'innombrables puits de drainage furent forés. Les eaux douces de profondeur furent pompées, ajoutées à celles des canaux puis utilisées pour l'irrigation et le lessivage. Le réseau de puits fut complété par des milliers de kilomètres de canaux de drainage qui devaient évacuer l'eau des couches superficielles. Ces mesures firent baisser le niveau de la nappe phréatique et le taux de salinité des sols diminua.

Lorsqu'un risque de salinisation existe, il s'agit, lors de l'étude du projet, de collecter un maximum d'informations pour pouvoir quantifier les risques et préconiser les mesures susceptibles de minimiser les conséquences. Il faut étudier spécialement les propriétés physico-chimiques et hydrodynamiques des couches de surface, les caractéristiques hydrogéologiques de la région à irriguer et les conséquences d'une salinisation accrue des nappes profondes. Une fois le réseau en service, il faut suivre consciencieusement les mouvements de la nappe et les variations de la concentration en sel de l'eau d'irrigation, du sol et de la nappe.

5. Altération des écosystèmes

Les difficultés qui risquent de perturber l'efficacité des ouvrages hydrauliques et

des réseaux d'irrigation ont été évoquées précédemment (sédimentation dans les barrages, prolifération des herbes aquatiques, salinisation des terres, etc.). Ces difficultés sont non seulement préjudiciables au bon fonctionnement des ouvrages, mais elles sont aussi de nature à porter atteinte au milieu. La perte de sédiments piégés dans les retenues peut occasionner des effets fâcheux à l'aval; la prolifération des plantes aquatiques peut entraîner une réduction de la production de plancton et la disparition de certaines espèces animales; les phénomènes de salinisation se traduisent par la stérilisation des terres et par des changements dans la faune et dans la flore.

Lors de la conception des ouvrages hydrauliques, il faut aussi envisager d'autres effets possibles sur l'environnement.

La digue d'un barrage peut occasionner de graves perturbations aux migrations des poissons. Certaines espèces comme le saumon suivent des mouvements migratoires et remontent les rivières pour se reproduire ou se nourrir. Pour éviter leur disparition ou recourt parfois à des dispositifs permettant le franchissement de la digue, en particulier des échelles ou des sacs à poissons. Les résultats sont mitigés, tout comme ceux obtenus par l'installation de bassins suroxygénés pour faciliter la ponte.

Les sédiments et la matière organique déposés dans la retenue ne sont plus accessibles au plancton et aux autres micro-organismes qui s'en nourrissent et qui constituent eux-mêmes la nourriture de certains poissons. Quelques espèces, comme les sardines dans le Nil, disparaissent pratiquement du cours d'eau en aval du barrage.

Les rejets de fonds pratiqués pour l'évacuation des sédiments du bassin libèrent



Fig. 2. — L'irrigation est un facteur de production décisif en zone aride. Cependant seule une utilisation judicieuse de l'eau permet d'en tirer un bénéfice maximal.



Fig. 3. — L'information et l'éducation des populations sont indispensables au succès de tout aménagement hydraulique.

une eau de fort mauvaise qualité qui peut occasionner de graves dommages à la faune et à la flore.

Dans les grands réservoirs, l'échauffement des couches de surface conduit à une stratification thermique des eaux. Les couches plus froides et plus lourdes se retrouvent au fond de l'ouvrage. Les rejets successifs d'eau froide par les organes de vidange et d'eau réchauffée au-dessus des évacuateurs de crue peuvent être à l'origine de dégâts considérables aux différentes formes de vie animale et végétale de l'aval.

La construction d'un barrage peut se traduire par une prolifération de la faune piscicole au sein de la retenue qui aura des retombées alimentaires et économiques très positives. Remarquons toutefois que les poissons de rivières ne s'adaptent par forcément aux conditions lacustres, en particulier à la température de l'eau, à la teneur en oxygène, à l'absence de courant et au type de nourriture disponible dans le barrage. L'introduction de nouvelles espèces peut se révéler intéressante; elle doit toujours être précédée d'une étude détaillée des conséquences prévisibles.

