

71
FAO 75

Regional Reference Centre
Community Water Supply

**FONDS DE DÉPÔT
DANOIS**

TF-RAF 86 (DEN)

Rapport du

**SÉMINAIRE RÉGIONAL FAO/DANIDA
SUR LE DÉVELOPPEMENT DE PETITS
AMÉNAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES
EN AFRIQUE DE L'OUEST**

**VOL. II
Rapports Techniques**

**Ouagadougou, République de Haute-Volta
29 septembre-6 octobre 1975**

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE



71 FAO 75-159.3 (11)

VI . 159. 3

71
FAO75

TF-RAF 86 (DEN)

MISE EN VALEUR HYDRO-AGRICOLE

SEMINAIRE DE OUAGADOUGOU

RAPPORT DU SEMINAIRE REGIONAL FAO/DANIDA
SUR LE DEVELOPPEMENT DE PETITS AMENAGEMENTS
HYDRO-AGRIQUES EN AFRIQUE DE L'OUEST

Ouagadougou, République de Haute-Volta
29 septembre - 6 octobre 1975

- VOLUME II -

Rapports techniques

1977
International Reference Centre
for Community Water Supply

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE

Rome, 1977

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

M-56

ISBN 92-5-200312 -6

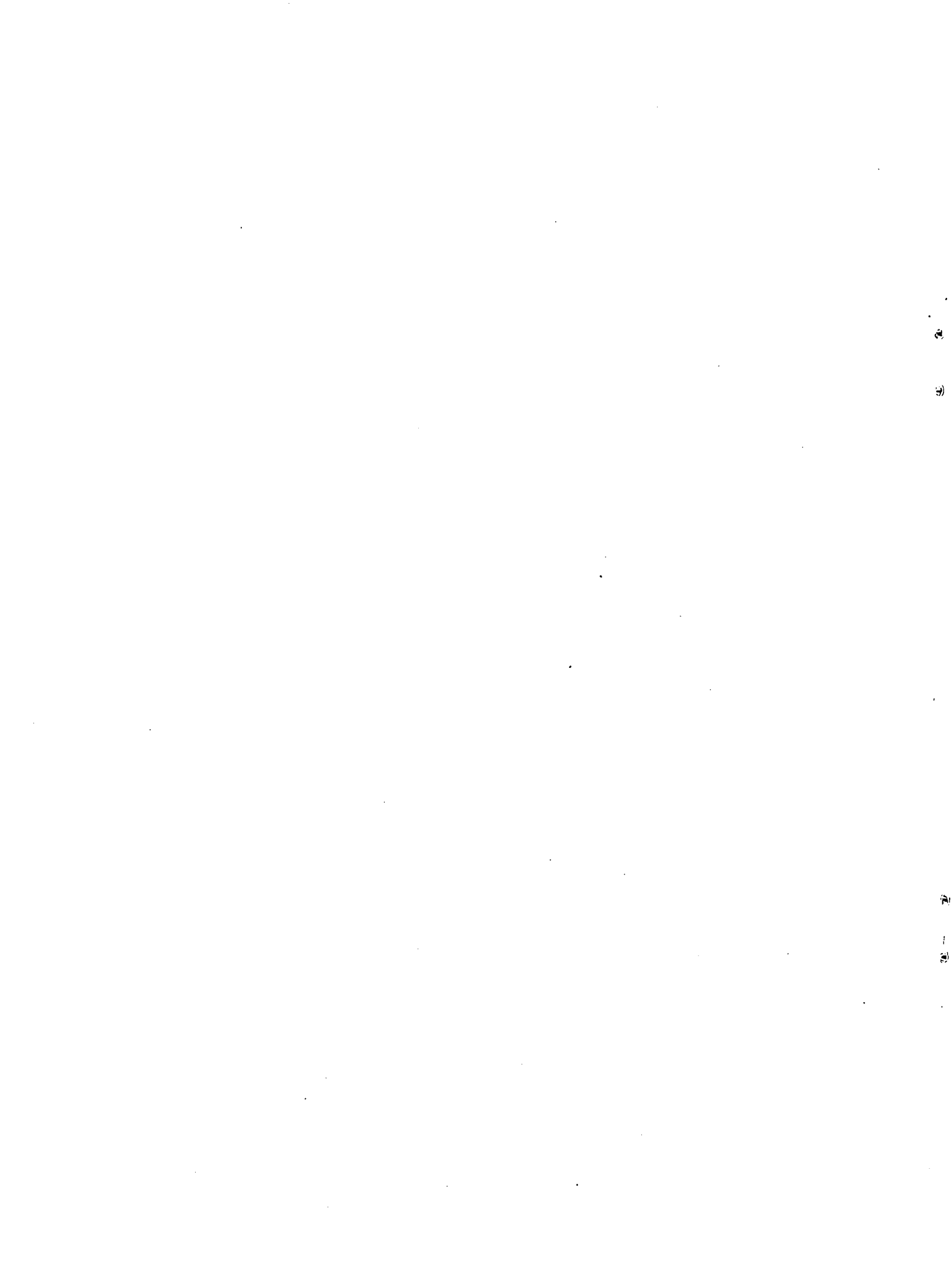
Reproduction interdite, en tout ou en partie, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation écrite de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, seule détentrice des droits. Adresser une demande motivée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie, en indiquant les passages ou illustrations en cause.

© FAO 1977

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
I - PLANIFICATION DU DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAU	1
1. Planification du développement de petits aménagements hydro-agricoles en Afrique au Sud du Sahara, par C. des Bouvrie.	3
2. Formulation et évaluation de petits projets et de projets morcelés d'irrigation, par J.R. Rydzewski.	31
3. Les travaux de petite irrigation et sa planification, par O.S. Babini.	41
II - UTILISATION DE L'EAU EN PROVENANCE DE PETITS COURS D'EAU.	47
1. Les aménagements de bas-fonds en zone Soudano-Sahélienne, par J. Cales.	49
2. La riziculture en submersion contrôlée, par J. Dialinas.	65
3. Les aménagements rizicoles en Côte-d'Ivoire, par J. Oulai.	91
III - UTILISATION DES EAUX DE CRUE	99
1. Le sorgho de décrue, par Ch. Burner.	101
2. Aménagement hydroagricole pilote dans la vallée de l'Ouémé, par Y.J. Capochichi	117
3. Quelques problèmes posés par la réalisation et l'entretien des petits barrages en terre en Afrique Occidentale, par J.M. Grésillon.	
IV - DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES	139
1. Complémentarité des eaux de surface et souterraines dans la mise en valeur hydroagricole, par O. Radelet.	141
2. Développement de forage profonds, par M.A. Bouton.	151
3. Les méthodes d'approches pour le pompage de l'eau en Afrique de l'Ouest, par S.B. Watt.	161
V - PROBLEMES SPECIFIQUES EN MATIERE DE PETITE HYDRAULIQUE	187
1. Aspects saillants des structures des systèmes d'irrigation, par D.B. Kraatz.	189
2. L'eau et la santé de l'homme, par Dr. F. Martin-Samos.	197
3. Contribution de l'UNICEF dans les programmes d'approvisionnement en eau potable au milieu rural, par Martin G. Beyer.	215
4. Possibilités pour une coopération internationale et régionale dans le domaine du développement des ressources en eau à petite échelle et la recherche en Afrique de l'Ouest, par C. des Bouvrie.	219

I - PLANIFICATION DU DEVELOPPEMENT
DES RESSOURCES EN EAU



I. 1. PLANIFICATION DU DEVELOPPEMENT DE PETITS AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES EN AFRIQUE AU SUD DU SAHARA, par G. DES BOUVRIE.

RESUME

Cet exposé met l'accent sur certains aspects saillants de la mise en valeur des ressources en terres et en eau de l'Afrique de l'ouest et, plus particulièrement sur le rôle des petits aménagements hydro-agricoles. Il démontre l'intérêt d'une planification adéquate de l'utilisation des ressources hydrauliques et des besoins spécifiques qui lui sont relatifs.

En effet, en Afrique de l'ouest, l'eau est dans une large mesure un des facteurs clé de la mise en valeur. La partie essentielle de ce rapport comporte la description de la procédure à suivre pour appliquer cette méthode de planification, elle met l'accent sur l'intérêt de cette méthode d'approche qui est dynamique et qui sépare ses divers aspects en éléments qui seront analysés dans le contexte national, régional et du projet. En particulier il a été démontré comment l'appliquer aux stratégies d'utilisation de l'eau. Elles doivent être multidisciplinaires et régionales afin de pouvoir équilibrer les besoins des divers usagers et les ressources disponibles, tout en tenant compte de toutes les solutions qu'il est possible d'envisager dans les conditions socio-économiques et écologiques locales.

La liste de ces solutions est donnée en annexe 1.

Enfin ce document met en relief la priorité qui doit être accordée à la mise en valeur de l'eau au sens large du terme et non à l'utilisation de l'eau pour elle-même. Une fois atteinte la phase de mise en oeuvre d'un projet spécifique, il est nécessaire de commencer sur une échelle pilote qui permettra aux usagers d'adopter et de s'adapter aux techniques nouvellement introduites.

1. INTRODUCTION

Les ressources en terre et en eau de l'Afrique de l'Ouest

En Afrique de l'Ouest, l'agriculture dépend essentiellement des déplacements de la zone de convergence Inter-Tropicale. C'est ce vaste front de précipitations orageuses qui régit les conditions climatologiques durant la saison des pluies. La plupart du temps ces averses satisfont aux besoins d'une agriculture extensive qui dépend de la pluie et requiert de vastes espaces tout en étant associées à un système de jachères. Cependant, la distribution des pluies correspond rarement aux besoins tant en quantité qu'en répartition dans le temps.

Ici, l'irrigation, au sens élargi du terme, c'est-à-dire l'utilisation des ressources hydrauliques dans le but d'accroître la production agricole, a un rôle à jouer. S'il était nécessaire de représenter la région ouest africaine à partir de définitions agroclimatologiques, il faudrait considérer les zones caractéristiques suivantes:

a) La zone Sahélienne (au sens strict du terme)

Les précipitations annuelles y sont inférieures à 300 mm. L'agriculture sédentaire y est impossible sans irrigation.

b) La zone Soudano-sahélienne

Elle est limitée au nord par l'isohyète 300 mm et au sud par la région où la durée de la saison pluvieuse (monomadales) est inférieure à 160 jours et où les précipitations annuelles varient entre 700 et 1 000 mm.

La saison des pluies permet d'obtenir une récolte plus ou moins bonne. L'irrigation est nécessaire si l'on veut pratiquer avec succès une double culture, elle permettra aussi de suppléer à la fois aux besoins des plantes et aux aléas de la saison des pluies.

c) La zone Soudano-guinéenne

Cette région est située au sud de la précédente et s'étend jusqu'à la zone forestière. Elle est tropicale et pluvieuse (2 000 mm) dans la zone côtière. La plus grande partie de cette zone est soumise à un système pluviométrique qui allie les caractéristiques des deux régions qui la bordent. Elle est favorable aux cultures d'une grande variété de plantes susceptibles de croître sans irrigation, mais les débuts et fins des saisons des pluies sont toujours des périodes critiques en raison des irrégularités du climat.

L'irrigation est le seul moyen de pallier aux défaillances des pluies, d'assurer des rendements supérieurs et de permettre des cultures permanentes.

d) La zone (Guinéenne) Forestière et Tropicale

Sur la côte, elle est couverte de marécages de palétuviers, elle s'étend entre la côte et l'isohyète 2 000 mm, le but principal de la maîtrise de l'eau est l'assainissement et le drainage des sols saturés surtout dans les régions où les précipitations annuelles excèdent 3 500 mm.

Les ressources en eaux superficielles représentent le potentiel le plus important de cette région en matière d'irrigation. Cependant, l'absence d'une répartition harmonieuse des écoulements d'eau, dans le temps et dans l'espace, est particulièrement remarquable. Cela donne un caractère exceptionnel à un approvisionnement hydrique régulier tout au long de l'année. Six mois par an, hors de la saison des pluies, la plupart des sources d'eau sont tarées. Durant cette période les grands fleuves et leurs affluents ont leur cours réduit à un filet d'eau, alors que leur débit maximum est souvent très important.

La plus grande variété et les plus vastes possibilités d'aménagement des ressources hydrauliques se rencontrent dans les zones alluvionnaires des grandes vallées des principaux réseaux hydrographiques de la région (en moyenne 173 milliards de m³ ou 173 km³).

Il est très net que les oasis qui se trouvent dans les vallées riveraines du Sahel, représentent un extraordinaire potentiel de ressources disponibles pour le développement des irrigations dans la région. C'est également là qu'il faudra envisager le plus grand effort de mise en valeur des années à venir.

L'ensemble des hautes terres et des vallées sur pénéplaines, écarté des grands fleuves, offre une image complètement différente. Là, le réseau hydrographique dendritique, souvent dense, a un écoulement qui dure plusieurs mois durant la saison sèche et qui peut même avoir dans certains cas un caractère pérenne.

Ces vallées ont été creusées dans des roches d'origine cristalline, précambienne, dites granitiques, elles constituent un cas d'espèce.

L'on trouve souvent un écoulement non négligeable dans les couches supérieures décomposées servant d'éponge et permettant un approvisionnement d'eau potable et de réserves d'eau pour le bétail toute l'année durant, à l'exception des saisons sèches les plus arides.

D'autre part, on peut difficilement dire que la région est richement dotée de ressources d'eaux souterraines facilement exploitables.

Des eaux souterraines peu profondes (inférieures à 50 m) sont dispersées dans les couches supérieures altérées de la roche mère. Bien que la recharge totale annuelle de cette formation est sans doute considérable, l'on trouve rarement des nappes aquifères individuelles de grande capacité.

Les aquifères plus profonds (100-150 m) ayant une puissance supérieure aux précédents (débit exploitable dépassant 3 l/s), et qu'ils présentent parfois de l'artésianisme, appartiennent dans la plupart des cas à l'un des aquifères importants suivants: le "Continental Intercalaire" ou "Hamadan", le "Maestrichien", le "Continental Terminal".

Ils représentent des réservoirs immenses de plusieurs centaines de milliards de m³. Bien que leur alimentation annuelle totale puisse être très importante, on ne possède que peu d'informations sur la recharge de ces nappes, qui sont considérées comme fossiles ou semi-fossiles. Il est donc difficile d'en fixer un taux d'exploitation optimum. Une grande prudence est recommandée pour la gestion de ces nappes.

Il est cependant peu probable qu'à l'exploitation, ces aquifères se révèlent comparables à ceux du sous-continent Indo-Pakistanaïse.

A quelques exceptions près, la qualité de l'eau est bonne, elle correspond pour les eaux de surface et les eaux souterraines aux normes standard pour l'irrigation. Une forte salinité caractérise cependant certaines nappes côtières, les eaux des deltas et embouchures des fleuves et celles de la région du lac Tchad.

Au point de vue de leur utilisation pour les cultures irriguées, les sols les plus intéressants de la région sont ceux que l'on trouve dans les bas fonds, en bandes relativement étroites et en bordure des rivières. Certains problèmes peuvent cependant se poser. Dans les dépressions basses, ils subissent une submersion saisonnière, et le drainage est imparfait. En raison de leur nature hydromorphique et de leur forte teneur en argile, leur façonnage manuel ou à traction animale est peu aisé; seule la mécanisation permet de les préparer et de les exploiter correctement. Ils conviennent à la culture du riz et de la canne à sucre. On utilise parfois les sols des rives à texture plus légère pour des cultures maraîchères et fruitières irriguées.

La situation est différente dans les grandes vallées alluviales du cours inférieur du Sénégal, du delta central du Niger au Mali, le long de la rive du lac Tchad où de vastes espaces sont saisonnièrement inondés.

Des cultures extensives de décrue sont pratiquées sur ces terres dites de "Fadama", qui peuvent être aussi utilisées comme pâturages saisonniers pour le bétail des éleveurs nomades sahéliens.

Les terres noires tropicales (le sol noir à coton)

On les trouve dans les savanes où sévissent les conditions climatiques du type sec. Elles sont difficiles à irriguer, elles se sont développées sur des roches de base assez sèches et couvrent de vastes zones des plaines d'Accra et du sud du lac Tchad. Elles se fissurent profondément en séchant et montrent des propriétés verticales. Elles sont excessivement gluantes, lentement perméables lorsqu'elles sont humides et peuvent présenter des caractéristiques de salinité.

Les autres sols aptes à l'irrigation mais moins favorables que les précédents sont par exemple ceux du delta du fleuve Sénégal et des mangroves de la Guinée. Ils sont lourds, peu perméables, salés et deviennent très acides en séchant.

Les cultures irriguées, jusqu'ici ont eu à dépendre de systèmes de dérivation ou de pompage. Peu de mesures importantes ont été prises pour régulariser les écoulements. Par contre, les essais de stockage d'eau à l'aide de petits barrages en terre (de 100 000 à 8 000 000 m³ ou plus de capacité) ont été entrepris en amont du réseau hydrographique. Ils se sont révélés dans la plupart des cas des opérations coûteuses et peu aisées, compte tenu de la topographie généralement plate et leur utilisation à des fins d'irrigation n'a pas toujours été exploitée avec plein succès. Les frais d'investissement de ces ouvrages ne peuvent être amortis par le revenu de la production agricole.

Il faut par contre citer certains ouvrages simples et robustes de "Conservation des eaux" du type: prises d'eau, digues et diguettes, qui ont été mis en place pour les cultures de décrues. Ils fonctionnent avec succès et sont rentables.

En Afrique de l'ouest l'ensemble des terres irriguées et cultivées représente moins de 1 % de la superficie de toutes les terres annuellement cultivées. Ce même rapport est de 33 % au Moyen-Orient et en Afrique du nord. En Inde, un périmètre dominé par un seul canal peut être aussi vaste que l'ensemble de toutes les terres irriguées de l'Afrique de l'ouest.

De récentes études ont montré que ce retard de l'Afrique au sud du Sahara était dû à l'introduction relativement récente (1930) de l'irrigation avec des eaux pérennes. Dans le domaine de l'irrigation, ce manque de tradition et d'expérience est un lourd handicap pour l'exploitation de grands ensembles hydro-agricoles. Ce retard est mis en évidence par le nombre de petits projets, moins de 1 000 ha, inscrits au Plan Indicatif Mondial pour le Développement de l'Agriculture, FAO, 1965 (1).

Des études plus récentes (2) et (3) montrent l'intérêt croissant des Etats Africains pour ce genre de petits projets.

Les raisons en seront explicitées plus clairement dans les paragraphes suivants. Il semble évident que l'on ne peut pas envisager le développement de l'ensemble d'une région en se basant uniquement sur des petits projets, bien qu'ils représentent dans leur totalité une superficie appréciable.

Ceci ne veut pas dire que les petits ouvrages doivent être négligés en faveur de grands projets modernes plus spectaculaires, étant donné que dans bien des cas ils se sont révélés plus rentables.

Au cours de l'étude des moyens à mettre en oeuvre pour atteindre les futurs objectifs de la production agricole, on se trouve devant deux alternatives: ou utiliser une agriculture traditionnelle améliorée et perfectible, ou avoir recours à une agriculture intensive entièrement ou partiellement irriguée.

Pour certains pays de l'Afrique de l'ouest, la réponse peut paraître évidente, pour d'autres le choix peut entraîner d'interminables débats. Au cours de la discussion apparaîtront de nombreux arguments favorables et de légitimes aspirations qui militent en faveur du développement des irrigations.

Parmi les facteurs de production, l'eau apparaît comme un élément limitatif important de l'intensification de la production agricole dans la région.

Cependant des progrès intéressants ont été enregistrés dans les rendements de nombreux secteurs où la culture irriguée a été introduite concurremment à la culture pluviale. Ces gains de production ont été améliorés par suite de la pratique de la double culture annuelle.

Prenons en exemple le riz de montagne dont la production est d'environ deux tonnes à l'hectare en culture "pluviale", dans la même région ce rendement atteint cinq tonnes à l'hectare pour chacune des deux cultures annuelles quand on peut complètement maîtriser l'eau. La figure 1 montre l'influence du contrôle de l'eau sur la production rizicole dans d'autres régions du monde.

De nombreuses et impressionnantes statistiques sur les bénéfices bruts dus à la maîtrise de l'eau en agriculture, n'ont aucune signification si l'on ne tient pas compte des autres facteurs de production: tels les engrais chimiques, les semences sélectionnées, les insecticides, les fongicides etc., les services techniques des conseillers agricoles, l'organisation de la commercialisation, les facilités de crédits, etc., c'est-à-dire des moyens de la technologie agricole avancée.

Dans la région, les considérations suivantes semblent fortement influencer la prise de décision dans le domaine de l'irrigation:

- a) **Faire de la culture irriguée un instrument de progrès économique et social des zones les plus arides**
- b) **Autosatisfaire avec profit, les besoins nationaux en produits irrigués de rente et supprimer leur importation, tirer un bénéfice substantiel de l'exportation de ces mêmes produits quand cela est possible**
- c) **Associer la production de fourrage irrigué à la production intensive de viande pour l'exportation**
- d) **Créer à l'échelon régional des surplus de produits de base pour la consommation humaine et animale. Elle servirait de réserve d'urgence en cas de désastre, comme celui qu'a récemment connu la zone sahélienne**

Quelle que soit l'orientation choisie, peu de gens peuvent nier que les récents événements de la zone sont là pour nous rappeler cette leçon fondamentale: "l'intensification de la production agricole et animale est intimement liée à la bonne utilisation et la bonne gestion de nos ressources hydrauliques limitées".

Les possibilités d'expansion et d'amélioration des techniques de l'irrigation sont considérables. Le rythme éventuel de leur accroissement dépendra non seulement de notre aptitude à augmenter les moyens de mise en oeuvre des projets et de les faire fonctionner, mais surtout de la planification des irrigations. Le but du présent exposé est de proposer les moyens d'améliorer notre pratique de ces méthodes dans le contexte de la région ouest africaine.

2. NECESSITE D'UNE PLANIFICATION DE L'EXPLOITATION DES RESSOURCES EN EAU

Compte tenu de ce qui a déjà été brièvement énoncé sur les ressources en sol et en eau, le lecteur reconnaîtra que l'eau est le facteur clé du développement agricole et rural de la région: l'eau potable pour satisfaire les besoins domestiques, l'eau pour l'abreuvement du bétail, l'eau pour irriguer les cultures vivrières, fourragères et industrielles, l'eau pour alimenter les étangs piscicoles, l'eau pour produire l'énergie électrique; l'eau est aussi indispensable à l'industrie, aux transports etc.

De nos jours, aucun gouvernement des Etats de la région n'est indifférent à ce problème fondamental qu'est une planification aussi exacte que possible de l'exploitation des ressources hydrauliques.

Cependant, une telle planification n'a pas toujours été entreprise en prenant pour cadre l'ensemble des objectifs économiques du **pays**. Ainsi, certains plans proposés ont eu une approche soit sectorielle soit régionale ou se sont montrés en opposition avec ceux **proposés** par les services des eaux indépendants ou concurrents. **Quelquefois aussi**, les différents points de vue de nombreux consultants étrangers créent une telle confusion qu'il est impossible d'identifier une solution valable unique.

Il est donc temps d'adopter une méthode d'approche véritablement intégrée, de prendre des décisions dans le cadre d'une stratégie bien pensée de la gestion de l'eau, qui tiennent compte, à tout moment, des intérêts élargis, tant sur le plan national que régional. Le tableau 2 tente d'illustrer cette procédure plus dynamique. Elle appartient à un intéressant schéma de planification mis au point au Centre ITC/UNESCO d'Etudes Intégrées d'Enschede aux Pays-Bas (4). Elle permet, en réalité, une évaluation continue des objectifs et méthodes de planification du développement en général, et des études de détails qui leur sont relatives. Elle démontre l'utilité d'examiner un éventail d'alternatives avant de prendre la décision finale de mettre en oeuvre un projet de développement hydraulique. Des modifications y ont été apportées afin de l'adapter aux besoins spécifiques des planificateurs dans le domaine de l'utilisation de l'eau.

C'est aussi par ce moyen que le choix de la technique hydraulique sera le mieux adapté aux progrès réalisés dans le domaine de la technique et de la technologie et aussi que plusieurs solutions alternatives originales ou classiques pourront être proposées pour la bonne solution des problèmes hydrauliques.

Mais avant tout, dans le cadre d'une politique cohérente et réaliste, la planification des ressources en eau devra examiner les besoins spécifiques des futurs usagers: éleveurs, cultivateurs, agriculteurs, citadins, etc.

Cette méthode est basée sur les principes suivants:

- a) Les problèmes seront traités au niveau auquel ils appartiennent par ceux qui en sont responsables à ce niveau de compétence.
- b) L'analyse des réalisations couronnées de succès, ou ayant fait l'objet d'échec, constitue une partie intégrante de la procédure de la prise de décision.
- c) Les responsables politiques et les planificateurs dans le domaine de l'hydraulique, à l'échelon supérieur, seront régulièrement informés des progrès de la mise en oeuvre, grâce aux méthodes appropriées du "Feedback".
- d) Vice versa au moyen de rapports et de discussions avec les autorités compétentes responsables de la politique et du plan de coordination, le planificateur de l'utilisation des ressources hydrauliques sera tenu informé, aura l'occasion de suivre les besoins des autres secteurs, et fera une révision des objectifs et des recommandations dans son propre secteur si besoin est.
- e) La planification devra être souple, pouvant évoluer suivant des phases progressives bien définies, adopter des solutions de rechange quand elles seront identifiées, tout en fixant des ordres de priorité, soit au niveau du plan de développement national, soit au niveau des stratégies régionales ou de l'ensemble des projets au sein de ces stratégies.

3. BESOINS SPECIFIQUES POUR LA PLANIFICATION DES RESSOURCES HYDRIQUES EN AFRIQUE DE L'OUEST

Comme nous l'avons déjà souligné, en Afrique occidentale ce sont les grandes vallées alluviales des principaux réseaux hydrographiques qui seront à long terme les plus favorables aux aménagements hydro-agricoles.

Il faut cependant rappeler que la plus grande partie de la population rurale sédentaire vit soit en petites communautés villageoises, soit en cellules familiales sur des exploitations agricoles souvent séparées par de grandes distances. Les zones retirées des plateaux sont le lieu de prédilection de ce peuplement. En règle générale, les revenus proviennent principalement d'une agriculture pluviale de subsistance.

De plus en plus souvent le paysan africain cherche à compléter les récoltes de saison des pluies par des cultures de saison sèche. Il utilise à cette fin l'eau facilement disponible: eau pérenne des rivières, mares, sources, nappes phréatiques peu profondes, petits barrages, réservoirs. Il peut alors améliorer son alimentation de saison sèche et éviter les problèmes de soudure, qui surgissent souvent avant les premières récoltes des cultures de saison des pluies. Cette deuxième culture permet aussi de compenser le déficit de mauvaises récoltes de cultures de la saison des pluies. Le paysan pourra aussi pratiquer en saison sèche des cultures de rente telles oignons, tomates, légumes, etc., qu'il vendra sur le marché local ou qu'il exportera.

Ces nouvelles pratiques permettent la création de nouveaux emplois à la population rurale, laquelle n'est engagée, à plus de 70 %, dans l'agriculture que pour une période de 5 mois seulement.

. Les conditions socio-économiques et écologiques de la région apparaissent favorables à l'établissement de petits aménagements hydro-agricoles. Cette politique des petits aménagements a ses avantages; non seulement elle permet un début avec des méthodes simples qui ne s'opposent pas trop aux traditions et aux habitudes locales, mais aussi elle permet un début compatible avec les capacités des exploitants agricoles traditionnels africains. On a souvent vu ces projets se transformer en "pôles de développement" et englober progressivement les activités d'autres secteurs agricoles. Dans le cadre d'opérations d'auto-assistance, les futurs usagers prennent en charge une grande partie de la mise en oeuvre.

Cette méthode permet d'utiliser une technologie simple et d'appliquer une méthodologie plus souple. Ces projets ne sont pas tous bon marché (certains barrages reviennent à 10 000 dollars/ha, voir annexe 1). Cependant l'avantage est en leur faveur s'ils doivent être comparés à des projets plus grands et plus onéreux (1 000 ha constituent un grand périmètre dans cette région), car une fois ces grands projets mis en exploitation, l'encadrement technique et administratif n'a pas toujours pu correspondre aux besoins des dispositions des usagers venus de l'agriculture traditionnelle.

Il en est résulté une "crise de confiance" qui a provoqué soit des abandons des nouvelles pratiques culturales et des plans de cultures imposés, soit des retours dans leurs villages d'origine des exploitants du périmètre. Il est tout aussi intéressant de noter que les investisseurs internationaux, forts de l'expérience passée, s'intéressent de plus en plus à la réalisation de ces petits aménagements. Les financiers savent aussi que ces types d'entreprises profitent surtout aux agriculteurs dont les revenus sont modestes, 45 % des moins avantagés appartenant en grande partie aux communautés rurales de l'Afrique occidentale.

D'autre part, la facilité et la rapidité de la mise en oeuvre des travaux sur le plan local, régional ou d'une sous-unité politique, est l'un des avantages des petits projets sur les grands. Il n'est pas nécessaire d'avoir recours, pour leur gestion, à des organisations complexes qui nécessitent l'aide d'experts étrangers ou de bureaux centraux. En ce moment, depuis la prise de conscience de ces possibilités, les gouvernements essaient de renforcer leurs structures régionales et plus particulièrement les services d'hydraulique et de génie rural sur des bases régionales. Cette réorganisation prévoit souvent la création: d'un groupe de planifications pluridisciplinaires, de groupes mobiles de conception et d'irrigation, "Brigades d'Intervention du Génie Rural" et des vulgarisateurs en agriculture irriguée.

C'est pour cette raison que la planification à l'échelle régionale des aménagements hydro-agricoles dont le but est de servir ce nouveau type de développement est si importante.

4. PROCEDURES DE LA PLANIFICATION DE L'UTILISATION DES RESSOURCES HYDRAULIQUES

4.1' Conditions préalables

Les planificateurs des ressources hydrauliques sont confrontés à de nombreuses variables, ayant des interrelations complexes. Comme il l'a été indiqué ci-dessus, lorsque l'on applique la méthode de gestion sélective, il se dégage immédiatement une situation où les problèmes peuvent être traités à trois niveaux: national, régional, projet.

Mais en plus de cela chaque fois que le planificateur le pourra, il devra associer les besoins des hommes à l'utilisation de l'eau, car le facteur humain est l'élément décisif du succès de cette entreprise.

Il devra s'efforcer de déterminer ses objectifs non seulement en fonction des coûts et profits, mais aussi en cherchant des solutions alternatives qui lui permettront de tenir compte, dans la mesure du possible, des droits coutumiers, des tabous, des préférences, des aspirations des futurs utilisateurs de l'aménagement.

Si une bonne compétence technique est donc nécessaire à l'ingénieur, une connaissance des problèmes humains lui est indispensable.

Dans un aménagement hydro-agricole, l'utilisation des ressources hydrauliques doit s'insérer harmonieusement dans le contexte des êtres humains et de leur environnement naturel. Sans appréciation aussi exacte que possible de cette **symbiose**, il n'y aura pas de succès à espérer.

Cela veut dire qu'il faudra comprendre l'éleveur Foulani, qui pour l'élevage dépend des vastes pâturages de la savane où ses troupeaux se déplacent librement, de mare naturelle en mare artificielle, selon les saisons. Il ne faut pas perdre de vue que par exemple, les points d'eau fréquentés pendant la saison sèche sont probablement considérés comme un bien communautaire, dont la responsabilité de la construction et de l'entretien incombe à tous et à personne en particulier,

- que les puits traditionnels creusés à la main et où l'exhaure représentait un travail pénible, protègent les pâturages,
- que les stations de pompage modernes où l'abreuvement des troupeaux devient une partie de plaisir qui attire et retient longuement les éleveurs créant un sur-pâturage et transformant les alentours en mini-déserts,
- qu'il faudra être conscients de la nécessité d'espacer convenablement les points d'eau pour équilibrer la répartition du bétail en fonction des ressources fourragères disponibles, pour éviter le sur-pâturage ou la sous-utilisation de certaines zones.

En ce qui concerne l'agriculture sédentaire, une interprétation technique du bilan d'eau est importante si l'on veut déterminer les besoins pour une culture continue. Là, une connaissance des données météorologiques locales s'avère indispensable: probabilités des précipitations par périodes de 10 jours, leurs intensités et leurs durées ainsi que d'autres informations qui sont aussi importantes telles la profondeur du sol arable, son coefficient d'infiltration, sa capacité de rétention d'eau. Compte tenu de la durée et du nombre des périodes critiques, des cycles végétatifs des variétés de plantes cultivées dans la région, ainsi que d'autres paramètres tels la relation plante-eau-sol, il sera peut-être nécessaire de recommander l'introduction de variétés à cycle plus court ou une modification des dates de plantation plutôt que de prévoir une irrigation d'appoint.

Par exemple, dans la région centrale de la Sierra Leone (précipitations annuelles 2 500 mm), un bilan d'eau bien élaboré **peut démontrer que l'on peut obtenir deux récoltes** de riz de bas fond avec une application minimale mais bien calculée d'irrigation d'appoint en saison sèche et un drainage adéquat en saison des pluies.

La culture du riz en submersion contrôlée dans le delta central du fleuve Niger requiert:

- une estimation anticipée du niveau de la crue du fleuve, basée sur de bons enregistrements et une parfaite connaissance du phénomène,
- une connaissance du taux de croissance journalier de chaque variété de riz pour y accorder le rythme de la montée des eaux,
- la hauteur maximum d'eau qui correspond à chaque variété de riz.

La pisciculture se développe dans la région mais avant de prendre la décision d'introduire la culture du poisson au niveau rural, il sera absolument nécessaire d'en connaître les principes fondamentaux.

Il ne faudra pas négliger les problèmes de santé humaine ou animale et l'influence de certaines maladies endémiques qui ont fait désertier les vallées. Il faudra apporter une attention plus particulière aux maladies dont les vecteurs ont une forme aquatique ou ont besoin d'une atmosphère boisée et humide: trypanosomiase, anchocercose, filarose, bilharziose, malaria. On peut citer en exemple 65 000 km² de fonds de vallée du réseau hydrographique de la Volta qui sont déserts. Une campagne d'iradication des "stimulis" est en cours, on espère ensuite pouvoir récupérer pour l'irrigation la majeure partie de ces terres. Il faut aussi signaler qu'il est très difficile de protéger de la bilharziose les exploitants des périmètres irrigués et les populations voisines des retenues d'eau.

4.2 Les procédures de planification

Cette section servira à présenter les procédures dont dépendra le succès de ce type de planification. Il faut se rappeler qu'elles sont inter-disciplinaires et demandent une grande souplesse d'esprit. Le diagramme du tableau 2 est une bonne illustration de cette méthode. On y montre (fig. 2) comment progresser par étapes successives, chacun des problèmes soulevés est résolu dans le contexte national puis régional avant que la décision soit prise de mettre en oeuvre le projet lui-même.

Il serait trop long et trop éloigné du but de cet exposé d'étudier en détail les composantes énumérées ci-dessus. Nous pouvons cependant donner quelques éclaircissements sur les points essentiels.

4.3 La planification nationale

La planification nationale doit tout d'abord comprendre:

- a) L'inventaire des ressources en eau.
- b) L'estimation de leur potentialité pour l'utilisation nationale rationnelle qui tiendra compte:
 - i) des différences écologiques et démographiques des régions
 - ii) du choix des cultures et des quantités à produire
 - iii) des meilleures conditions de production des récoltes:
 - culture sèche + précipitations
 - culture sèche + précipitations + irrigation d'appoint
 - culture irriguée et méthodes d'irrigation
- c) La fourniture des éléments de référence et de jugement grâce aux études existantes sur les périmètres en cours d'exploitation.
- d) Les informations nécessaires tirées des réalisations passées, pour la recherche de solutions techniques de rechange et l'évaluation de leurs incidences financières.

Autrement dit, être à la disposition des planificateurs et des responsables politiques pour les renseigner aussi exactement que possible sur la véritable situation du terrain et leur permettre de prendre leurs décisions en toute connaissance de cause.

C'est à ce niveau où une véritable politique de l'eau doit être établie, et c'est dans ce contexte que doit être déterminée la place réservée à l'utilisation de l'eau d'irrigation.

C'est à ce niveau, par exemple, où l'importance relative de l'irrigation doit être établie en déterminant l'effet de celle-ci sur l'augmentation des rendements par rapport à l'effet d'autres facteurs de production tels que, variété à haut rendement, engrais, pesticides etc.

Il est évident qu'une telle méthode d'approche ne peut être menée à bien que par un groupe de spécialistes. Comme il est expliqué précédemment, la décision d'introduire ou non les cultures irriguées dépend de l'analyse d'un ensemble complexe d'informations climatologiques, topographiques, économiques, techniques, socio-politiques.

La finalité de cette analyse préliminaire du contexte humain et écologique du pays devra être le découpage en zones des régions en cours d'étude.

A l'intérieur de ces zones se retrouveraient des caractères humains et physiques communs et les mêmes besoins ou problèmes de développement.

4.4 Le plan régional

Au niveau régional, le travail du planificateur devra être beaucoup plus détaillé, tant au point de vue de la recherche de l'information que de l'énoncé des propositions et des conclusions. Les tâches suivantes lui seront confiées:

Faire l'inventaire et le bilan des ressources hydrauliques dans la région et quantifier leurs disponibilités.

Déterminer et quantifier les besoins des divers types de l'utilisateur de l'eau.