Les conditions qui règnent dans un barrage peuvent devenir très défavorables à la vie animale. Une bonne connaissance des causes des nuisances et de leurs effets facilite la recherche de solutions satisfaisantes.

Les couches profondes plus froides et pauvres en oxygène sont souvent le siège de processus anaérobies avec dégagement de substances toxiques qui interdisent la survie des poissons. On peut parfois y remédier en plaçant judicieusement l'exutoire ou en injectant de l'air.

La prolifération des plantes aquatiques exerce aussi un effet néfaste, car ces vé-

gétaux privent les poissons d'une partie de la lumière, de l'oxygène et des éléments nutritifs disponibles.

Les eaux d'apport de mauvaise qualité doivent être proscrites. Les eaux usées brutes et celles présentant une teneur excessive en pesticides, en produits fertilisants ou en autres substances toxiques peuvent contaminer ou anéantir les poissons.

Les périmètres irrigués sont généralement cultivés intensivement avec apports d'engrais, de pesticides, d'herbicides ou d'autres produits chimiques. Un épandage excessif de telles substances peut entraîner une dégradation dramatique de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines.

L'irrigation favorise les changements de faune et de flore de la zone arrosée. Les végétaux hydrophiles remplacent peu à peu les plantes xérophytes. D'autre part, l'eau et la nourriture étant abondantes, on observe fréquemment un accroissement considérable des populations d'insectes, d'oiseaux ou d'autres animaux. Les projets d'irrigation doivent donc faire l'objet d'une étude approfondie des conséquences liées aux modifications de l'écosystème. Il est hautement souhaitable que des spécialistes suivent les changements de faune et de flore et qu'ils coordonnent les programmes de lutte contre les éléments indésirables en recourant à un minimum de pesticides et d'herbicides. Ceci est tout particulièrement important dans les régions où les eaux souterraines et superficielles sont utilisées pour les besoins domestiques. Remarquons que le degré de lessivage des pesticides ou des herbicides dépend de nombreux facteurs, en particulier des caractéristiques du sol, des précipitations, de la dose et du type de produit appliqué. En général les sols argi-

eux et riches en matières organiques sont beaucoup plus actifs dans la fixation et la dégradation de ces substances que les sols sableux. Lorsque la zone racinaire est traversée, la dégradation est réduite car l'activité microbiologique diminue, si bien que les produits chimiques peuvent conserver leur nocivité pendant une durée prolongée.

6. Impact socio-économique

Très souvent les problèmes humains associés à la création des grands ouvrages d'hydraulique sont plus difficiles à résoudre que les problèmes techniques. Leur complexité est telle qu'ils sont fréquemment escamotés par les auteurs de projets. Lors de la mise en eau d'un barrage, l'inondation d'une région habitée entraîne des déplacements de population qui peuvent être la source de graves problèmes sociaux, sanitaires et nutritionnels. L'abandon d'habitations, d'établissements sanitaires et éducatifs, de terres fertiles, de sites culturels et religieux ne se fait pas sans déchirement. Le nouveau site de colonisation peut être d'une fertilité limitée et le type de sol peu favorable aux cultures traditionnelles, ce qui pose souvent des problèmes culturels insolubles pour des gens dont la formation repose essentiellement sur l'expérience héritée de leurs aînés; il peut en résulter de fortes chutes de rendement responsables de graves problèmes nutritionnels et un appauvrissement du sol par suite de soins inadéquats. Une compétition ardue peut s'engager entre les anciens et les nouveaux occupants pour la possession des terres, l'approvisionnement en eau, l'accès à la pêche, etc. On assiste fréquemment à des implantations incontrôlées le long des ouvrages hydrauliques, suivies de déboisements et de surexploitation du sol, ce qui accroît fortement l'érosion. Les populations déplacées ont aussi parfois à faire face à de nouvelles maladies contre lesquelles elles sont désarmées. Ces problèmes peuvent être atténués par une étude attentive des conséquences du déplacement et par une information précise sur les raisons du transfert et les caractéristiques du nouveau site. Il est clair qu'un dédommagement équitable s'impose dans tous les cas et que les équipements de base (voies de circulation, établissements d'éducation et de santé, etc.) devraient être réalisés au moment du déplacement.