Rechercher et évaluer les différentes solutions techniques déjà en oeuvre ou celles qui mériteraient d'être étudiées dans l'avenir. Un exemple typique pourrait être la proposition élaborée pour une stratégie de développement des ressources en eau dans le Sud de Madagascar (8).

Ayant réuni toutes les informations nécessaires, il devra d'abord élaborer des alternatives pour les stratégies de mise en valeur. Elles devront pouvoir être appliquées pour résoudre les problèmes spécifiques de chaque région. Le choix d'une ou de plusieurs des plus intéressantes stratégies devra à nouveau s'effectuer dans le cadre de la politique générale du pays et en étroite liaison avec les spécialistes des autres disciplines.

L'une des stratégies de ce genre pourrait être celle de l'utilisation combinée des ressources en eau de surface et du sous-sol à l'intérieur d'un bassin hydrographique donné. Elle proposerait que, pendant la saison des pluies les excédents d'eau de surface devraient s'infiltrer à partir de réservoirs de stockage afin de recharger les aquifères avals qui sont surexploités en saison sèche.

Les autres stratégies pourraient prévoir la collecte des autres eaux de ruissellement à l'aide de digues et diguettes établies sur les pentes dominant les vallées afin d'améliorer le rendement des cultures de riz dans les bas-fonds.

Une gamme de solutions techniques est à la disposition de l'ingénieur africain, elle va de l'irrigation goutte à goutte ou de l'irrigation souterraine pour les régions arides, passe par l'agriculture irriguée, par la collecte des eaux de ruissellement, le détournement des eaux des rivières ou le pompage convenant aux régions semi-arides, et finit par le drainage des marais de la région côtière où parfois le problème technique est limité au drainage et à l'assainissement ainsi qu'à la protection contre les inondations.

Dans l'annexe 1 nous avons donné une liste aussi exhaustive que possible de ces méthodes qui sont groupées:

- a) suivant l'approvisionnement en eau
- b) suivant les mesures de conservation.

Certaines de ces méthodes sont bien au point, d'autres sont nouvelles et viennent juste d'être introduites, enfin, certaines n'ont jamais été appliquées en Afrique mais mériteraient qu'on en fit l'expérimentation.

Au cours de cet exposé, il n'apparaît pas utile de donner la description détaillée de ces méthodes mais seulement d'en donner un aperçu.

La plupart seront décrites et expliquées au cours des communications des différents orateurs qui participent à ce séminaire, et elles feront à cette occasion l'objet d'un débat.

Chaque solution est caractérisée par son coût et le détail des frais d'investissement, de fonctionnement, d'entretien, de réparation à l'hectare, mais son adoption dépend de ses avantages, de ses limitations d'ordre technique, financier et socio-économique. Dans la région, toutes ces solutions ne peuvent être adoptées et adaptées, mais certaines mériteraient d'être retenues pour être essayées à une échelle pilote. Certaines ont eu des fortunes diverses, d'autres ont échoué, d'autres encore ont particulièrement réussi.

Une notice sur les raisons du succès ou de l'échec manque la plupart du temps dans les archives et les analyses restent incomplètes. L'attention du lecteur a déjà été attirée sur deux projets types d'analyse qui viennent d'être achevés. Le premier a pour objet la construction de petits barrages dans la région sud-ouest africaine (5). Le second étudie avec beaucoup de détails le budget des petits exploitants agricoles qui ont adopté les cultures attelées et qui se servent de leurs animaux pour l'exhaure de l'eau nécessaire aux cultures irriguées en saison sèche (6).

4.5 . Formulation du plan directeur

La formulation du plan directeur est la nouvelle étape de la stratégie, elle s'effectue après l'examen et la coordination de l'ensemble des projets. Pendant cette phase, le plan de l'utilisation des ressources en eau fera aussi l'objet d'une étude de détail par l'intermédiaire d'une étude de préfaisabilité.

La liste des points particuliers qui devraient être vérifiés par le planificateur serait:

- a) équilibrer les besoins en eau des projets avec les ressources disponibles
- b) effectuer une première estimation des revenus par unité de volume d'eau, par unité de surface du projet etc.

En outre, peu d'autres éléments auront autant de poids sur la décision finale, faisant suite à une étude de préfaisabilité, que ceux relatifs à la classification des ressources en sols. La situation géographique, l'étendue, la qualité des sols ont plus que tout autre facteur, une influence sur la conception des ouvrages de génie civil, sur la potentialité des récoltes et de la production animale, sur la nécessité de prévoir une protection contre les inondations et un drainage, enfin sur le choix de la zone irriguée elle-même.

On remarque trop fréquemment le manque de coordination entre la classification des sols et les informations relatives aux ressources en eau.

Les informations économiques venant de l'analyse des projets opérationnels, seront très utiles aux planifications pour la prise de décision à ce stade des stratégies de la mise en valeur, mais elles ne sont malheureusement pas souvent disponibles. "L'étude de la mise en valeur par l'irrigation en Afrique au sud du Sahara", peut être considérée comme une nouvelle étape dans cette voie. Ce document a été préparé à l'initiative de la FAO avec le concours de l'Université de Southampton. Elle se propose, à l'aide d'informations systématiquement recueillies sur le terrain, de mettre à jour et d'augmenter les renseignements de base qui proviennent des projets.

Il est espéré que les informations une fois traitées sur ordinateur, permettront d'établir avec plus de vérité et de finesse, une comparaison entre les tendances présentes des prix unitaires de la mise en valeur par l'irrigation (frais d'investissement, de fonctionnement, d'entretien et de réparation), elles devraient aider le planificateur à travailler avec de plus larges perspectives et à comparer leurs estimations aux coûts des projets existants.

Les ingénieurs africains ont déjà apporté une aide considérable à cette opération et on espère qu'ils continueront à collaborer.

4.6 Etudes du projet et exécution des travaux

Etant enfin arrivés à cette phase où les problèmes apparaissent au niveau du projet, d'importantes décisions devront être prises avant de procéder à l'étude des aménagements. Elles pourront être relatives à:

- l'équilibre des ressources et des besoins en eau,
- la classification des sols,
- au plan des cultures et à l'assolement cultural,
- au nombre de familles qui seront établies dans le cadre du projet,
- à la dimension optimale du lot familial etc.

Très vite, le planificateur aura d'autres décisions à prendre, elles se rapporteront à la phase aval de l'étude du projet. Il devra:

- fixer les modalités d'exécution,
- décider du mode "d'encouragement", par exemple de la participation du secteur privé afin de diminuer les dépenses du secteur gouvernemental,
- choisir l'infrastructure,
- arrêter les dispositions financières à mettre en place.

Dans le cadre de la réalisation du projet de grande envergure, le schéma des décisions à prendre en matière de direction de l'exécution, peut devenir, en fait, embrouillé et complexe.

Depuis quelques années on utilise un nouvel instrument de programmation "l'analyse par graphes" (network analysis), qui forme une sorte de réseau d'activités et de décisions où aucune nouvelle activité ne peut être décidée avant l'achèvement des activités qui précèdent sa décision. Gosschalk (7) figure 3, donne un bon graphe des décisions et des activités relatives à un projet depuis sa mise en oeuvre jusqu'à l'achèvement des travaux.

Il est évidemment impossible, dans le cadre limité de cet exposé, d'étudier en détail les sujets énumérés ci-dessus. Son but est seulement de démontrer d'une façon concrète, que la planification de l'utilisation de l'eau nécessite:

a) Une procédure pluridisciplinaire qui progresse étape par étape et qu'il faut approcher simultanément sous différents angles et avec flexibilité, mais sans perdre de vue les objectifs à atteindre.

b) Une classification logique des décisions directoriales à prendre compte tenu du facteur temps.

c) Un cadre, sur la base duquel les échanges de vues et d'opinions sur les alternatives possibles, peuvent avoir lieu entre spécialistes concernés.

La planification de l'utilisation à petite échelle des ressources hydrauliques ne nécessite pas forcément des opérations aussi complexées que celles illustrées à la figure 3. L'utilisation de la même méthode d'analyse par graphe, pour un objectif unique comme une opération d'adduction d'eau, se réduira à un réseau plus simplifié tel indiqué à la figure 4.

La méthode d'approche énoncée ci-dessus est caractérisée par sa flexibilité, mais pas par son manque de décision. Quel que soit le choix final, il est toujours considéré, à tort ou à raison, comme étant de mauvaise tactique de changer d'attelage au milieu du gué.

Un ingénieur de peu de valeur est en fait celui qui change radicalement les plans et les spécifications d'un projet déjà mis en oeuvre, cela entraîne presque toujours de lourdes dépenses supplémentaires et parfois l'abandon complet du projet.

On a également remarqué qu'il y a avantage à commencer sur une petite échelle et sous forme de projet pilote. En Afrique de l'ouest, cela a été constaté en maintes circonstances. Nous citerons: les pompages dans le Niger au Mali, ou dans le Logone au Tchad; le développement de l'irrigation à partir de puits creusés à la main, de l'exhaure faite à traction animale comme sur les fermettes du Dahomey.

Ces projets à faible dimension ont permis aux petits cultivateurs de se familiariser à la pratique des cultures irriguées de saison sèche. Ces opérations, là où elles ont été bien préparées et mises en oeuvre avec soin, ont démontré qu'elles étaient l'instrument favorable de la formation aux techniques et aux méthodes d'irrigation, du milieu par le milieu, utilisant des matériaux et une technologie locale.

Ils se sont montrés très rentables quand au dernier stade, le projet d'irrigation devenu à grande échelle, aura atteint une certaine vitesse de croissance.

Les projets pilotes (qu'il ne faut pas confondre avec les stations expérimentales), qui peuvent être mis en oeuvre à peu de frais, sont en vérité d'une valeur inestimable pour essayer en vraie grandeur les ouvrages et les pratiques, avant d'investir les larges sommes nécessaires à la réalisation d'un grand projet dans son ensemble.

Construire une agriculture irriguée est une entreprise beaucoup plus complexe et qui demande de plus longs délais que la réalisation d'un projet d'irrigation.

5. CONCLUSIONS

Dans son ensemble on peut dire que:

- l'Afrique de l'ouest est riche en ressources en terres et en eaux,
- de nombreuses techniques ont déjà été appliquées ou sont disponibles pour être utilisées à leur mise en valeur,
- les gouvernements des pays de l'Ouest sont animés du désir de développer ces potentialités,
- le financement international sera de plus en plus ouvert à des investissements de ce genre,
- les perspectives de mise en valeur sur une vaste échelle apparaissent brillantes.

En regardant l'avenir immédiat de la région, on peut cependant identifier des contraintes qui, dans une certaine mesure, seront un frein pour un rapide décollage. Il faut signaler parmi celles-ci:

- le manque d'expérience dans le domaine des cultures irriguées,
- l'absence de techniciens expérimentés à la plupart des niveaux de compétence,
- l'infrastructure et le cadre institutionnel de l'utilisation des ressources hydrauliques manquent de cadres qualifiés et de financements,
- l'absence de programme et de projet d'utilisation des ressources hydrauliques susceptibles d'attirer facilement le financement extérieur,
- enfin, et peut-être est-ce le goulot d'étranglement le plus important, la nécessité d'améliorer les procédures de planification de l'utilisation des ressources en eau.

Une planification moderne des ressources hydrauliques doit être effectivement une méthode dynamique et surtout pragmatique qui:

- a) préconise le principe d'une analyse pluridisciplinaire des besoins en matière de mise en valeur au niveau national, régional et des projets,
- b) nécessite de maintenir continuellement l'équilibre entre les besoins réels et les ressources en eau disponibles afin d'accorder une haute priorité à la mise en valeur de l'eau au sens large du terme,
- c) tend à utiliser efficacement les ressources en eau disponibles si maigres soient-elles, en faisant appel aux techniques et aux technologies dans le cadre de l'environnement local et des conditions socio-économiques,
- d) en conséquence, s'efforce de dégager des leçons des succès ou des échecs par une analyse critique des réalisations passées,
- e) essaye également de tenir compte des contraintes de la mise en valeur, qu'elles soient de nature technique, humaine ou financière,
- f) utilise finalement ces méthodes modernes comme la gestion sélective, l'analyse par graphe, les réseaux d'activités et de décisions pour arriver à définir clairement des stratégies régionales de l'utilisation des ressources hydrauliques. Ces stratégies ont pour but de relier entre elles et logiquement toutes les phases de la mise en valeur des ressources en eau depuis la conception, la planification, l'étude du projet et jusqu'à la mise en oeuvre.

C'est au plan directeur d'indiquer quand et où certaines opérations de mise en valeur doivent être prévues, comment devraient être envisagées les opérations sur le terrain et la fourniture d'équipement et de matériel. Il devrait enfin prévoir un ensemble d'opérations pilotes qui entraîneraient dès le début du projet, et par étapes successives, la participation des usagers des petites exploitations.

L'accent doit être mis sur ce dernier point qui est considéré comme une condition préalable indispensable au succès de la mise en valeur des ressources en eau en Afrique.

ANNEXE I

DESCRIPTION SOMMAIRE DES DIVERSES CATEGORIES DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES
EN EAU EN AFRIQUE DE L'OUEST

Nous allons décrire brièvement les diverses solutions techniques adoptées pour la mise en valeur des ressources en eau et présentant un intérêt pour l'Afrique de l'ouest. Elles relèvent essentiellement de trois grandes catégories:

- i) celles qui sont déjà bien implantées mais pourraient être améliorées;
- ii) celles (marquées d'un *) qui sont en cours d'introduction mais n'ont eu jusqu'à présent que peu de répercussions;
- iii) celles (marquées de **) qui pourraient être sélectionnées en vue d'une plus longue diffusion, mais sont à l'heure actuelle encore inconnues dans la région.

1. Mise en valeur des eaux de pluie

1.1 Récolte des eaux de pluie: Ce procédé, qui consiste à recueillir le ruissellement des eaux de pluie à partir d'un petit bassin de réception amélioré par colmatage, soit pour l'emmagasiner dans des citernes souterraines soit pour transférer directement jusqu'aux champs, est essentiellement inconnu en Afrique de l'ouest. Il est très couramment pratiqué dans le sud de Madagascar. La construction de bassins de réception dans d'autres parties du globe (Etats-Unis) a fourni des eaux de très bonne qualité pour un prix de revient de 0,05 \$/m³.

1.2 Agriculture utilisant les eaux de ruissellement: Cette méthode est déjà très largement pratiquée par les agriculteurs d'Afrique de l'ouest. Ils construisent sur leur champ des buttes ou banquettes qui ralentissent la descente des eaux de pluie vers le bas du champ, ou la retiennent au lieu de la laisser se précipiter vers le bas en entraînant par érosion le précieux sol superficiel (agriculture par microbassins de réception). Dans certains cas, les eaux de crue sont recueillies dans les tronçons supérieurs des cours d'eau puis acheminées par des canaux et ouvrages de terrassement pour être épandues sur les champs adjacents.

1.3 Augmentation des précipitations ou "ensemencement des nuages": Cette méthode est actuellement en cours d'expérimentation en Afrique de l'ouest, sous les auspices du CIEH, mais les résultats ne se sont pour le moment pas révélés décisifs.

2. Mise en valeur des eaux de surface

2.1 Cultures de crue

2.11 Mise en valeur de bas-fonds

C'est une des formes les plus rudimentaires de l'agriculture irriguée dans la région. La dimension des terres ainsi mises en valeur peut aller de quelques vingtaines à plusieurs centaines d'hectares, en fonction du relief local. On pense que le potentiel global est assez considérable et représenterait peut-être 1^o/oo de l'ensemble des hautes terres, au sud de l'isohyète de 800 mm. Ils se présentent sous des formes topographiques diverses mais on préfère bien sûr les vallées plus étendues et plus larges (pente optimale 3^o/oo; pente maximale 7^o/oo). Les frais d'investissement sont de 100 à 200 dollars/hectare.

Mise en valeur

La mise en valeur consiste simplement à améliorer le drainage naturel, en dégagant tous les goulots d'étranglement à l'aval pour faciliter l'écoulement naturel; en creusant de petits canaux secondaires pour obtenir une meilleure répartition des eaux de crue dans les champs amonts et en construisant de petites banquettes sur les champs eux-mêmes pour retenir les eaux de crue, accroître l'infiltration et la conservation de l'eau.

2.12 "Mise en valeur de bas-fonds améliorés"

On possède bien maintenant toute une série de moyens qui permettent d'améliorer les conditions de submersion dans ce type de mise en valeur. Ceux-ci peuvent consister en une série d'ouvrages de dérivation en amont*, destinés à diriger le débit vers des rigoles disposées de chaque côté de la vallée pour irriguer des terres en aval, selon un système en "arête de poisson" ou en une série de petits étangs d'accumulation (barrages fractionnés) destinés à alimenter en eau, en début de campagne, les pépinières rizicoles, ou encore en un réseau plus complexe de petits canaux d'alimentation et de drainage.

Les frais d'investissement peuvent se monter en définitive à 100-400 dollars ou plus à l'hectare, mais les rendements obtenus grâce à ces aménagements hydrauliques améliorés sont susceptibles de passer de 1,5 t/ha (ce qui est peu) à 3 t/ha.

En ce qui concerne la construction, on utilise deux approches parallèles:

- utilisation de la main d'oeuvre dans le cadre d'opérations d'auto-assistance organisées parmi les futurs agriculteurs suivant le schéma ci-après: construction des banquettes (0,75 homme-jour par mètre linéaire à raison de 400 m/ha = 300 homme-jour/ha; défrichage et préparation du terrain à raison de 150 homme-jour, soit un total de 450-500 homme-jour par hectare. Pour ce travail on fait appel à des volontaires, quand c'est possible, et le PAM fournit un appui sous forme d'approvisionnements.

* Diguettes de 0,30 m de hauteur; 1,20 à la base; 0,22 m³ par mètre linéaire.

- On fait **aussi** appel à des unités mécanisées, sous-traitées ou fournies par des entreprises d'Etat (opération SATEC) organisées comme suit: construction des banquettes (à raison de 600 m/h) ou 3/4 h/ha; préparation du terrain (6 h/ha); nivellement (2 h/ha); total 8,75 h, ou 9 h/ha environ; une opération mécanisée de ce genre, à 2,300 Fr/h, coûterait environ 20 000 FCTA/ha, soit 100 dollars/ha. Les frais d'entretien sont évalués à 10 dollars ha/an.