Les populations à l'aval de l'ouvrage méritent également une attention particulière car elles peuvent subir de graves préjudices causés par des modifications du régime hydraulique, une perte de sédiments, une diminution de la population poissonnière, un abaissement des nappes souterraines, etc.

Des problèmes du même type surgissent lors de la réalisation d'un réseau d'irrigation. En général, on n'affecte pas assez de fonds et de personnel pour familiariser la population aux nouvelles techniques culturales et pour l'informer sur les avantages et les risques liés à leur nouvel environnement. La capacité des agriculteurs à exploiter en condition de cultures intensives est souvent surestimée (fig. 3).

Ces aspects humains ne sauraient être négligés, non seulement parce qu'ils concernent directement des hommes et des femmes déjà fortement traumatisés par leur évacuation forcée, mais également parce que de la façon dont ils ont été résolus dépend le degré d'acceptation ou de rejet de l'ouvrage par les autochtones.

7. Incidence des ouvrages hydrauliques sur la propagation des maladies

7.1 Généralités

Les aménagements hydrauliques peuvent, en l'absence de mesures préventives et d'actions efficaces, être à l'origine d'une extension rapide de ces fléaux que sont le paludisme, la bilharziose, l'onchocercose ou autres. Souvent, l'eau ne concourt pas directement à la propagation de la maladie, mais elle est le siège privilégié des vecteurs. Les vecteurs, ou hôtes intermédiaires, sont des animaux (insectes, mollusques, etc.) qui transmettent ou permettent le développement du parasite à l'origine de la maladie. Ce parasite est l'hôte temporaire du vecteur où il subit généralement une évolution.

Dans de nombreux cas (paludisme, filariose, fièvre jaune), l'insecte vecteur est une femelle qui devient porteur de l'agent pathogène par piqûre d'un sujet malade. Par la suite le vecteur infesté transmet la maladie à l'homme sain lors des repas sanguins nécessaires à la ponte.

Les vecteurs les plus fréquents sont des moustiques, des mouches et des mollusques, en particulier:

- les anophèles qui transmettent le paludisme et la filariose. Ils recherchent les eaux claires, pures et faiblement pourvues en matières organiques s'écoulant sur fond herbeux;
- les aèdes, vecteurs notamment de la fièvre jaune et de la filariose, pondent leurs œufs dans les eaux riches en matières organiques;
- les simulies, vecteurs de l'onchocercose, ne se développent que dans les eaux courantes rapides sur fond rocheux (rivières, évacuateurs de crues, canaux en béton, etc.);
- le vecteur de la bilharziose est une espèce de mollusque proliférant en eaux douces, tièdes et calmes.

7.2 Grandes maladies parasitaires liées à l'eau

Nous nous limiterons par la suite à la description de 3 maladies très dévastatrices et dont la fréquence peut être amplifiée par la réalisation de certains ouvrages hydrauliques:

- le paludisme (ou malaria) qui touche 1 milliard de personnes et fait annuellement plus de 1 million de victimes à travers le monde;
- la bilharziose (ou schistosomiase) qui affecte près de 200 millions d'êtres humains en Extrême-Orient, au Moyen-Orient, en Afrique et en Amérique du Sud;
- l'onchocercose (ou cécité des rivières) qui concerne 25 millions de victimes et est responsable de la cécité de plusieurs millions de personnes en Afrique et en Amérique centrale.

Ces maladies parasitaires constituent de véritables fléaux des régions tropicales. Dans ces zones l'immense majorité de la population est infestée par un, voire plusieurs types de parasites, ce qui est à l'origine de la réflexion bien connue selon laquelle la moitié des produits consommés par le paysan africain sert à nourrir ses parasites.

7.2.1 Paludisme

Les parasites appelés plasmodium sont de petits êtres unicellulaires qui pénètrent dans les globules rouges du sang. Là ils se nourrissent d'hémoglobine riche en fer, grossissent et se multiplient très rapidement, ce qui finit par provoquer l'éclatement du globule rouge et la libération d'une grande quantité de jeunes parasites. Lorsque les globules éclatent des substances toxiques sont émises et les poussées de fièvre caracté-

ristiques se produisent. Par la suite les jeunes parasites pénètrent dans d'autres globules rouges et le cycle se poursuit.

La transmission de la maladie se fait par les anophèles femelles. Ce sont des moustiques qui se gorgent de parasites en piquant les sujets malades et qui les transmettent aux sujets sains lors de piqûres ultérieures.

Le cycle évolutif du vecteur (anophèle) comporte une phase aquatique. En effet, la femelle pond ses œufs sur les surfaces liquides stagnantes. Ces œufs éclosent après 3 jours et deviennent adultes une dizaine de jours plus tard. La réalisation de retenues d'eau de faible profondeur qui s'enherbent rapidement et la mise en œuvre de certains procédés d'irrigation (spécialement la submersion pour la culture du riz) peuvent créer des conditions propices à la prolifération des vecteurs et contribuer ainsi à une extension de la maladie.

7.2.2 Bilharziose

Le parasite appelé schistosome est un ver plat qui se nourrit du sang humain. Le jeune schistosome parcourt tout le système circulatoire et vient s'établir dans le foie. La femelle se fixe dans une cavité ventrale du mâle et pond une grande quantité d'œufs.

Ces œufs munis d'un éperon perforent la paroi de la vessie ou de l'intestin et sont expulsés par les urines ou les selles. S'ils se retrouvent dans l'eau, ils cherchent des mollusques sur lesquels ils séjournent quelques jours en subissant des transformations, après quoi ils s'échappent (cercaires) et traversent directement la peau de l'homme qui se baigne, traverse un cours d'eau, fait la lessive, procède à l'irrigation, repique le riz, etc. (fig. 4).