Obstacles

On a rencontré les obstacles ci-après:

- d'ordre technique: touchant la construction elle-même, mais surtout l'entretien des banquettes et le nivellement des champs; l'absence de variétés **adaptées** à un cycle court; la nécessité d'ouvrages de maîtrise de l'eau plus perfectionnés dans les cas où les systèmes de réception en amont entraînent des crues éclaires de dimensions non maniables (plus de 0,5 m de hauteur).
- d'ordre socio-économique: motivation des cultivateurs locaux qui accordent toujours la priorité aux cultures traditionnelles (mil et sorgho, maïs) alors que la "seconde" culture les oblige à modifier leurs habitudes de travail et exige en particulier des ressources énergétiques supplémentaires; la **nécessité** d'introduire la traction animale, une famille ne **pouvant normalement pas** travailler plus de 0,25 ha; problèmes afférents aux régimes fonciers prenant un caractère aigu quand le système de répartition des terres, couramment pratiqué dans le cadre de la culture de jachère traditionnelle, fait place à un système plus stable; conflits d'intérêts entre agriculteurs et pasteurs lesquels font traditionnellement paître leurs troupeaux sur les terres de bas-fonds.
- d'ordre financier: le **financement** est généralement d'origine gouvernemental dans le cadre de plans de prêts au développement rural intégré et, là encore, c'est la capacité des services gouvernementaux d'absorber et d'administrer correctement ces crédits aux agriculteurs qui reste **limités**.

2.2 Submersion contrôlée

221. "Riziculture de submersion contrôlée" type Mali (Ségou-Mopti)

Ce type de mise en valeur caractérise la riziculture sur de vastes terres situées le long des rives du delta intérieur du Niger, au Mali. A l'heure actuelle, quelque 40 000 ha sont irrigués de cette manière, mais le potentiel est certainement de plusieurs fois supérieur. Un rythme de développement de 5 000 ha/an serait réalisable.

Mise en valeur

La mise en valeur consiste à construire des digues insubmersibles, qui permettent d'isoler certaines terres ("polders") des crues du fleuve. Celles-ci sont construites sur des levées, ou tout autre terrain exondé. L'eau est fournie à chaque polder par un canal d'amenée et par des ouvrages de contrôle très simples. A l'extrémité aval du polder, on prévoit des exutoires pour le drainage.

De cette manière, une série de polders se remplit successivement en eaux de crue jusqu'à un niveau déterminé; comme la topographie locale à l'intérieur d'un polder n'est naturellement pas uniforme, la hauteur d'eau réalisable varie en conséquence. Ceci oblige à cultiver toute une gamme de variétés de riz, chacune adaptée à la hauteur d'eau prédominante. C'est ce qui ressort également du croquis ci-joint.

<u>Emplacement</u>	<u>Type de riz</u>	<u>Hauteur d'eau</u>	<u>Rendement moyen</u>	<u>Cycle de la culture</u>
Lisière extérieure	riz dressé	0,15 - 0,50 m	2,0 t/ha	110 - 160 jours
Lisière interne	riz semi-flottant	0,50 - 1,00 m	1,0 t/ha	150 jours
Section inférieure	riz flottant	1,00 - 3,00 m	0,6 t/ha(*)	160 - 180 jours

Il est évident que les rendements dépendent aussi, dans une mesure considérable, de la rapidité avec laquelle les crues montent, le potentiel de croissance du riz variant de 3 cm/jour pour le riz dressé à 5 cm/jour pour le riz flottant.

Les frais d'investissement oscillent entre 400 et 600 dollars/ha. Les coûts d'exploitation et d'entretien sont de 50 à 100 dollars/ha/an.

Obstacles

Les principaux obstacles résident évidemment dans le fait qu'on ne peut contrôler que partiellement les niveaux des crues, leur vitesse de montée ainsi que le niveau auquel on peut les maintenir, les facteurs de contrôle restant toujours le niveau des rivières et l'évaporation.

Il se peut en outre que les cultivateurs locaux ne respectent pas toujours le moment juste pour planter par semis à la main après les premières pluies (la plantule doit avoir au moins trente jours, sinon quarante, quand les eaux de crue sont admis dans les polders).

222. Submersion contrôlée: type Tchad (Satégui-Deressia, Bongor A)

Ce type de mise en valeur consiste en principe à construire un canal principal qui alimente, à partir de la rivière en crue, un bassin de compensation. Depuis ce bassin, on assure une alimentation contrôlée en eau d'irrigation à un certain nombre de "zones de polders" (superficie cultivable totale : 3 800 ha) selon les besoins. Ces polders sont, comme dans le système malien décrit ci-dessus, protégés par des digues contre les crues de la rivière. On construit un réseau de drainage pour faire face aux écoulements d'averses et pouvoir vider les champs avant la récolte.

La principale différence avec le système malien est qu'on arrive ici à mieux maîtriser les eaux de crue et que l'on ne cultive qu'un seul type de riz (variétés courantes).

Les frais d'investissements sont évalués à 1 500 dollars/ha en raison des gros travaux de construction des digues et des canaux.

(*) On a mis au point récemment de nouvelles variétés de riz flottant qui peuvent produire jusqu'à 2 t/ha.

223. Aménagement des marais côtiers

Dans peu de zones de la région, les conditions hydrologiques, pédologiques et topographiques présentent des différences locales créant un milieu naturel aussi varié que celui qui prédomine par exemple dans les basses terres du littoral de la Sierra Leone et de la Guinée. On peut ici observer les interactions du ruissellement provenant du plateau côtier, de l'intrusion des eaux de mer par les fleuves de marée, du contact entre nappes souterraines d'eau douce et d'eau salée, et de la configuration très contrastée des précipitations. Une succession de marais de marée, d'eau douce, de vive eau et de terres viverames est chaque année inondée, à des degrés variables, soit par la mer soit par des eaux de crue.

Il résulte de tous ces facteurs que les terres des zones littorales demandent des mesures de maîtrise des eaux beaucoup plus diverses que toute autre zone de la région. A l'état naturel, donc, ces terres sont généralement considérées comme intrinséquement difficiles à mettre en valeur. Il est surprenant toutefois de constater que fréquemment les cultivateurs locaux ont réussi à les cultiver convenablement par les méthodes traditionnelles. Par des diguettes, ils contrôlent suffisamment l'entrée et la sortie des eaux de crue pour pouvoir obtenir une bonne récolte de riz (avec par exemple des rendements de 1,5 - 2 t/ha) suivant les années. Il s'agit généralement de terres plus élevées, moins exposées à des inondations systématiques et prolongées.

Ce système peut être considérablement amélioré moyennant une maîtrise de l'eau plus complète, incluant parfois le pompage tant pour le drainage que pour l'irrigation permettant ainsi une activité agricole étalée sur presque toute l'année. Mais les frais d'investissements peuvent alors se monter à 1 000 - 3 000 dollars/ha.

2.3 Pompage dans les grands fleuves

Etant donné que jusqu'à présent, en dehors de la digue de dérivation dans le Niger à Sansanding, du barrage de Kaïnji sur le Niger au Nigéria, ou du barrage sur la Volta à Akosombo, on n'a pas encore commencé à employer de moyens importants pour régulariser le débit des grands fleuves; l'agriculture irriguée dépend donc de l'emploi de la submersion contrôlée ou de simples dérivations en rivière telles que celles qui ont été décrites au paragraphe 2.2 ci-dessus.

Dans les cas cependant où la topographie et le régime des cours d'eau ne permettent pas ce genre de mise en valeur relativement peu coûteux, il faudra recourir au pompage à basse pression. Cette méthode, ainsi qu'on le verra plus loin, constitue une solution coûteuse et exige un niveau de compétence supérieur sur le plan de la gestion comme sur le plan technique, pour garder la station de pompage et les réseaux d'irrigation en état de fonctionnement. Le débit d'étiage des rivières qui, en saison sèche c'est-à-dire au moment où l'irrigation est en général particulièrement nécessaire, descend à des niveaux critiques, représente un autre obstacle ainsi qu'on l'a vu de manière dramatique pendant la sécheresse de 1970-74: en juin 1973, le Niger à Niamey avait un débit de 3 m³/s; à Richard-Toll, le Sénégal charriait un débit de 1 m³/s; le Chari à N'Dhamena coulait à 5 m³/s; dans de telles circonstances, et quand toutes les autres ressources sont épuisées, ces rivières deviennent véritablement les "artères vitales" de la région.

Mise en valeur

Les possibilités les meilleures se trouvent peut-être le long du Niger. C'est pourquoi nous allons traiter ici plus en détail le type de mise en valeur que l'on trouve dans cette zone; on peut aisément identifier trois zones géomorphologiques distinctes:

- le lit de la rivière en période d'étiage;
- le lit majeur, inondé pendant les périodes de hautes eaux, dont la largeur peut varier de 200 m à 7 ou 8 km;
- les terrasses fluviales, restes de périodes passées où les débits étaient plus importants mais que les crues n'atteignent plus de nos jours.

On trouve côte à côte deux types de mise en valeur:

i) Dans la plaine d'inondation, on trouve des dépressions (cuvettes) où les sols sont hydromorphes, à texture lourde, et légèrement acides (pH 4,5). Ces sols se prêtent essentiellement à la riziculture et aux cultures fourragères. Il existe toute une gamme de solutions techniques utilisables pour les mettre en valeur; celle à laquelle on a le plus fréquemment recours consiste à construire une digue autour de la dépression de manière à la protéger complètement contre les crues; on nivelle le sol et l'on installe une unité de pompage à basse pression desservant jusqu'à 1 000 ha sous double culture de riz fournissant des rendements de 2,5 t/ha par récolte.

ii) Au-dessus des cuvettes, on trouve les terrasses qui par endroits s'écartent jusqu'à 2 km des cuvettes; leur topographie est plus irrégulière et les types de sol assez variés; elles se prêtent à des cultures très diverses, depuis les céréales et la canne à sucre jusqu'aux cultures fruitières et maraîchères.

En ce qui concerne les investissements ainsi que les frais d'exploitation et d'entretien des cuvettes, on peut considérer les chiffres ci-dessous comme représentatifs (exprimés en francs CFA/ dollars/hectare, aux prix de 1975):

	<u>Francs CFA/ha</u>	<u>Dollars/ha *</u>
Construction des digues	400 000	2 000
Station de pompage	150 000	750
Pompes, vannes, etc.	150 000	750
Canaux d'irrigation	120 000	600
Drainage	60 000	300
Revêtement des canaux	150 000	750
Ouvrages de distribution	200 000	1 000
Routes	70 000	350
Préparation du terrain	300 000	150
Divers	50 000	250
	<u>1 650 000</u>	<u>8 000</u>

* 1975: 1 dollar E.U. = 200 francs CFA

	<u>Francs CFA/ha</u>	<u>Pourcentage</u>
Infrastructure d'entretien	5 175	11.5
Coûts du pompage (voir ventilation des coûts)	14 175	31.5
Amortissement	14 400	32.0
Opérations agricoles	7 875	17.5
Divers	<u>3 375</u>	<u>7.5</u>
	45 000	100.0
	=====	=====

Total : 225 dollars/récolte/ha. Coût du m³ pompé: 2 francs CFA.

Les coûts d'investissement sont naturellement bien inférieurs pour les terrasses car celles-ci n'ont pas besoin d'être protégées contre les crues; ils se montent à environ 1 100 000 francs CFA/ha ou 5 500 dollars/ha. Par contre, les coûts d'exploitation et d'entretien sont supérieurs, du moins en ce qui concerne les frais de pompage (hauteur d'élévation supérieure à 15 m).

Les contraintes relatives à ce type de développement résident donc naturellement dans les coûts élevés d'investissement, d'exploitation et d'entretien. La productivité et les rendements/hectare devront pouvoir se mesurer à des coûts élevés et surtout être compétitifs par rapport (notamment) à la riziculture du type plus traditionnel, même si les rendements de celle-ci sont inférieurs. L'opération, qui mobilise des agriculteurs ne connaissant pas ce type de pratiques culturales modernes, exige donc des apports exceptionnellement importants en services de vulgarisation, engrais, semences et crédit.

A l'avenir (c'est-à-dire d'ici 10 ans) l'obstacle principal au développement de l'agriculture irriguée en période d'étiage pourrait bien se révéler être la pénurie globale d'eau dans les rivières en saison de basses eaux.

2.4 Petits barrages en terre

Les petits barrages en terre sont très répandus au Sahel, en particulier au sud du 13ème parallèle. Ils ont ceci en commun qu'ils sont tous, sans exception, très coûteux (10 000 dollars/ha).

Le volume d'eau ainsi emmagasiné peut varier de quelques centaines de milliers à plusieurs millions de m³, permettant d'irriguer de quelques vingtaines à quelques centaines d'hectares chacun. L'eau est généralement utilisée pour des irrigations d'appoint en saison des pluies et, sur 20 pour cent peut-être des terres qui en bénéficient, elle sert à irriguer des jardins potagers. Les intensités de culture ne dépassent donc que rarement 120 pour cent.

L'un des aspects intéressants de ces petits réservoirs est que l'eau perdue par infiltration se retrouve sous forme de réserves phréatiques peu profondes dans les terrains situés en aval. Il arrive souvent, en saison sèche, que l'on cultive un jardin potager en l'irriguant à la "calebasse", une fois **épuiser le réservoir superficiel.**

A titre de comparaison, l'eau emmagasinée par barrages de taille moyenne revient habituellement à 1,1 - 9 francs CFA/m³, et la superficie sous irrigation peut atteindre de 20 à 35 000 hectares, les frais d'investissement étant réduits ainsi à 3 000 dollars/ha.

2.5 Réutilisation de l'eau: Cette méthode qui consiste à recycler les eaux municipales usées pour les employer pour l'irrigation est essentiellement inconnue ou pas pratiquée. Cependant, des rapports provenant d'autres régions du continent (Rhodésie) confirment que cette technique offre certaines possibilités à condition que les installations fonctionnent correctement.

3. Mise en valeur des eaux souterraines

3.1 Utilisation de la nappe phréatique.

3.1.1. Les polders du lac Tchad.

Système traditionnel

Les zones de terres inondables situées entre les fles dunaires sur la rive nord-est du lac Tchad s'appellent des "polders". Dans les périodes où le lac se rétrécit, de nombreux polders sont exposés et cultivés par les agriculteurs locaux. Dans certains polders, les cultures ne sont pas irriguées mais alimentées par irrigation souterraine grâce à la nappe phréatique proche de la surface.

Dans d'autres cas, on pratique l'irrigation au chadouf. Durant les quelques années qui suivent la mise en culture d'un polder, les rendements sont élevés (par exemple, deux tonnes de blé à l'hectare) mais, dans les zones non irriguées la teneur en sels du sol augmente à mesure que l'eau souterraine remonte vers la surface et s'évapore. Au bout de quelques années, le polder doit souvent être abandonné jusqu'à ce qu'une nouvelle remontée du lac nettoie le sol de ces sels et qu'un retrait consécutif expose de nouveau le polder à la culture. Même dans les polders sur lesquels on utilise l'irrigation au chadouf, le volume d'eau d'irrigation appliqué au sol est généralement insuffisant pour faire descendre les sels et empêcher leur accumulation. C'est pourquoi, les agriculteurs pratiquent une sorte de culture itinérante, se déplaçant d'un polder sur un autre selon que le lac monte ou descend.

Système moderne

On s'est efforcé de moderniser ce système pour parvenir à un type d'utilisation de ces terres plus régulier permettant de profiter pleinement des sols essentiellement très fertiles que l'on trouve dans les polders du Tchad.

Si l'on disposait d'un système d'irrigation plus efficace, on pourrait installer des cultures permanentes dans la majeure partie des zones de polder sur la côte nord-est du bassin méridional du lac Tchad, à condition toutefois d'irriguer suffisamment pour maintenir la teneur en sels du sol à un faible niveau - c'est-à-dire qu'il faut, durant au moins une partie de l'année, assurer un écoulement d'eau descendant à travers le sol vers un système quelconque de drainage situé au-dessous de la zone racinaire. Ce drainage pourrait être la nappe phréatique elle-même mais, dans certains cas, il sera parfois nécessaire de construire un canal de drainage au centre du polder d'où l'on retournera au lac, par pompage, au moins une partie de ces eaux. Quelques années d'expérience après la mise en culture devraient montrer si ces canaux de drainage sont nécessaires.

312. Irrigation souterraine (Ghana)

On utilise, dans la zone des dunes côtières du Ghana, un système similaire d'irrigation utilisant l'eau souterraine contenue dans la zone phréatique. Les cultures d'oignons et les jardins potagers de Keta au Ghana illustrent les bons résultats que l'on peut obtenir avec ce type d'irrigation.

313. Agriculture hydroponique: Ce type d'agriculture tel qu'on le trouve dans les vastes complexes écologiques contrôlés de certains états du Moyen-Orient est pratiquement inconnu en Afrique et ne semble pas devoir s'y appliquer un jour.

3.2 Cultures de décrue

Généralités

Les cultures de décrue représentent un type de mise en valeur qui n'exige à strictement parler aucune intervention technique mais seulement des mesures agronomiques. Celui-ci consiste à adapter le cycle normal de la production agricole aux disponibilités en humidité résiduelle contenues dans le sol des terres inondées par les crues le long des cours d'eau et rivières du Sahel. Elles n'entrent donc dans aucune des catégories d'irrigation; elles n'exigent par conséquent aucun frais d'investissement ni d'exploitation et d'entretien, ou alors ceux-ci sont pratiquement négligeables.

Mise en valeur

On peut distinguer deux types de mise en valeur:

321. Le système sénégalais: avec plantation (**semis direct**) d'octobre à décembre (voire janvier), et récolte en mars/avril; ce système se pratique par exemple dans la plaine alluviale du fleuve Sénégal, de Bakel à Richard-Toll. On rencontre également le système sénégalais dans le sud de la Mauritanie et, dans une bien moindre mesure dans le delta intérieur du Niger, sur les rives occidentales du lac Tchad près du delta de la Komadougou, ainsi que le long du Logone et du Chari. Dans ce dernier cas, quand il s'agit de "sorgho berbère", on pratique le repiquage.

322. Le système malien: selon lequel, on plante le sorgho à mi-chemin entre la saison sèche et la saison humide. A ses débuts, la culture profite de l'humidité résiduelle laissée par le retrait des crues tardives, en février/mars, jusqu'à l'arrivée des pluies en juin/juillet. Ce système se pratique notamment dans le delta intérieur et la région des lacs du Niger, entre Gao et Niamey (20 000 ha), ainsi que sur les rives du lac Tchad, aussi bien du côté tchadien que du côté nigérien (20 000 ha).

Système de cultures de décrue amélioré

On a déjà essayé d'apporter certaines améliorations, sur une échelle restreinte, en construisant des ouvrages de régulation sur les "bras morts" ou "boucles" de la rivière (simple barrage en terre, plus ouvrage de contrôle) qui laissent entrer les crues montantes puis les retiennent. Les terres situées en amont peuvent alors être cultivées selon un système artificiel de "cultures de décrue", tandis qu'on peut irriguer normalement en aval de ces barrages. Le coût total de ce type de mise en valeur se monterait à 500 - 1 000 dollars/ha.