Les mollusques indispensables à la transformation des œufs vivent dans les

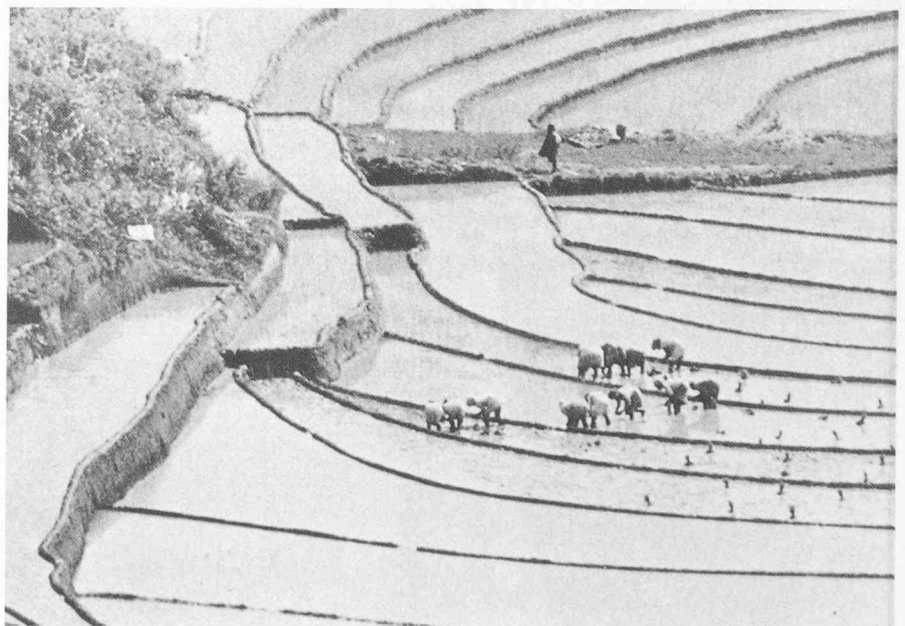


Fig. 4. — Le contact avec les eaux envahies par les mollusques vecteurs de la bilharziose est à l'origine de la transmission de la maladie. Le personnel d'irrigation et les riziculteurs sont particulièrement exposés.

eaux douces, tièdes, calmes, à faible courant et assez riches en végétaux aquatiques.

L'extension des lacs artificiels, des retenues collinaires, des réservoirs et des réseaux d'irrigation en régions tropicales conduit inévitablement à un accroissement des populations de mollusques et donc à des risques accrus d'expansion de la bilharziose.

À côté des moyens de lutte classique présentés plus loin, l'éradication de la bilharziose passe par la mise en œuvre de vastes programmes de construction de latrines judicieusement implantées, afin d'éviter que les œufs émis par les malades ne viennent contaminer les eaux. Des campagnes d'éducation sanitaire doivent être menées en parallèle et les contacts avec les eaux douteuses doivent être prohibés dans toute la mesure du possible.

7.2.3 Onchocercose (cécité des rivières)

Cette maladie parasitaire est moins répandue que les précédentes, mais ses conséquences sur la santé et sur l'économie des zones infectées peuvent être dramatiques. Elle est due à un ver filiforme transmis par la piqûre d'un insecte, la similie, qui contracte lui-même la maladie en piquant un sujet infesté.

Les parasites (filaires) vivent par couple dans de petits modules sous-cutanés; la femelle pond une grande quantité d'œufs qui se déplacent sous la peau jusque dans les tissus de l'œil, ce qui provoque des lésions oculaires pouvant entraîner la cécité.

Le cycle évolutif de l'insecte vecteur, la similie, passe par une phase aquatique. En effet, les larves de similies ne peuvent se développer que dans les rivières ou torrents à courant rapide et à eaux claires s'écoulant sur lit rocheux. Des

conditions similaires peuvent être créées dans les ouvrages d'hydraulique, en particulier dans les déversoirs de barrage, les petites chutes d'eau et les canaux en béton à courant rapide. Remarquons toutefois que dans certains cas la mise en eau de grands barrages a permis l'éradication de l'onchocercose à la suite de l'immersion de zones propices au développement des similies et le remplacement d'eaux tumultueuses par des eaux calmes. La maladie exerce un triple effet préjudiciable sur le plan économique. Les personnes atteintes ont une capacité de travail réduite, les aveugles deviennent une charge pour la collectivité et les gens sont amenés à désertier des zones souvent très fertiles pour s'établir sur des terres qui ne leur assurent pas toujours une subsistance correcte (fig. 5).

7.2.4 Lutte contre ces maladies

Les tentatives d'éradication de ces maladies liées indirectement à l'eau et aux ouvrages hydrauliques font appel à des produits chimiques, à des méthodes biologiques ou à divers aménagements qui ont pour but de restreindre les populations de vecteurs.

a) Lutte chimique

C'est, et de loin, le moyen de lutte le plus utilisé. On s'attaque, soit aux parasites eux-mêmes, soit aux vecteurs à l'état de larves ou adultes. La lutte directe contre les parasites par traitement curatif de masse ne peut être envisagée sérieusement à cause des difficultés à atteindre et à contrôler les malades dans des zones en général sous-équipées en personnel médical et en établissements hospitaliers. Si le paludisme et la bilharziose peuvent être combattus au moyen de produits efficaces et faciles à administrer, par contre le traitement de l'onchocercose fait appel à des substances toxiques qui doivent être administrées sous surveillance médicale constante.

La lutte contre les vecteurs se fait par des insecticides, des larvicides ou des molluscides qui ne sont malheureusement pas toujours sélectifs (ils tuent également d'autres organismes que ceux visés) et biodégradables, si bien qu'on risque de les retrouver dans toute la chaîne alimentaire. L'équilibre écologique peut s'en trouver fortement menacé et la plus grande prudence s'impose.

En outre, on assiste de plus en plus à l'apparition de résistances génétiques développées par les parasites et les hôtes intermédiaires vis-à-vis de certaines substances chimiques, soit par sélection de races résistantes, soit par des mutations à l'intérieur de races préalablement sensibles.

Ainsi, certaines souches de plasmodium résistent actuellement à des produits autrefois actifs. Les anophèles également ont développé des résistances à un grand nombre d'insecticides. De même,

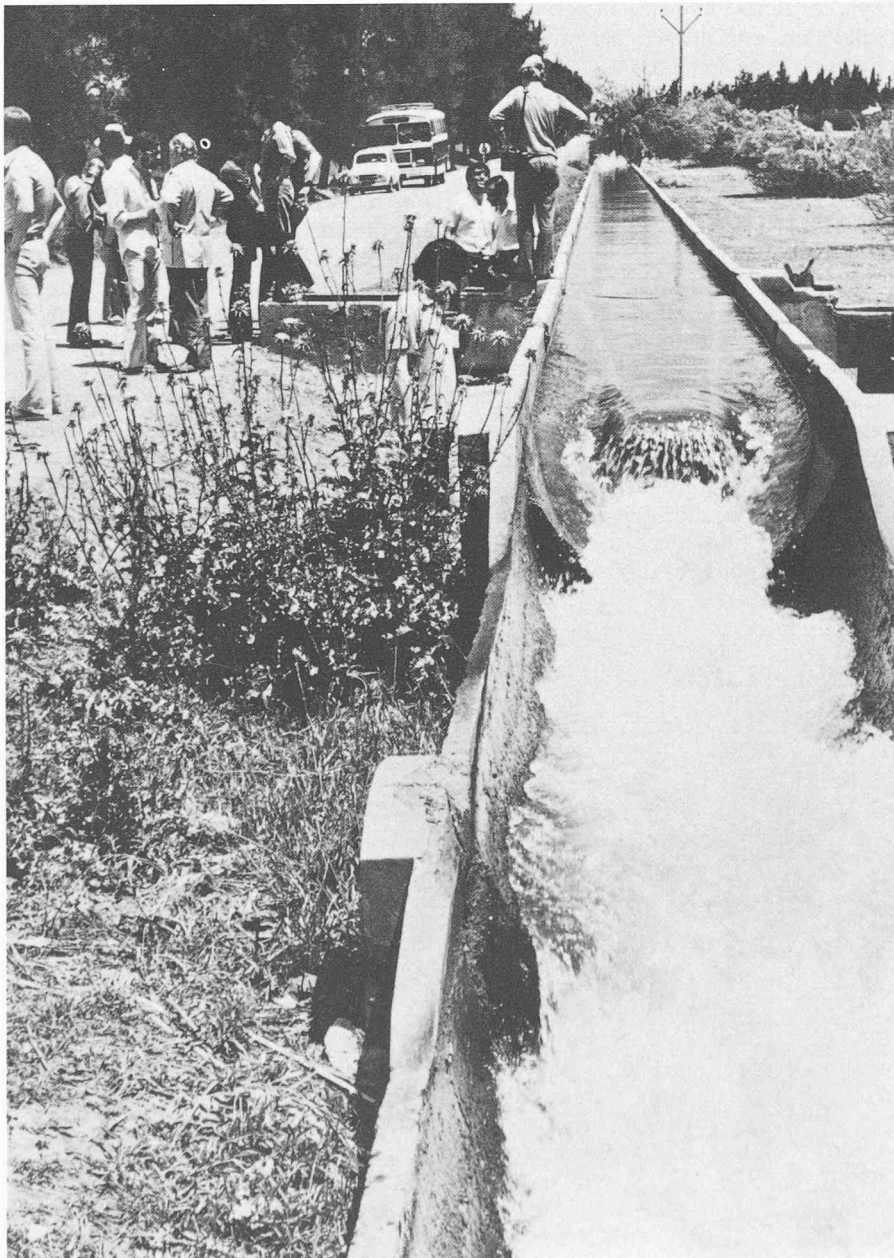


Fig. 5. — Les petites chutes d'eau des canaux d'irrigation peuvent constituer des zones favorables au développement des larves de similies, responsables de la transmission de l'onchocercose.

dans certaines régions d'Afrique, les simuliennes commencent à résister à l'abate, un insecticide à action très sélective utilisé intensivement dans la lutte contre l'onchocercose. Il faut donc rechercher constamment de nouvelles substances chimiques. Et encore n'est-on pas du tout certain d'en trouver.

Les campagnes de lutte menées par l'Organisation mondiale de la Santé dans certaines régions très touchées par ces maladies ont donné des résultats très hétérogènes. Même dans les cas où les résultats sont positifs, il faut se garder de crier victoire trop hâtivement car les risques de réapparition des vecteurs subsistent pendant longtemps en vertu de la loi selon laquelle il est plus facile de faire passer une population d'insectes dans une région donnée de 100 à 5% que de 5 à 0%.

b) Lutte biologique

Ce moyen de lutte paraît très prometteur, mais pour l'instant il n'est encore guère opérationnel. Il consiste à faire appel à des prédateurs des vecteurs (organismes pathogènes, parasites, plantes toxiques, poissons, oiseaux, etc.) qui les anéantissent, les mangent ou leur font concurrence pour la nourriture. Actuellement certains scientifiques orientent leurs recherches vers des substances stérilisantes ou vers la reconstitution d'odeurs susceptibles d'attirer les mâles en des endroits où ils se font piéger.