3.3 Puits peu profonds creusés à la main

Ce type de puits, qui fait appel aux méthodes traditionnelles de construction et d'élévation d'eau, reste en fait, étant donné ses nombreux avantages, presque invariablement le système le plus couramment utilisé pour fournir les habitants du Sahel en eau potable et en eau pour abreuver le bétail. C'est également la solution la plus économique, du moins en ce qui concerne l'eau souterraine trouvée à, disons, moins de 25 mètres de profondeur, avec des rendements de $\frac{1}{2}$ l/s. Le rendement moyen d'un puits convenablement construit peut en fait atteindre 20 m³/jour, le maximum étant de 100 m³/jour.

On peut recenser dans l'ensemble de la région, des dizaines de milliers de puits à ciel ouvert creusés à la main, généralement dans les couches alluviales le long des rivières, des cours d'eau et des oueds mais aussi, de plus en plus, dans les roches fracturées et décomposées des massifs cristallins du "socle granitique".

Mise en valeur

Les techniques modernes de construction sont désormais bien implantées; l'équipement nécessaire pour creuser un puits de 1,40 - 1,80 m de diamètre, avec revêtement en béton renforcé et perforé, est simple à utiliser, léger à transporter **jusqu'à des** chantiers éloignés des routes secondaires; les matériaux, exception faite du ciment et des barres d'acier renforcées, peuvent généralement se trouver sur place. On procède actuellement à des essais en vue d'introduire la fibre de verre renforcée pour le revêtement des puits à ciel ouvert.

Les puisatiers de puits africains n'hésitent pas à descendre jusqu'à des profondeurs considérables, parfois même jusqu'à 100 mètres, bien que la moitié de cette profondeur soit habituellement considérée comme la limite pratique.

Le puits à ciel ouvert constitue par excellence le type de mise en valeur susceptible de favoriser "l'investissement humain" de la part des villageois eux-mêmes, sous la conduite d'un maître-puisatier local. Cependant, dans bien des cas, on a plutôt recours à des sous-traitants ou aux organismes gouvernementaux chargés de l'alimentation en eau. Les prix varient considérablement. Le prix moyen d'un puits en béton renforcé (puits à ciel ouvert; diamètre externe: 1,80 m; profondeur, 25 m; durée de service 25-30 ans) arrive actuellement à 250 dollars le mètre linéaire bien que l'on puisse mentionner des prix allant **jusqu'à** 400 dollars et dans un cas en particulier 1 000 dollars/m. Les coûts d'entretien sont de 300 dollars par puits et par an.

La construction est cependant et bien souvent inutilement lourde, exigeant par exemple 15 m³ de béton renforcé au mètre linéaire, là où un puits de village ordinaire, creusé dans les couches cuirassées desservant un petit groupe d'agriculteurs, ne nécessiterait pas l'emploi d'acier mais plutôt des travaux de maçonnerie à base des matériaux fabriqués sur place et entièrement dans les moyens des paysans pour un coût de 25 dollars le mètre linéaire tout au plus, soit 500 dollars pour un puits de 20 m de profondeur.

331. Jardins irrigués (puisage à la main ou puisage attelé).

Le puisage d'eau au moyen de la traction animale, ce que l'on appelle le "dalou" ou "delou", est une solution qui offre un grand intérêt potentiel, permettant d'augmenter facilement la capacité (de plus de 20 fois) jusqu'à 25 m³/jour, ce qui suffit amplement pour irriguer en saison sèche $\frac{1}{4}$ hectare de verger ou de potager. Dans certains cas, on cultive également des cultures fourragères irriguées, de manière que les boeufs de trait restent bien nourris pendant toute la saison sèche. On ne peut s'expliquer pourquoi cette technique n'est utilisée que dans de petits coins isolés du Sahel, comme par exemple les oueds de l'Aïr et des Iforas, et peut-être en quelques autres endroits. Il serait pourtant intéressant d'introduire ce système d'agriculture dans les nombreux cas où l'emploi des boeufs de trait est chose courante, par exemple dans le sud du Mali, en Haute-Volta et au Tchad. C'est ce qu'on a fait dans le nord du Dahomey, où les résultats ont été pour ainsi dire spectaculaires. On y pratique ce système pour cultiver des pommes de terre, des oignons et des légumes, produits particulièrement bien venus à la fin d'une longue saison sèche. Ce genre d'opération ne vise pas seulement à satisfaire des besoins de subsistance mais également à obtenir un revenu intéressant de la vente de ces produits sur le marché local.

332. Abreuvement du bétail

On peut déduire de ce qui précède que le coût du mètre cube d'eau extrait de ces puits en vue d'abreuver le bétail peut varier énormément selon les formations géologiques locales, la profondeur et le rendement du puits, ainsi qu'en fonction du moyen d'exhaure et des installations d'abreuvement choisies. On peut proposer à titre d'exemple les données ci-après:

i) Besoins d'investissement

- puits en béton renforcé
- profondeur: 25 m; à 400 dollars/m: 10 000 dollars
- durée de service: 25 ans en supposant un rendement moyen de 15 m³/jour, soit 5 400 m³/an (volume suffisant pour abreuver 3 000 têtes de bétail (unités bovines tropicales) par jour). Le prix au mètre³ d'eau potentiellement disponible sera de:

$$\frac{10\ 000}{5\ 400 \times 25} = 0,07 \text{ dollar/m}^3$$

ii) Le prix au mètre³ augmente naturellement quand on ajoute des installations auxiliaires telles que des réservoirs pour stocker l'eau et des abreuvoirs en béton:

- coût du puits: 10 000 dollars (durée de service 25 ans)
- abreuvoirs: 120 m de longueur x 50 dollars/m = 6 000 dollars
- réservoirs de 150 m³, à 80 dollars/m³ = 12 000 dollars
- canalisations et divers = 2 000 (durée de service année)
- Total = 20 000 dollars

Le prix au mètre³ de l'eau potentiellement disponible sera de:

$$\frac{20\ 000}{5\ 400 \times 40} = 0,09 \text{ dollar/m}^3, \text{ ce qui porte le total pour une telle installation à } \underline{0,16 \text{ dollar/m}^3}$$

Si cette eau doit être pompée, il faut encore ajouter 0,07 dollar/m³ et l'on arrive ainsi à l'investissement suivant: 0,16 dollar + 0,07 dollar de coûts d'exploitation et d'entretien = 0,23/m³/s, 1 m³ étant suffisant pour 20 UBT/jour. Il est évident que les pasteurs de la zone sahélienne préfèrent s'en tenir à leurs méthodes traditionnelles, à moins que les services gouvernementaux ne fournissent des subsides importants; le problème fondamental reste en général celui de trouver des techniques d'exploitation économiquement plus viables et des dispositifs de puisage d'eau à basse pression que la majorité des paysans, agriculteurs ou pasteurs du Sahel puisse se permettre de construire et d'entretenir.

3.4 Forage en gros diamètre

Les terrasses alluviales situées le long des principales rivières du Sahel, le Niger et le Sénégal notamment, recèlent par endroit des poches aquifères intéressantes dont la plupart sont encore, à ce jour, inexploitées. On ne dispose pas encore de données précises à ce sujet mais la question mérite d'être étudiée plus à fond. L'un de ces aquifères par exemple est situé le long de la Komadougou, dans l'est du Niger. Les sédiments sont généralement constitués de couches de sable fin de 60 m d'épaisseur intercalées de lentilles argileuses. On trouve souvent l'eau à moins de 1 à 5 m, et la nappe est rechargée directement par la rivière en période de crue: elle est en outre d'excellente qualité.

Un sondage équipé d'une pompe à turbine pour puits profond de grand diamètre (50 cm) pénétrant dans l'aquifère jusqu'à une profondeur de 60 m par exemple peut, estime-t-on, s'il est convenablement exécuté, fournir jusqu'à 50 l/s, sinon plus. Ce n'est guère que dans un petit nombre d'endroits au Sénégal, que l'on a jusqu'à présent installé ce genre de forages.

3.5 Forages: en revanche, on trouve plus fréquemment les forages en zone sahélienne, par exemple au Niger, au Tchad et au Sénégal. L'eau ainsi extraite provient généralement des réservoirs aquifères très importants des grès du Continental terminal ou intercalaire mentionnés plus haut.

351. Il s'agit parfois d'eau artésienne et le coût/m³ peut aller de 0,002 dollar/m³ pour un sondage produisant 30 l/s (ou 1 million m³/an) à 0,02 dollar/m³ avec un débit de 1 l/s (ou 32 000 m³/an).

352. S'il faut pomper, le coût double presque - 0,038 dollar/m³ - pour un pompage de 10 l/s à 20 m.

Il faut noter que l'eau pompée est environ 20 fois plus chère que l'eau artésienne.

MESURES POSSIBLES DE CONSERVATION DE L'EAU (eaux de surface et souterraines)

4.1 Couvertures de protection sur les réservoirs, les matériaux légers (polystyrène, cire, béton) ou les alcools aliphatiques ne sont guère ou pas utilisés pour réduire l'évaporation en surface des réservoirs.

- 4.2 Quelques barrages souterrains ont d'autre part été construits dans un certain nombre d'endroits. Il existe des possibilités de développement ultérieur de cette technique, en particulier pour capter l'écoulement souterrain dans les oueds et les kouris de la zone sahélienne.
- 4.3 Réduction de l'évapotranspiration: Là encore, on a mis au point, ces dernières années toute une gamme de méthodes allant de l'emploi traditionnel du gravier à celui de substances comme le papier, le latex, l'asphalte et les paillages huilés pour conserver l'humidité, réduire l'érosion hydraulique et éolienne mais, dans la plupart des cas, les coûts se sont révélés prohibitifs.
- 4.4 La réduction des pertes par infiltration dans les canaux et rigoles ou dans les réservoirs offre des perspectives plus intéressantes et permettrait d'économiser jusqu'à 30 pour cent des ressources en eau.
- 4.5 L'irrigation de goutte-à-goutte constitue vraiment la technique plus avancée en matière d'économie d'eau, mais les coûts sont encore très importants et le fonctionnement des réseaux exigent une compétence technique avancée (pour empêcher leur obstruction par des algues ou des précipités). Ces dernières années, elle a fait son apparition au Sénégal, sur une base commerciale.
- 4.6 Sélection des cultures (variétés mieux adaptées à la configuration locale des précipitations): cette question a été évoquée précédemment; des recherches intensives se poursuivent au plan régional dans l'espoir d'une avance accélérée dans ce domaine.

ANNEXE II

BIBLIOGRAPHIE

1. J.R. Rydzewski "Irrigation Development in Africa South of the Sahara, Potentials and Possibilities" Rapport WS/73702, FAO, Rome, Mars 1968.
2. C. des Bouvrie et J.R. Rydzewski "Food Crops of the Lowland Tropics, with Special Reference to West-Africa chapter" 10 Irrigation Oxford University press (sous presse)
3. C. des Bouvrie "Irrigation Development in Mali, Niger, and Upper Volta" perspective studies of agricultural development in the countries of the Sahelian zone. Rapport ESP/PS/SAH/75/5 FAO, Rome Juillet 1975.
4. ITC UNESCO Centre for integrated surveys. Rapport des Administrateurs, Seminaire, 1973.
5. FAO "Etude critique des petits barrages en terre". Rapport No AT 2429.
6. FAO "Développement de l'utilisation des eaux souterraines". AGL/SF/DAH/3. Rapports techniques 1-3 Rome 1971.
7. EM. Gosschalk, "The Logic of Engineering Planning for Efficient Irrigation" Seminaire International sur les perspectives de l'irrigation en Afrique de l'ouest, IITA, Ibadan 1972.
8. "Stratégie du développement régional de l'eau dans le sud de Madagascar" PNUD MAG 33.

I. 2. FORMULATION ET EVALUATION DE PETITS PROJETS ET DE PROJETS MORCELES D'IRRIGATION
par J.R. RYDZEWSKI.

RESUME

Le présent document commence par analyser brièvement la nature du développement de l'irrigation et les problèmes que pose sa réalisation, puis examine les cas particuliers des petits projets et des projets morcelés. Il s'attache essentiellement à étudier les possibilités pratiques d'appliquer les méthodes modernes d'évaluation aux projets d'irrigation et arrive à la conclusion que dans les conditions actuelles, on ne peut que simplifier à l'extrême. C'est ainsi qu'il suggère, entre autres, pour procéder à une analyse préliminaire, de dériver le "coût économique de l'eau". Une fois posée l'importance du facteur "temps" dans l'évaluation des projets, l'auteur en revient à l'effet des décisions conceptuelles sur la réaction de l'agriculteur et, partant, sur la viabilité du projet.

1. INTRODUCTION

L'auteur souligne à plusieurs reprises qu'il convient, pour éviter tous malentendus futurs, de considérer le terme "projet d'irrigation" comme l'abréviation d'un "projet d'agriculture intensive dans lequel l'humidité du sol au niveau de la racine du végétal est contrôlée par des moyens artificiels afin d'améliorer la production végétale". Ce contrôle s'obtient moyennant une combinaison appropriée de dispositifs d'irrigation, de drainage et de lutte contre les inondations, qui tous exigent d'investir dans des ouvrages techniques pour modifier le milieu physique.

Etant donné la nature des activités agricoles, les avantages découlant de la maîtrise des eaux ne sont pas aussi rapidement et directement évidents que ceux d'un projet industriel (e.g., énergie hydro-électrique). La régulation de l'humidité du sol n'ayant en l'occurrence aucune valeur intrinsèque, il faut la considérer comme l'un, et l'un seulement, des grands intrants de la production agricole. Le planificateur du développement de l'irrigation a le devoir de veiller à ce que tous les autres facteurs de production soient disponibles au même titre. Mais disposer des intrants et les utiliser sont deux choses différentes. La technologie moderne peut, à plus ou moins grands frais, fournir les moyens matériels avec lesquels la terre en question peut être rendue plus productive; toutefois, elle ne peut à elle seule garantir la coopération active dans cette entreprise de ceux dont le travail et les compétences sont les facteurs qui, en fin de compte, permettent de transformer les autres intrants en produits, c'est-à-dire en avantages directs. A signaler avant toute autre chose qu'il s'agit là du travail et des compétences de tous, depuis le haut de la hiérarchie jusqu'au manoeuvre.

L'interaction entre la terre, le capital et la main-d'oeuvre dans cette entreprise agricole s'inscrit dans des limites physiques qui ont été conçues par le planificateur et qui, par conséquent, définissent sur le plan statique ou dynamique, la portée physique du projet. Il peut ne s'agir que d'un simple sous-projet d'un plan de développement plus vaste, ne portant pas uniquement sur le secteur agricole. Le planificateur doit également préciser la façon dont il envisage d'allier les facteurs de production. Ces décisions prises, le projet peut être conçu (formulé sur papier) et son fonctionnement prévu en recourant à une imagination éclairée. Tel est le processus fondamental de la formulation des projets.

Avant de décider des investissements, le planificateur a toutefois besoin de quelque moyen lui permettant de comparer le résultat escompté du projet tel que formulé par rapport aux dépenses que supposent son exécution et son fonctionnement. Cette méthode, qualifiée d'analyse "bénéfices/coûts", devrait en théorie fournir des indications grâce auxquelles le planificateur pourra choisir le projet ou des solutions de remplacement qui répondent le mieux aux objectifs de développement. Cela dépend beaucoup des définitions des termes "coûts", "bénéfices" et "objectifs". Comme il existe une abondante littérature contradictoire sur la signification précise de ces termes dans l'optique des divers concepts de

développement, la tentation est forte, et il faut y résister, de négliger l'évaluation formelle des projets tant que ne sont pas universellement admises toutes les théories d'où en découlent les méthodes. On indiquera brièvement dans le présent document la façon dont on peut procéder en pratique.

Ce que l'on voudrait surtout ici, c'est attirer l'attention sur tout ce que l'on entend par le terme "résultat escompté" évoqué dans le paragraphe précédent. Dès l'instant où des données chiffrées sont mises noir sur blanc pour préciser comment, de l'avis du planificateur, se comportera le projet, on peut à partir de ces données effectuer divers calculs. La première question se pose: Quel est le degré de précision de ces projections? C'est ce que viennent d'examiner Reutlinger (1970), Karpathakis (1970), Pouliquen (1970) et Webb (1970), en partant des principes des probabilités. La question qui suit immédiatement: Que peut faire le planificateur au moment de la formulation de projet pour que ce dernier ait d'autant plus de chances de donner les résultats prévus par l'analyse "bénéfices/coûts"?

2. PETITS PROJETS ET PROJETS MORCELES

Les problèmes soulevés ci-dessus ne sont que trop réels dans le cas des projets intégrés de grande à moyenne portée dont les coûts généraux peuvent justifier financièrement le recours à des experts de haut niveau pour les planifier et les exécuter. Bien qu'avec de petits projets ces problèmes s'amplifient, on hésite quand même, peut-être parce qu'ils manquent de prestige, à les planifier avec le soin qu'il faudrait.

Si toutefois l'on considère les perspectives générales du développement de l'irrigation dans le monde, on a tôt fait de comprendre le rôle que peuvent jouer, dans l'accroissement de la production des zones arides et semi-arides, les petits projets d'irrigation où cette dernière n'a encore jamais été pratiquée à grande échelle, ainsi que le redémarrage de quelques anciens projets (notamment en Asie).

En pratique, le petit projet naît généralement de l'initiative d'une entreprise privée ou s'inscrit dans un programme officiel délibérément planifié. L'existence même de petits périmètres démontre clairement que l'investissement dans l'irrigation peut être rentable pour l'entrepreneur modeste. Ainsi en va-t-il pour les producteurs de café au Kenya qui ont jugé comme une bonne affaire commerciale d'installer l'irrigation par aspersion sur des parcelles de moins de 2 ha. (pour un coût en capital de \$1 800/ha), afin d'accroître leurs rendements de quelque 50 %. L'irrigation à partir de forages et puits de faible profondeur pratiquée en Inde et au Pakistan par de petits groupes d'agriculteurs sert également à illustrer ce point.

Le programme officiellement planifié dont il est question ci-dessus, peut couvrir un large éventail d'activités émanant d'en haut. Dans les pays où l'entreprise privée est encouragée et où les agriculteurs sont désireux d'avoir accès à l'eau d'irrigation, l'Etat peut fournir une aide financière à des particuliers ou à des groupes (e.g. des prêts à faibles intérêts). Là où la direction vient d'en haut, l'Etat peut entreprendre de tels projets sans attendre l'opinion de l'agriculteur sur des terres déjà cultivées ou moyennant des plans de colonisation. Dans les cas d'intervention des pouvoirs publics, les planificateurs centraux tiendront à s'assurer, en recourant à une méthode ou à une autre d'évaluation de projet, que le type de développement proposé sera avantageux pour l'Etat.

L'évaluation de projet sous-entend que l'on a choisi une zone à cette fin. Ce n'est pas là tâche toujours facile lorsqu'on envisage un programme de développement portant sur un grand nombre d'unités séparées les unes des autres. L'expertise fait tout simplement défaut et on ne saurait guère la trouver dans un avenir très proche, pour évaluer chaque unité composante comme un projet distinct et lui donner ou non le feu vert. Comme nous l'avons déjà dit, l'évaluation de projet infère la nécessité de prévoir l'évolution future, ce qui, dans les cas des petites unités est d'autant plus malaisé que le comportement du secteur agricole dépend davantage de la réaction des cultivateurs aux encouragements dispensés.