Dans tous les cas, cependant, la mise en œuvre de moyens de lutte biologiques doit être précédée d'une étude d'impact approfondie.

c) Aménagement de l'environnement

Le but de tels aménagements est la diminution, voire l'élimination, des zones susceptibles de favoriser la prolifération des vecteurs (moustiques, mollusques, etc.). Ces zones peuvent être naturellement présentes dans l'environnement (marais, étangs, etc.) ou être le résultat d'une activité humaine insuffisamment étudiée (retenues et ouvrages de rétention mal conçus, canaux difficiles à vider, déversoirs de barrage peu judicieux, hydromorphie faisant suite à des

irrigations excessives, etc.). Il est en général possible de réduire les risques de multiplication des vecteurs par des mesures telles que l'élimination des plantes aquatiques ou la suppression des zones d'eau stagnantes par des aménagements de cours d'eau, des assainissements ou des comblements de régions humides.

Dans le cas de paludisme ou de bilharziose, par exemple, on peut parfois supprimer les eaux stagnantes des étangs ou des marais inutiles qui sont des gîtes reconnus des larves d'anophèles et des mollusques. On peut également corriger le lit des cours d'eau de sorte à accélérer le courant et à supprimer les zones d'eau morte. Lorsque cela est impossible, il faut procéder au curage du fond, à l'aménagement des berges et à un fauchage régulier. Dans les régions infestées, on renoncera à la méthode d'irrigation par submersion pour adopter d'autres techniques d'arrosage moins propices à la propagation des parasites. La connaissance de la biologie des vecteurs ou des parasites permet parfois de mettre en œuvre des moyens de lutte efficaces. On sait par exemple que les jeunes schistosomes (cercaires) qui s'échappent des mollusques ne peuvent survivre plus de 48 h. en l'absence de rencontre avec un hôte humain ou animal. Il est donc possible de prévenir la transmission de la bilharziose en construisant des réservoirs abrités des mollusques et conçus de telle façon que l'eau séjourne au moins 2 jours avant d'être utilisée.