Dans le cas de ces projets morcelés, le planificateur se trouve en quelque sorte dans un cercle vicieux, en ce sens qu'il veut s'efforcer d'éliminer de son projet les unités non rentables mais comprend que cette non rentabilité peut fort bien tenir à la manière dont il a formulé le projet. Après examen des techniques courantes d'évaluation de projet (i.e., vision du projet dans l'optique nationale), il peut donc être bon de revoir le projet sous l'angle de l'agriculteur, élément-clé de la production.

3. EVALUATION DE PROJET

Décider des investissements en se basant sur un système d'évaluation ou autre du rapport escompté est une pratique qui remonte aussi loin que celle des affaires. Au milieu du 19^e siècle, on considérait en Inde qu'un projet d'irrigation était valable s'il rapportait plus de 10 % du capital investi - rapport plutôt intéressant à une époque où ne sévissait pas l'inflation! Plus tard, on s'est fondé sur d'autres critères, comme par exemple la période à laquelle le projet rapporterait ou le rapport entre l'investissement initial et le profit direct brut annuel en pleine production (sans spécifier le moment où celle-ci se réalise). De nos jours, on convient que s'il s'agit d'introduire le facteur temps, il faut le faire de façon plus rigoureuse.

Les méthodes modernes d'évaluation de projet commencent par énumérer, en unités monétaires, les COÛTS et les BÉNÉFICES escomptés du projet pour chaque année de la période d'étude (horizon temps). Pour relier un "coût" encouru au début de la vie du projet à un "bénéfice" qui se matérialisera plus tard, on recourt à l'actualisation, méthode bien connue dans les milieux de la finance. Cette dernière part du principe inspiré de l'observation de la nature humaine qui, dans notre société, est basé sur le principe qu'un bien ou un service est d'autant plus prisé qu'il est rendu sur le champ et non dans le futur. A noter qu'il s'agit là, non d'une loi de la nature mais d'une description du comportement humain et que l'on ne saurait guère imaginer une société qui ait le point de vue inverse et qui accorde plus de prix au bien-être de ses générations futures qu'à sa propre génération. De fait, l'état d'esprit que sous-entend l'actualisation est évident chaque fois que l'on impose sur les transactions en capital des taux d'intérêt supérieurs à ceux qui sont nécessaires pour compenser la perte de pouvoir d'achat de l'argent du fait de l'inflation.

Sous l'angle numérique, le processus d'actualisation est l'inverse de celui de l'intérêt composé. C'est ainsi que, dans le cas d'un taux d'intérêt/escompte de 10 %, 100 dollars d'aujourd'hui équivaldraient à 110 dollars un an plus tard et, inversement, 110 dollars un an plus tard équivaldraient à 100 dollars d'aujourd'hui.

Dans les analyses "bénéfice/coût" modernes les valeurs des "bénéfices" et des "coûts" sont échelonnées dans le temps puis ramenées à un dénominateur commun en actualisant au début du projet (en général au début de la première année de construction). La valeur actualisée des "bénéfices" est comparée à celle des "coûts", soit par division (rapport bénéfice/coût), soit par soustraction (valeur nette actualisée). La viabilité du projet est indiquée soit par un rapport bénéfice/coût supérieur à l'unité, soit par une valeur nette actualisée positive. Autrement dit, une fois choisi le taux d'escompte, la décision quant à la viabilité du projet est le produit direct du calcul arithmétique. Une autre méthode permet de ne prendre cette décision que plus tard, au cours de l'analyse, en calculant le taux d'escompte; il s'agit du taux de rentabilité interne, selon lequel la valeur actualisée des bénéfices est égale à la valeur actualisée des coûts. Il faut en l'occurrence que quelqu'un spécifie la valeur minimum considérée comme souhaitable pour donner suite au projet.

Une fois acceptée l'influence du temps, telle que l'admet le principe de l'actualisation, les calculs, bien que longs à effectuer autrement, s'établissent simplement et rapidement à l'aide d'ordinateurs. On aurait tort pour autant de croire que l'évaluation des projets est une opération simple. Elle se complique rapidement dès qu'il s'agit de décider (i) de l'unité de compte dans laquelle exprimer les "coûts" et les "bénéfices" et (ii) du taux d'intérêt à appliquer pour l'actualisation. La plupart des projets de développement étant actuellement planifiés cas par cas, le choix du projet peut influencer très sensiblement

sur les progrès de l'économie nationale, notamment dans les pays moins avancés. Conscients de ce fait, nombre d'éminents économistes se sont consacrés à étudier à fond les principes sur lesquels reposent ou devraient reposer les méthodes d'évaluation des projets. On est unanime à reconnaître la nécessité de faire clairement la distinction entre l'analyse financière et commerciale d'un projet et une analyse sociale (ou économique) qui le voit sous l'angle du bien-être général de la nation (de la société).

A noter à cet égard, les travaux de Little et de Mirrlees (1972) et (1974), que l'on continue d'évoquer collectivement sous le titre de "Manuel de l'OCDE", et de Dasgupta, Sen et Marglin (1972) dans leur "UNIDO Guidelines". Il serait présomptueux de vouloir, dans un aussi bref document, expliquer en termes simples le mécanisme de chaque méthodologie. Le lecteur trouvera un résumé du système de Little et Mirrlees dans l'article de Baldwin (1972) et l'explication systématique de la méthode de l'UNIDO dans le document de Hansen (1973). Dasgupta compare les deux (1972).

Les deux méthodes commencent par admettre que dans ce monde économiquement imparfait, les cours du marché sont faussés par les taxes, les tarifs, les subventions, les profits des monopoles, etc., et ne reflètent pas par conséquent les valeurs sociales des facteurs dont se composent les "coûts" et les "bénéfices". Aussi proposent-elles des systèmes pour extrapoler des prix "économiques" (ou "comptables") visant à éliminer ces distortions. Elles suggèrent aussi des moyens pour choisir un taux d'intérêt aux fins d'actualisation qui représente une évaluation sociale relative de la consommation présente et future.

Ceci suffit à montrer qu'une analyse rigoureuse de projet fondée sur les méthodes ci-dessus (méthodes qui, incidemment, tendent à se rapprocher) exige la création dans chaque pays d'un "Office central d'évaluation des projets" hautement capable pour s'assurer que tous les projets peuvent être évalués à l'aide de la même méthodologie. Il serait impossible autrement de classer et de choisir des projets. Mais, comme c'est souvent le cas dans la réalité, la théorie distance la réalité et celle-ci est en l'occurrence entravée par la pénurie de personnel compétent. Pour autant que l'on souhaiterait voir appliquées universellement les méthodes préconisées par Little et Mirrlees ou par l'UNIDO, il serait absurde d'adopter l'attitude de "tout ou rien" à cet égard, alors que des millions d'êtres affamés attendent que l'on décide des projets à entreprendre. De l'avis de l'auteur ce qu'il faudrait faire c'est encourager la création dans chaque pays d'un "Office central d'évaluation des projets", doublé d'un programme intensif de formation à l'analyse de projet, tout en veillant entretemps à introduire dans les calculs d'évaluation des projets tous les moyens techniques nouveaux que permettent les circonstances. Cette optique pourrait fort bien être celle d'un ingénieur qui sait par expérience que, sans admettre beaucoup d'hypothèses de simplification sur le comportement de la nature, il ne pourra jamais construire un barrage, un pont ou un canal! Rechercher la perfection est certes un but des plus louables, mais vu l'urgence des problèmes de développement, on a tendance à venir avec Voltaire que "le mieux est l'ennemi du bien".

C'est bien dans cet esprit que le "British Ministry of Overseas Development" (1972) a publié un "Guide pour l'évaluation des projets dans les pays en développement". Celui-ci, fondé sur la méthode de Little et Mirrlees, suggère un certain nombre de raccourcis pour simplifier l'analyse dans la pratique. Sa préface n'en avertit pas moins le lecteur que toute tentative pour suivre ce guide à la lettre est vouée à l'échec et qu'il importe de se montrer circonspect et ingénieux dans l'application de ses principes généraux au monde réel, sans se préoccuper outre mesure des finesses de la théorie.

L'essentiel ici est d'évaluer les "inputs" et les "outputs". Il faut, dans toute la mesure du possible, les exprimer en termes de prix internationaux les moins susceptibles d'être faussés par les imperfections économiques précédemment évoquées. A cette fin, biens et services sont divisés en "commercialisés" et "non-commercialisés". Si les cours mondiaux des premiers peuvent être obtenus sans trop de difficultés, il faut, avant de pouvoir traduire les seconds en prix mondiaux, examiner l'une après l'autre leurs composantes pour les ranger dans les catégories "biens commercialisés" et "main-d'oeuvre". Cet examen peut aisément prendre les proportions d'un projet de recherche; dans les pays qui pratiquent déjà ce type d'analyse, des "coefficients de conversion" peuvent cependant être fournis

pour transformer les cours nationaux en cours mondiaux des biens non commercialisés et des biens commercialisés moins importants.

L'utilisation des cours mondiaux (ou les devises à la disposition du gouvernement, selon la méthode de Little et Mirrlees) en tant qu'unité de compte (le "numéraire") présente un avantage majeur en ce sens qu'elle élimine le problème de l'évaluation de la monnaie locale en monnaie étrangère. Il est connu que, dans bien des pays, le taux officiel de change ne reflète pas fidèlement la valeur des devises pour l'économie. Si par conséquent, l'analyste de projet n'a pas le temps de faire tous ses calculs en terme de cours mondiaux, le mieux pour lui est de ventiler les composantes en monnaie locale et en monnaie étrangère des intrants et des produits et d'établir le "prix économique" de la composante en monnaie étrangère, ce qui signifie généralement l'application à cette composante d'une plus value (normalement de l'ordre de 20 à 30 %).

L'utilisation des cours mondiaux signifie automatiquement que toutes les taxes locales, les tarifs et les subventions sont exclus, ce qui est logique étant donné qu'il s'agit purement de virements internes qui n'influent pas sur l'allocation nationale des ressources. Dans cette analyse simplifiée, proposée ici comme méthode de base, il importe donc de veiller à exclure ces transferts de fonds. Le coût du carburant dans le cas du développement de l'irrigation constitue un bon exemple. Non seulement ce produit est le plus souvent importé, mais il est aussi fréquemment frappé de lourdes taxes par l'Etat.

Les projets d'irrigation comportent un important apport, à savoir la main-d'oeuvre non qualifiée. Dans les pays moins développés, cette main-d'oeuvre est en général fournie par le secteur agricole de subsistance et ne peut donc guère être utilisée à d'autres fins; dès l'instant où elle est embauchée, elle n'en perçoit pas moins bien souvent un salaire minimum. Idéalement, il faudrait pour l'analyste de projet appliquer un "barème de salaire économique"; la prudence s'impose toutefois, car un "salaire économique faible" risque de favoriser les projets qui ont recours à une importante main-d'oeuvre non spécialisée et, partant, à entraver tous plans visant à encourager la montée d'une catégorie de main-d'oeuvre plus spécialisée dans l'agriculture. Il faut souligner tout de suite que ce n'est pas au planificateur que doit revenir le soin de déterminer le "taux d'actualisation sociale" à appliquer dans son analyse. Ce chiffre doit être arrêté au niveau central et appliqué à tous les projets, sans oublier que les projets agricoles voient leurs demandes de fonds mises en concurrence avec celles d'autres secteurs. Des taux d'actualisation de l'ordre de 8 à 10 % sont courants. Si l'on considère que, au bout de neuf ans, 100 dollars ont une valeur actualisée de 50 dollars avec un taux d'escompte de 8 %, des taux plus élevés ne peuvent que décourager toute solution technique permanente.

On a déjà signalé que, pour être efficace, la formulation de projet doit aller de pair avec l'évaluation de projet. Le promoteur tient à être raisonnablement certain que ses propositions résisteront aux analyses les plus rigoureuses des planificateurs centraux et (ou) des organismes extérieurs de financement. A cette fin, il serait bon qu'il évalue lui-même ses diverses solutions, du moins au niveau de base, comme suggéré dans les précédents paragraphes. On peut acquérir une certaine confiance dans les résultats en vérifiant quelques facteurs critiques bien choisis pour juger de l'effet qu'auront sur la solution finale les variations des valeurs de certains paramètres-clés, comme la valeur des devises étrangères, de la main-d'oeuvre non spécialisée, etc. Il faudrait en outre recourir à des analyses de sensibilité pour prévoir les coûts et les bénéfices ainsi que leur échelonnement.

4. COUT ECONOMIQUE DE L'EAU D'IRRIGATION

Les projets d'irrigation font partie du développement agricole en général qui, à son tour, constitue un des secteurs du développement national. C'est pourquoi, les décisions quant aux cultures à pratiquer (en fonction des possibilités de la terre et du climat) dépendent en grande partie de la politique du Gouvernement. C'est pourquoi, le promoteur du projet d'irrigation jugera peut-être commode, dans un premier temps, de simplifier le "problème output" dans ses analyses préliminaires en supposant que le "bénéfice" de son

projet consiste en un volume annuel garanti de l'eau fournie à la terre (e.g. 18 000 m³/ha/an), et que la valeur actualisée du "flux de coûts" sur la période d'étude peut être exprimée en unité d'eau fournie. En établissant ainsi l'aspect "bénéfice" de l'analyse "bénéfice/coût" on est ramené à un problème de "coût/efficacité".

L'auteur a trouvé utile, après avoir admis l'hypothèse d'une alimentation annuelle en eau de $V \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$, d'imaginer que cette eau est effectivement vendue au prix de x/m^3 , x étant exprimé dans "l'unité de compte" appropriée. Vx devient alors le "bénéfice" annuel du projet pour chaque année après son achèvement. En calculant la valeur actualisée de ce flux "bénéfices" et en l'égalisant à la valeur actualisée des coûts précédemment établie, on obtient le coût fictif " x ". Si, en d'autres termes, on vendait l'eau à ce taux, le projet aurait un rapport "bénéfice/coût" de 1. Ce raisonnement a pour but de démontrer encore plus clairement que chaque mètre cube d'eau d'irrigation comporte un coût, tout aussi réel que le coût d'un sac d'engrais ou d'un bidon de pesticide.

Un exemple de ce type de calcul ne serait pas mauvais. Prenons un projet qui repose sur le pompage d'eau souterraine à partir d'un puit unique. Sur 20 ha., une pompe actionnée par moteur diesel de 20 cv, débite 40 litres/s à une pression de refoulement de 20 m. Elle fonctionne pendant 2 500 heures par an (soit un débit de 360 000 m³/an ou de 18 000 m³/ha/an) et consomme 12 500 litres de carburant au prix de \$0.35/litre. Le coût du puits est de \$30 000 avec une durée utile de 20 ans et celui du dispositif pompe/moteur \$15 000 avec une durée de 10 ans. Le coût annuel des pièces de rechange et du lubrifiant se monte à \$2 375 et celui de l'exploitation à \$3 900. Les coûts de la distribution d'eau, du nivellement et du drainage sont estimés à \$1 000/ha, soit \$20 000 par pompe desservant une superficie de 20 ha. On suppose que le débit maximum de l'eau est utilisé à compter du début de la deuxième année. Si l'horizon-temps est de 20 ans et le taux d'actualisation de 9 %, la valeur actualisée des "coûts" est de \$163 000, tandis que celle de la "vente" de 360 000 m³ d'eau par an est de \$2 956 000 x . Le coût économique de l'eau, x , est de \$0.055/m³ (soit \$990/ha/an). Ce calcul est effectué sans établissement de "prix économiques" pour lesquels il aurait fallu tenir compte avant tout de l'importante composante "devises" d'un projet de pompage.

Les calculs simples ci-dessus permettent de se faire une idée approximative du coût économique de l'alimentation en eau d'irrigation. Sa valeur économique pour le pays (ex. cultures) dépend de l'emploi qu'il en fait. Il est bon d'avoir une idée de ces chiffres avant de décider du prix à fixer effectivement. Cette question sera brièvement abordée dans les paragraphes suivants.

5. FORMULATION DU PROJET

Lorsqu'on établit le flux des "coûts et avantages" pour l'évaluation de projets d'irrigation, il est bon de considérer les prix de revient à l'exploitation comme des avantages négatifs, et ce pour deux raisons essentielles. En premier lieu, les coûts du projet en capital doivent parfois être assurés avant que ne commence la production agricole et les dépenses renouvelables ultérieures sont étroitement associées aux investissements de capitaux. En second lieu, les estimations les plus exactes des avantages d'un projet reposent généralement sur l'étude détaillée des budgets agricoles prévus des unités caractéristiques englobées par le projet. Par ailleurs, il est indispensable, dans les régions qui peuvent pratiquer l'agriculture ou l'élevage sans irrigation, de mesurer les avantages du projet en comparant les situations telles qu'elles se présenteraient en cas "d'existence du projet" ou de "non-existence du projet" sur une durée de temps déterminée.

Ainsi, consciemment ou non, le processus de l'analyse "bénéfice/coût" oblige le planificateur à étudier la situation présente et future de l'agriculture dans la zone du projet. Bien que cette analyse s'effectue autant que possible en termes de valeurs économiques (sociales), les données dont sont dérivées ces valeurs sont initialement exprimées en cours du marché. Le planificateur a ainsi une excellente occasion d'examiner le projet du point de vue de l'agriculteur qui, en fin de compte, sera l'agent de la production. Ce dernier se préoccupera avant tout du rapport financier de cette entreprise (peut-être nouvelle pour

lui) en pesant soigneusement le relèvement espéré de son revenu par rapport au travail plus intense et à la discipline plus grande qu'exigent l'agriculture irriguée.

Nous sommes ainsi ramenés à l'un des problèmes majeurs des petits projets et des projets morcelés, à savoir leur gestion. A l'échelle des opérations de projets plus vastes et compacts, il devrait être possible de mettre sur pied une structure administrative et consultative efficace pour aider l'agriculteur à tirer le meilleur parti des intrants (dont la main-d'oeuvre) et maximiser ses profits. La chose est beaucoup plus difficile avec des unités plus petites et dispersées, car en l'occurrence, les décisions non éclairées de l'agriculteur lui-même joueront un rôle décisif dans les résultats du projet. La responsabilité est donc bien plus lourde pour le planificateur du projet qui doit faire appel à tout son savoir et à son imagination pour évaluer avec le plus grand soin les stimulants à prévoir pour rendre attrayante l'agriculture irriguée, non seulement pendant les premières années du projet, mais aussi parce que l'expansion générale du pays hors de l'agriculture ouvrira toujours plus de possibilités d'emplois lucratifs.