8. Conclusion

Cet article n'a pas la prétention de présenter de façon exhaustive les problèmes liés aux grands aménagements hydrauliques. Là n'est d'ailleurs pas le but visé. Son objectif est de sensibiliser les auteurs de projets, voire les maîtres d'ouvrage, à certaines retombées négatives qui ont conduit à de sérieux revers dans le passé. A l'origine de ces échecs se trouve généralement une connaissance insuffisante des conditions écolo-

Références bibliographiques

- Water, Wastes and Health in hot climates*, J. Wiley and Sons, 399 p., 1978.
Incidence des grands travaux sur l'homme et son environnement, Unesco, rapport MAB n° 37, 51 p., 1977.
La Recherche, n° 115, octobre 1980.
 E. P. ECKHOLM, *La terre sans arbres*, Ed. Robert Laffont.

giques qui règnent en régions tropicales et des risques associés aux ouvrages projetés.

Les grands aménagements hydrauliques sont des éléments essentiels de développement économique et social. Sans doute ont-ils une incidence sur l'environnement qui n'est pas toujours positive. Cependant il n'est pas raisonnable d'opposer technologie et écologie. S'il est vrai que parfois les intérêts peuvent diverger, il est souvent possible d'éviter ou tout au moins d'atténuer les impacts négatifs sur l'environnement au moyen d'une approche pluridisciplinaire. A cet égard, les analyses de factibilité des projets doivent reposer non seulement sur des considérations techniques, économiques ou socio-politiques, mais également sur l'étude des répercussions prévisibles sur l'homme et son environnement (effets sur la santé humaine, la vie des autochtones, la faune, la flore, etc.). L'analyse coût-bénéfice du projet doit intégrer le coût social et écologique, notions qui sont malheureusement très difficiles à évaluer en terme monétaire.

Le développement des régions les plus défavorisées paraissant inéluctable, il est indispensable qu'ingénieurs, médecins, économistes, écologistes et autres scientifiques travaillent de concert en vue de trouver des solutions optimales capables de satisfaire la légitime aspiration au mieux-être des populations déshéritées.

Adresse de l'auteur:

André Mermoud
 Institut de génie rural EPFL
 En Bassenges
 1024 Ecublens

Vie de la SIA

Marche des affaires dans les bureaux d'études

Enquête de juillet 1982

Les perspectives d'occupation font l'objet, dans toutes les branches d'activité, de prévisions plus pessimistes qu'au trimestre précédent. Dans l'ensemble, il ne reste plus que 14% des bureaux répondants (contre 18% l'année précédente) pour signaler une *rentrée des mandats en progression* au 2^e trimestre de l'année.

TABLEAU 1. — Participation, par catégories professionnelles, aux 5 dernières enquêtes

	Juillet 1982	Avril 1982	Janvier 1982	Octobre 1981	Juillet 1981
Architectes	511	511	522	472	443
Ingénieurs civils	295	315	281	284	234
Ingénieurs du génie rural/géomètres	52	47	50	56	50
Autres ingénieurs (mécaniciens, électriciens, forestiers, etc.)	41	34	25	30	27
Total	900	907	878	842	754

TABLEAU 2. — Rentrée des mandats en % des réponses (récapitulation)

Récapitulation (en % des réponses)	Juillet 1982	Avril 1982	Janvier 1982	Octobre 1981	Juillet 1981
En progression	14	17	15	14	18
Stationnaire	47	45	43	48	51
En baisse	39	38	42	38	31