Il s'agit de prévoir, lors de la formulation du projet, les conditions susceptibles de renforcer les chances pour le projet de donner les résultats escomptés. Les conditions variant d'un pays à l'autre, il n'est pas possible de dresser une liste définitive de facteurs techniques ou autres, associés au problème. De plus, maints de ces facteurs émergeront au cours des débats de ce séminaire. L'auteur se bornera donc à examiner trois aspects étroitement liés aux solutions techniques proposées: taille de l'unité agricole, garantie de l'alimentation en eau et prix de l'eau.

Les décisions en matière de taille de l'exploitation sont de grande portée. On peut même aller jusqu'à dire que sous l'angle de la planification on ne saurait dissocier la taille de l'exploitation et revenu de la famille agricole. S'il est vrai que, en l'occurrence, la culture pratiquée compte pour beaucoup, il ne faut pas oublier que les projets d'irrigation sont censés durer bien au-delà de l'horizon temps de l'analyste et que la demande de cultures peut évoluer. De la taille de l'unité agricole dépendent le fonctionnement des systèmes d'irrigation et le choix de méthodes possibles d'application de l'eau (ex: dispositions pour l'emmagasiner pendant la nuit, arrosage à flèche, etc.).

Les variations des quantités d'eau disponibles des fleuves et des nappes aquifères n'ont rien de nouveau pour les africains de l'Ouest. A partir des données hydrologiques fournies, il faut décider la limite de sécurité du débit d'eau d'irrigation à fournir aux agriculteurs. Parfois, on exprime la probabilité qu'il se produira une pénurie d'eau en termes de, par exemple, deux ans sur dix. Ceci peut avoir une certaine élégance arithmétique, mais ne veut rien dire pour l'agriculteur. En premier lieu, la probabilité d'un déficit annuel n'a guère de signification si elle ne dénote pas en même temps à quelle stade du cycle végétatif des cultures il aura lieu. En second lieu, l'agriculteur durement frappé par deux années de sécheresse consécutives risque d'être ruiné et de devoir quitter la terre. Les conséquences des pénuries d'eau se font ressentir davantage dans les petits projets que dans les grands, du fait qu'ils ont rarement recours aux conseils d'experts pour tirer le meilleur parti possible de conditions sub-optimales. Le planificateur doit donc faire preuve de prudence quand il estime les besoins en eau d'irrigation par hectare pour les petits projets.

Comme nous l'avons déjà vu, dans le dernier paragraphe de la section 4 ci-dessus, d'après l'auteur, le prix de l'eau est un facteur différent de son coût et de sa valeur. De son avis, le niveau des redevances devrait être associé à la valeur effective de l'eau pour l'agriculteur, plutôt qu'au coût de sa fourniture. Autrement dit, ces redevances devraient être une sorte de taxe imposée sur les bénéfices de l'agriculteur. Si l'on considère le développement de l'irrigation dans l'optique d'un objectif national du secteur public, les projets d'irrigation, à condition d'être convenablement entretenus, deviennent un bien public, au même titre que les routes, les écoles et les hôpitaux. Il n'y a donc aucune raison que leur coût soit assumé entièrement par leurs bénéficiaires directs. Il est vrai que les taxes pour eau d'irrigation servent à encourager l'utilisation efficace de l'eau, mais leur montant devrait reposer sur un barème national et non pas être établi pour chaque projet. Ceci pourrait signifier que les agriculteurs qui se trouvent sur des terres dont

l'irrigation est peu coûteuse, devront subventionner ceux qui sont moins bien placés. Le concept, souvent avancé, que les agriculteurs devraient couvrir au moins les frais d'exploitation et d'entretien entraînés par la fourniture de l'eau n'est guère logique puisqu'il favoriserait les agriculteurs participant à des projets à fort investissement de capital et faibles frais de fonctionnement (ex: grand barrage pour l'alimentation d'un système par gravité) et rendrait l'eau très coûteuse pour ceux participant à de petits projets de développement (ex: irrigation par pompage).

Dans le cas des projets morcelés, comme par exemple la mise en valeur des marais dans les vallées intérieures ou les petits projets de développement moyennant des pompes élévatoires de faible hauteur le long d'un cours d'eau principal, c'est souvent le projet qui va vers les agriculteurs et non pas, comme pour les grandes unités, les agriculteurs qui vont vers le projet. C'est pourquoi, dans les enquêtes sur les sols et les ressources en eau aux fins d'études de pré-investissement, il faut aussi tenir compte de la "qualité de l'élément humain". Conditions physiques mises à part, la réussite d'un projet de mise en valeur d'un marais, ou d'une "cuvette" dépend de la réaction des agriculteurs aux propositions (stimulans) des planificateurs. Vu que l'évaluation de ce facteur constitue un problème socio-économique complexe, des recherches sont en cours pour élaborer des méthodologies appropriées.

6. CONCLUSION

Les méthodes d'évaluation de projet modernes, bien que perfectionnées et automatisées, ne peuvent aboutir à des conclusions que grâce aux résultats des calculs effectués à partir des données fournies par le planificateur. Tout perfectionnement ultérieur de ces méthodes est pour ainsi dire inutile. Les efforts doivent surtout viser à assurer que, grâce à une conception éclairée et ingénieuse, les résultats effectifs du projet seront aussi bon que les résultats escomptés par les analystes.

7. REFERENCES

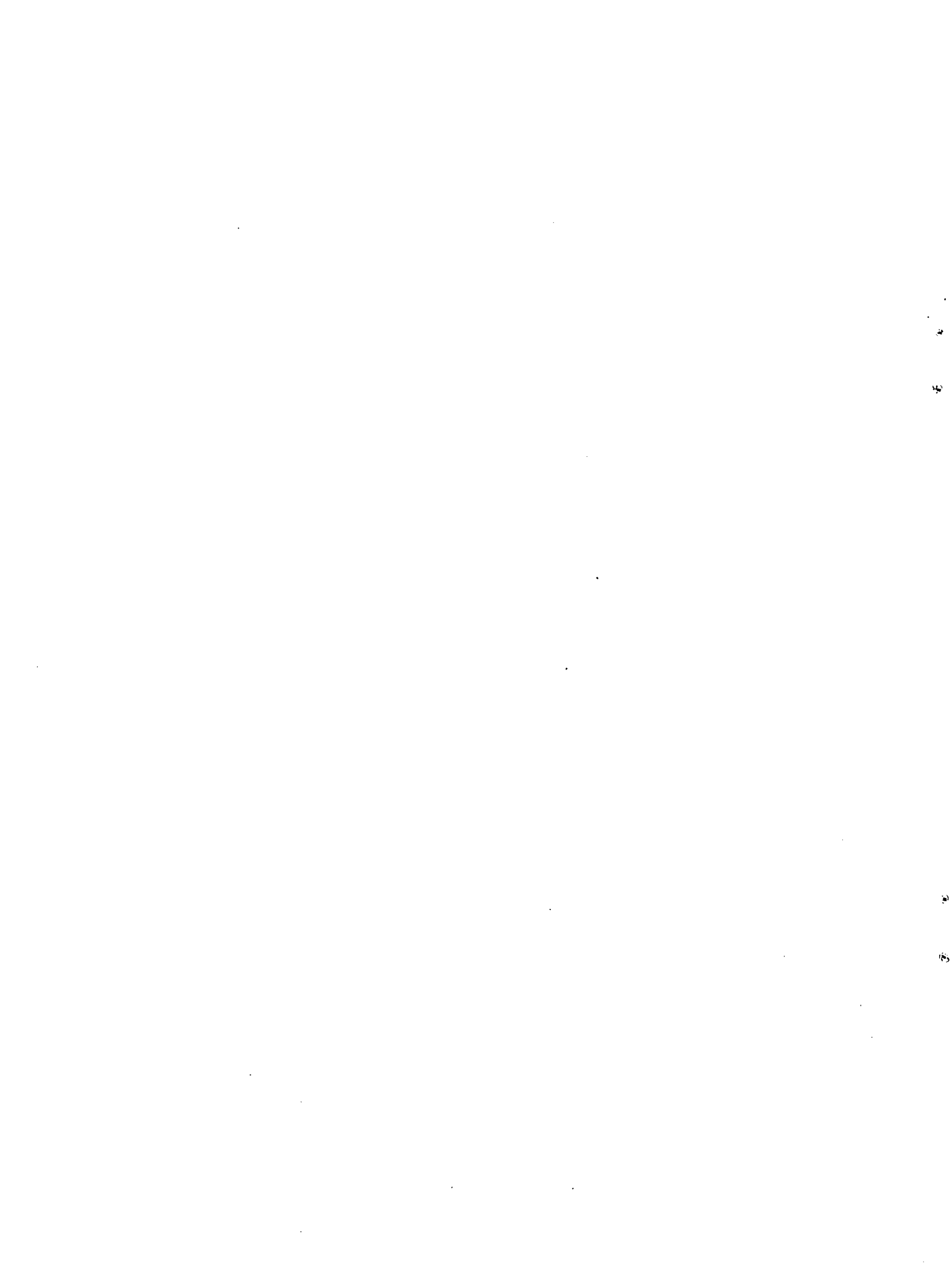
- | | |
|---|--|
| Baldwin, G.B.
(1972) | Guide de Layman sur Little/Mirrlees, Développement et Finance, Vol. 9 No. 1, BIRD, Washington, Mars 1972. |
| British Ministry of Overseas Development (1972) | Un Guide pour l'évaluation de projets dans les pays en voie de développement, H.M.S.O., Londres. |
| Dasgupta, P.
(1972) | Une analyse comparative entre le guide UNUDI et le manuel de l'OCDE, Bulletin de l'Institut d'économie et des statistiques d'Oxford, Vol. 34, No. 1, Février 1972. |
| Dasgupta, P., Sen, A. and Marglin, S.A.
(1972) | Guide pour l'évaluation des projets, Nations Unies. |
| Little, I.M.D. and Mirrlees, J.A.
(1972) | Manuel d'analyse des projets industriels dans les pays en voie de développement, OCDE, Paris. |
| Little, I.M.D. and Mirrlees, J.A.
(1974) | Planification et évaluation de projets pour les pays en voie de développement, Heinemann, Londres. |
| Karpathakis, A.
(1970) | Quelques aspects de l'évaluation des projets d'irrigation, thèse M.Sc., Université de Southampton, G.B. |
| Pouliquen, L.Y.
(1970) | Analyse des risques de l'évaluation de projets, note de la Banque Mondiale No. 11, Washington. |

Reutlinger, S.
(1970)

Les techniques pour l'évaluation de projets incertains, Banque Mondiale, Note No. 10, Washington.

Webb, A.J.
(1973)

Analyses économiques de projets d'irrigation à partir des méthodes et échantillonnage, thèse M.Sc., Université de Southampton, G.B.



I. 3.1. LES TRAVAUX DE PETITE IRRIGATION ET SA PLANIFICATION, PAR C.S. BABINI

RESUME

Dans la première partie on essaie d'établir quelques critères sommaires pour distinguer les aménagements de petite irrigation des grands aménagements.

Dans la deuxième partie, une séquence simplifiée d'un processus de planification est présentée, pour montrer la relation existant entre un projet de petite irrigation et une planification nationale ou régionale. Un exemple très simplifié complète l'exposé.

1. INTRODUCTION

Les aménagements de petite irrigation ont été tour à tour sousestimés par rapport aux grands projets, ou présentés comme une solution idéale à tous les problèmes de l'irrigation.

Les uns se posent la question de l'impact réel sur l'économie d'un pays de travaux individuellement modestes, généralement dispersés dans l'espace; les autres y reconnaissent une voie simple pour le développement rural.

S'il est vrai que des efforts ponctuels dans ce domaine n'ont qu'une faible signification au niveau national et régional et que le problème doit être traité à une échelle suffisamment large et inscrit dans un programme intégré de développement, il n'en reste pas moins que la petite irrigation a été et est encore à la base d'une irrigation plus développée, celle-ci ayant évolué avec les conditions socio-économiques des pays en cause (France, Italie, Espagne etc.). Elle sert d'école aux agriculteurs et de banc d'essai aux services agricoles, elle contribue à créer une infrastructure de développement sans laquelle les succès des grandes réalisations sont douteux.

La simplicité des petits aménagements hydro-agricoles n'est qu'apparente. En effet, bien qu'il ne s'agisse souvent que d'ouvrages techniquement simples et de faible coût de construction, la clé du succès réside dans la participation de plusieurs disciplines et des intéressés dès la conception de chaque système jusqu'à son exploitation et entretien postérieurs. Ceci implique la connaissance des ressources potentiels (sols, eaux), de l'agronomie et du potentiel humain, ainsi que des moyens et techniques à mettre en oeuvre pour introduire ces améliorations dans le milieu rural.

C'est par la convergence de facteurs techniques, économiques et sociaux que la petite irrigation peut obtenir ses meilleurs résultats et une signification réelle.

2. CRITERES DE DEFINITION DU PETIT AMENAGEMENT HYDRO-AGRICOLE

S'il est facile de définir une réalisation, telle celle d'Assouan sur le Nil, comme un grand projet et un barrage collinaire comme un aménagement de petite irrigation, il est moins aisé d'établir une frontière nette entre les deux, à mesure que les grandeurs convergent, du fait de la diversité et de l'intensité respective de facteurs entrant en jeu.

S'il est difficile d'établir une ligne nette de partage entre la grande et la petite irrigation (ou grands et petits aménagements hydro-agricoles, ou encore la grande et petite hydraulique), on peut tenter de définir des limites pour chacune d'elles, déterminées par quelques critères sommaires:

- i. Extension des périmètres
- ii. Coût des investissements
- iii. Complexité technique de l'aménagement.

i. Extension des périmètres

- grands aménagements: plusieurs milliers d'hectares;
- petits aménagements: de quelques hectares jusqu'à la centaine comme ordre de grandeur.

Ce critère est en général respecté. Les exceptions ne manquent cependant pas; c'est le cas de certains réseaux maillés en Espagne p. ex. entièrement automatisés avec livraison à la demande, dont la surface est de l'ordre de 200 à 500 ha. Aussi au Bas-Rhône-Languedoc, en France, des réseaux du même type semblent s'orienter vers des surfaces maximales de l'ordre du millier d'hectares.

Il est évident que malgré la surface plutôt modeste de certains de ces aménagements, leur degré de complexité et de haute technicité ainsi que les coûts des investissements ne permettent pas de les considérer comme de petits aménagements. L'inverse ne se vérifie pas, car les grandes surfaces comportent toujours la manipulation de débits importants imposant un équipement de distribution compliqué et une gestion plus complexe.

ii. Coût des investissements

Le coût de l'investissement à l'hectare en tant que critère de comparaison a perdu une bonne partie de son sens tout au moins entre pays. Ceci est dû au désordre monétaire international et à la crise énergétique qui se répercute sensiblement sur les coûts de matériels et des équipements de construction. Aussi, dans de nombreux pays en voie de développement, les rares entreprises de génie civil qui ont en général une capacité limitée, exercent souvent un monopole qui contribue à faire élever les coûts.

Ainsi voit-on le coût de l'investissement à l'hectare d'un petit aménagement hydro-agricole de 60 ha en Afrique alimenté par pompage à faible hauteur à partir de la rivière, avec des débits sur les canaux principaux de l'ordre de 100 l/s et sans travaux de nivellement, s'élever à 1 960 US\$ avec les prix en vigueur en Novembre 1974.

D'autre part, les deux aménagements automatisés en Espagne dont on a fait mention plus haut, alimentés en eau souterraine par pompage, et équipe complètement automatisé, montrent un coût moyen à l'hectare de 1 303 US\$ (prix de 1972-73).

Cette disparité invite à la prudence dans la comparaison d'aménagements hydro-agricoles basée sur le coût de l'investissement à l'hectare. On peut cependant adopter les chiffres indicatives suivantes comme ordres de grandeur pour définir la petite irrigation, à l'intérieur d'un même pays:

Grands aménagements par gravité:

avec barrages réservoirs ou de dérivation importants, tête morte importante et canaux de distribution. Pour des périmètres de plusieurs milliers d'hectares 4 000 US\$/ha et au-delà

Petits aménagements:

- dérivation d'un petit cours d'eau, sans ouvrages de tête, barrages collinaires, avec canaux de distribution. Surfaces de l'ordre de la dizaine d'hectares 50 à 500 US\$/ha
- alimentation par pompage à faible hauteur (5-10 m) 500 à 1 000 US\$/ha
- alimentation par forage profond (60-80 m) 1 500 à 2 000 US\$/ha
- même alimentation avec réservoir d'accumulation 2 000 à 3 000 US\$/ha

iii. Complexité technique de l'aménagement

Dans les grands aménagements hydro-agricoles, le fait d'avoir à manipuler des débits importants sur une grande étendue oblige à adopter des dispositifs plus ou moins complexes allant jusqu'à l'automatisation complète du système, de façon à rendre la gestion efficace et économique. On doit inclure ici les systèmes d'irrigation goutte à goutte, lesquels malgré le fait d'être en général pratiqués sur des surfaces réduites, demandent une haute technicité aussi bien à niveau de l'infrastructure que de l'exploitation. Tout ceci fait que dans le cas des grands aménagements, il n'ya guère des possibilités d'intervention directe de l'intéressé - l'agriculteur - dans les travaux d'équipement et de gestion du périmètre; ils doivent être confiés à des entreprises ou services spécialisés.

Par contre, les petits aménagements se caractérisent par la rusticité et simplicité des ouvrages ce qui explique son coût de construction et les faibles surfaces contrôlées. La possibilité de participation des intéressés dans la construction et la gestion des aménagements est peut-être la particularité la plus significative de ce type de mise en valeur.

3. CONCEPTION ET PLANIFICATION DE LA PETITE IRRIGATION

On a défini la planification comme un essai organisé pour la sélection de la meilleure alternative adressée à atteindre un but spécifique.

Pour que la petite irrigation atteigne une importance régional ou national, elle doit être conçue et planifiée dans le cadre du développement socio-économique de la région ou de la nation, suivant une séquence qui ne diffère pas d'un processus normal de planification, tel qu'indiqué dans le figure 1.

Dans le processus schématisé on peut distinguer trois aires: une aire politique, une aire de planification proprement dite et une aire de réalisation (engineering). On s'arrêtera sur les deux premières, la dernière partie de la troisième aire étant un problème couramment résolu par les ingénieurs (projet final, construction, gestion). Si on admet que l'objectif fondamental est de satisfaire un besoin ressenti (1) par la population, celui-ci sera détectée et exprimée en termes d'objectifs sociaux (2) par le gouvernement. En général, cependant, ces objectifs sont définis en termes généraux et d'une façon imprécise. Il appartient donc aux techniciens de traduire ceux-ci dans un langage concret, autrement dit sous la forme d'objectifs techniques, d'engineering (3).

Une fois que l'ingénieur et les techniciens associés ont défini les objectifs techniques, ils procèdent à la collection et l'élaboration des données de base (topographiques, hydrologiques, agronomiques, économiques, sociaux, etc.). En faisant l'analyse de cette information on doit prendre en ligne de compte une estimation des évolutions prévisibles (démographie, économie de la région, marchés etc.). Cette analyse devrait faire ressortir les contraintes sous lesquelles il devra préparer les projets.

Muni des objectifs bien définis et des informations de base nécessaires, l'ingénieur est à même de formuler des solutions alternatives à niveau d'études préliminaires ou d'avant-projets, selon leur complexité. Il est important que plusieurs solutions soient considérées à ce stade pour deux raisons au moins: d'abord, l'ingénieur agissant à priori ne sait pas quelle sera la meilleur solution définitive, donc il est convenable d'avoir plus d'une pour évaluer et comparer. Ensuite, le projet ayant d'autres disciplines qui interviennent dans le but commun d'atteindre un objectif social, il doit être possible aux secteurs intéressés d'avoir une voix dans la sélection finale parmi les projets alternatifs à réaliser. Cette phase se concrétise par la préparation d'un rapport des plusieurs projets alternatifs, factibles du point de vue de l'engineering, avec dessins préliminaires et estimation des coûts.

Il se peut qu'à ce stade, des informations supplémentaires soient nécessaires ou que certains projets se soient quelque peu éloignés des objectifs fixés. Une révision est donc à conseiller à ce niveau. C'est le sens de la flèche montant de (5) à (3) dans la figure 1.

Une fois les projets alternatifs révisés, on arrive à la sélection du projet le mieux adapté (6).

Lors de cette phase la participation des techniciens de toutes les disciplines concernées est impérative, notamment ingénieurs, agronomes et économistes. Ils doivent faire la sélection finale en tenant compte des exigences de chaque domaine ce que permet de façon optimale de satisfaire les besoins sociaux à l'origine du processus.

Les phases suivantes, avec le projet déjà sélectionné, consistent en la préparation des dessins et calculs complets des travaux de génie, définition des modalités d'intervention des intéressés dans la construction, définition des modes de gestion et d'entretien, etc. (7).

Le résultat de cette phase doit être un rapport complet des travaux à réaliser, avec dessins définitifs et plans de détail, avant-métré et dévis des travaux, et spécifications de l'équipement mécanique à installer éventuellement. Des indications doivent être données sur les cultures à irriguer, méthodes d'irrigation, modes de distribution de l'eau, organisation des agriculteurs pour assurer la construction des ouvrages avec un maximum de participation directe de leur part, ainsi que le fonctionnement et l'entretien postérieure du périmètre.

L'étage suivant, construction (8) et gestion (9) relèvent de la supervision de la bonne marche des activités selon le projet final approuvé et de l'introduction de modifications éventuelles conseillées au fur et à mesure de l'avancement des travaux ou de l'expérience acquise dans les premiers temps de gestion.

4. UN EXEMPLE simplifié pourrait être le suivant:

- (1) Besoins sociaux: A niveau régional, la population rural a besoin d'augmenter la production d'aliments de base (riz, p. ex.) de façon à améliorer la diète actuelle et tenir le pas à l'accroissement démographique.
- (2) Objectifs sociaux: Ce besoin ressenti par la population est détecté par les autorités régionales, qui définissent l'objectif: accroître la surface irriguée de 10 % par an. Cet objectif doit permettre, outre à l'augmentation de la production, la création de nouveaux emplois, contribuant ainsi à la fixation de la population autochtone.
- (3) Objectifs techniques: L'objectif social, interprété par les techniciens, se traduit en langage concret: la construction d'un périmètre irrigué de 100 ha. environ, permettant une double culture annuelle de riz, dans des bonnes conditions de maîtrise et de disponibilité d'eau.
- (4) Les données de bases: Celles existantes sont recueillies, et les manquantes sont élaborées:
 - topographie
 - climatologie
 - hydrologie
 - hydrogéologie
 - génie civil
 - agronomie
 - économie

(5) Plans alternatifs: Deux projets alternatifs sont établis au niveau de l'étude préliminaire, avec la collaboration notamment des ingénieurs, agronomes et économistes, comprenant dessins et plans semi-détaillés, estimation des volumes des travaux et des coûts. L'alternative consiste dans le mode d'alimentation du réseau, toutes choses égales par ailleurs:

- Alternative 1: alimentation en eau superficielle, par dérivation à partir d'une rivière permanente coulant à une certaine distance du périmètre, ce qui demande un canal de tête morte d'une certaine importance.
- Alternative 2: alimentation en eau souterraine, au moyen de 5 forages (50 m de profondeur en moyenne) équipés de groupes moto-pompes.

La présentation définitive des plans alternatifs a été finalisée après avoir constaté l'absence de certaines données hydrologiques et hydrogéologiques complémentaires, qui ont été obtenus par la suite.

(6) Sélection du plan: Avec l'intervention de tous les techniciens, des représentants de l'autorité régionale et des agriculteurs intéressés, a été sélectionnée l'alternative 1 parce que, à résultats semblables, offre les avantages suivantes:

- permet une utilisation sensiblement majeure de main d'oeuvre locale;
- permet une autonomie presque totale de gestion, provision de combustible pour les pompes, pièces de réchange, entretien mécanique, etc.);
- permet une épargne importante de matériel importé (pompes, moteurs, tuyaux, etc.), donc de devises;
- l'amortissement des structures est beaucoup plus long, contribuant à abaisser le prix de l'eau;
- l'entretien de l'ensemble du réseau peut se faire directement par les intéressés.

(7) Projet final: Le projet final réunit dans un dossier, outre les études et les plans définitifs et détaillés du périmètre, l'avant-métré et le devis des travaux, les modalités et l'organisation de la participation des agriculteurs dans la construction et la gestion du périmètre.

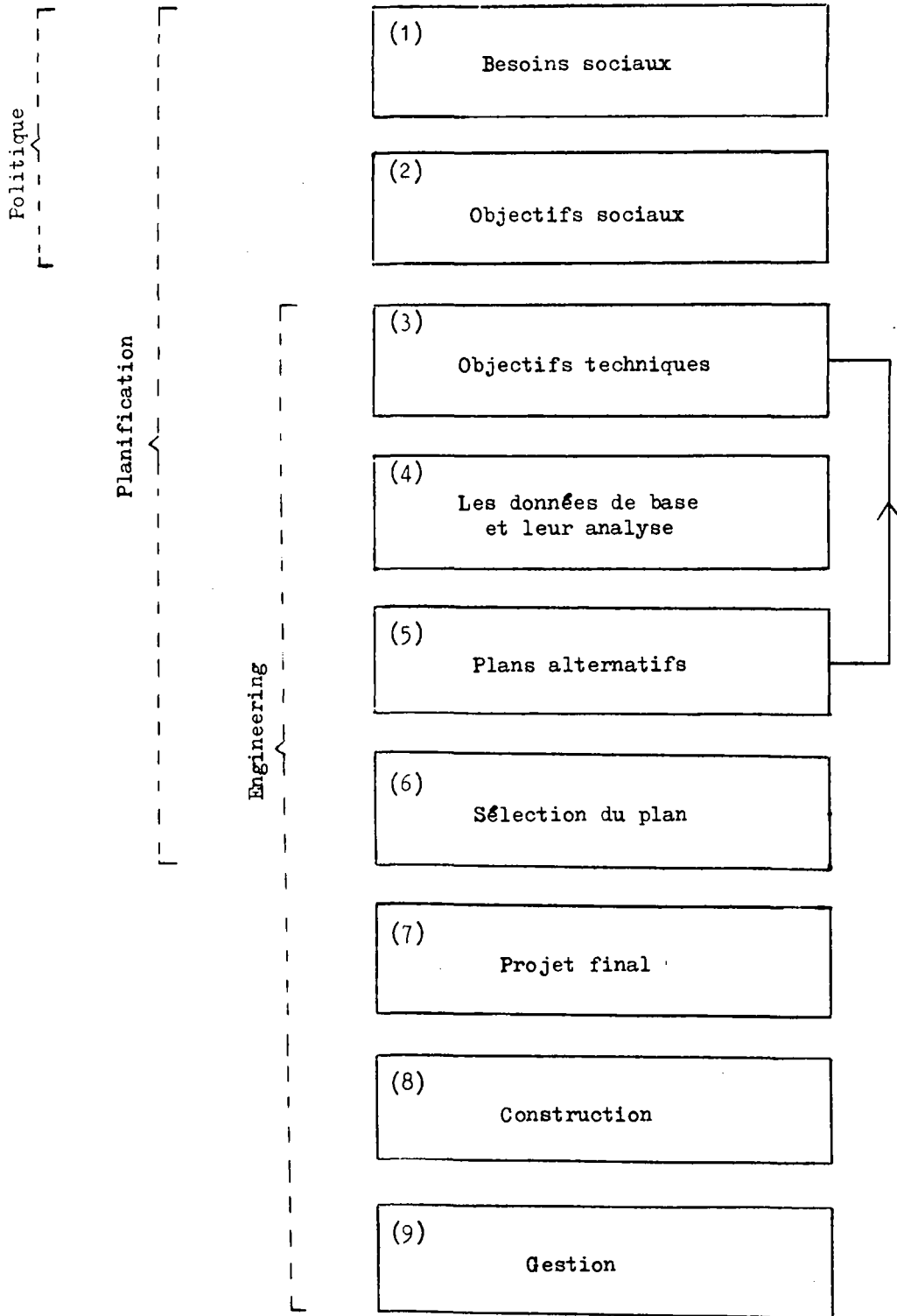
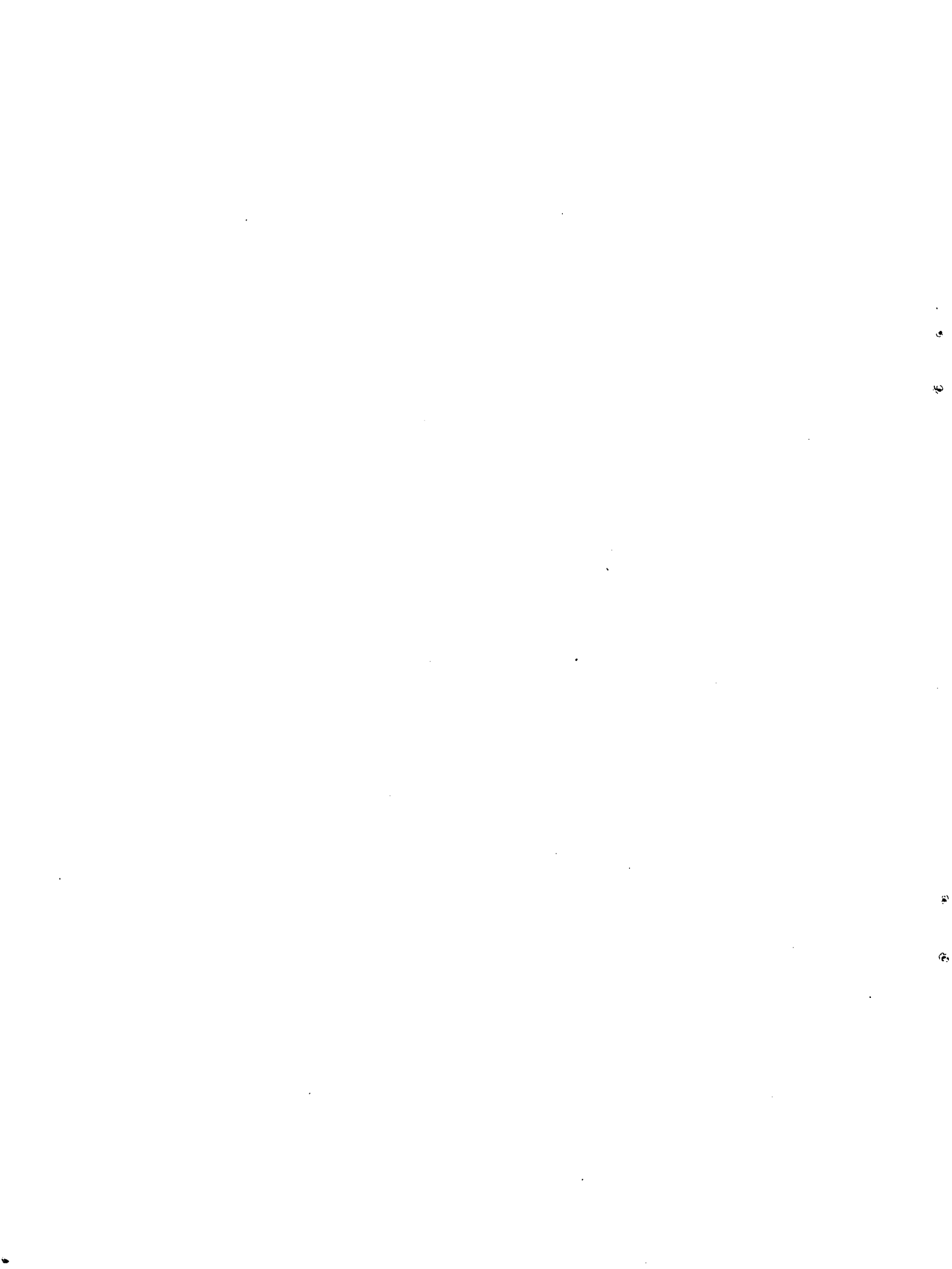


Figure 1

II - UTILISATION DE L'EAU EN PROVENANCE
DE PETITS COURS D'EAU



II. 1. LES AMENAGEMENTS DE BAS-FONDS EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE, PAR J. CALES

RESUME

Le manque d'eau constitue en de nombreuses régions du globe le principal facteur limitant de l'agriculture, et seule l'irrigation est susceptible de pallier le déficit en eau qu'accusent les cultures et de permettre une amélioration appréciable des rendements.

Tel est en particulier le cas de la quasi-totalité des régions d'Afrique tropicale sèche, dans toute la vaste zone comprise entre les confins du Sahara et la forêt équatoriale. Mais l'irrigation classique par pompage dans les cours d'eau ou les nappes phréatiques, ou par gravité à partir des réservoirs de stockage suppose d'une part que le niveau technique moyen des agriculteurs soit suffisamment élevé et leur encadrement suffisant pour permettre des cultures spécialisées à haut rendement susceptibles de rentabiliser des investissements importants.

Ces conditions ne sont malheureusement pas toujours réunies, et différentes expériences ont été tentées afin d'utiliser au mieux les eaux de ruissellement à des fins agricoles dans les cas où il n'est pas possible d'assurer une maîtrise totale des ressources.

Le présent exposé est consacré à la technique d'aménagement hydraulique dite "aménagement de bas-fonds".

1. GENERALITES

Les zones de bas-fonds où se déposent les éléments érodés par les pluies ont des sols généralement plus profonds et plus humides que les plateaux. Ils présentent cependant des inconvénients pour les cultures sèches traditionnelles: risque de submersion, sols lourds et difficiles à travailler.

L'aménagement de ces bas-fonds peut permettre d'y développer la culture du riz éventuellement du maraîchage.

Ce type d'aménagement essentiellement réalisé en investissement humain vise à une meilleure maîtrise de l'eau à l'aide de diguettes, submersibles par forte crue.

Ces diguettes:

- retiennent l'eau après la crue et augmentent donc la durée de submersion;
- étalent la crue sur toute la largeur du lit majeur et augmentent la surface de submersion;
- augmentent donc fortement la recharge en eau des sols.

On peut donc:

- améliorer les rendements de la riziculture là où elle existe;
- introduire cette culture ailleurs.

2. CHOIX DU BAS-FOND

Nous allons examiner les différents critères de choix des bas-fonds à aménager.

Ces facteurs sont de deux ordres:

- technique (pédologie, topographie, hydrographie)
- socio-économique

{	désir des paysans d'aménager
{	discipline collective
{	équilibres agro-pastoraux à respecter.

2.1 Facteurs techniques

La satisfaction de certaines exigences techniques impose un choix préalable du bas-fond en fonction de ses caractéristiques physiques.

2.1.1 La pédologie

Les sols de bas-fonds sont généralement hydromorphes.

L'hydromorphie est une condition favorable à la riziculture mais il faut en outre que texture et structure du sol conviennent.

Des sols sablo-argileux constituent un terrain favorable à la riziculture:

- humidification rapide
- bonne rétention de l'eau
- peu de retrait à la sécheresse
- facilité de travail du sol.

Les sols sableux sont par contre moins favorables. Leur perméabilité réduit considérablement l'effet des diguettes.

Certains bas-fonds sableux peuvent toutefois être retenus dans des zones de bonne pluviométrie.

2.1.2 La topographie

La topographie du bas-fond doit satisfaire à certaines conditions. La pente moyenne du terrain doit être faible, d'une part pour limiter la densité des diguettes, d'autre part en raison des risques de dégradation dus à l'écoulement rapide des eaux sur des pentes fortes.

La pente optimale d'un bas-fond est de 3 ‰; celle-ci peut aller jusqu'à 6 ou 7 ‰; des pentes de 1 ‰ sont à éviter, pour les raisons évoquées ci-dessus et ce d'autant plus que ces pentes correspondent à des bas-fonds petits et encaissés où le niveau des crues est souvent incompatible avec une bonne tenue des diguettes. On s'efforcera donc de ne retenir que des bas-fonds larges et aussi plats que possible.

2.1.3 Pluviométrie - Régime des eaux

Si l'isohyète annuelle relative à une zone donnée est assez bien connue, la répartition spatiale et temporelle des pluies l'est beaucoup moins.

On a constaté en Haute-Volta des différences pluviométriques de plus de 100 mm entre 2 bas-fonds éloignés de 5 km seulement. Seule l'observation nous indique que tel ou tel bas-fond est en général mal arrosé et que la culture du riz sera délicate.

La répartition temporelle des pluies appartient encore au domaine de l'imprévisible et fait que la culture du riz dans les bas-fonds restera liée aux aléas pluviométriques.

Le régime des eaux du bas-fond est en général assez mal connu; quelques renseignements peuvent être obtenus auprès des agriculteurs. Toutefois, le calcul permet une approche plus technique du phénomène.

Une étude a été réalisée par J. RODIER et C. AUVRAY en vue d'estimer les débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Occidentale.

Cette étude fait intervenir surface, pente moyenne, forme du bassin versant, perméabilité, valeur de la pluie décennale. On obtient ainsi un ordre de grandeur du débit de crue décennal. Mais le temps de montée de la crue est une donnée aussi importante sinon plus, que l'observation seule permet de connaître. Une submersion lente est en effet beaucoup moins destructive qu'un orage bref et violent qui provoquera une montée brutale des eaux.

Une année ou deux d'observation, même sommaire, de l'évolution des niveaux de crue (3 ou 4 crues observées en crue et décrue) fournirait des données particulièrement intéressantes à l'ingénieur chargé du projet.

2.2 Facteurs socio-économiques

Alors que la conception de l'aménagement fait appel à des critères techniques, le choix de cet aménagement fait intervenir des critères socio-économiques qui sont préalables à tout travail technique.

2.2.1 Problèmes fonciers

L'aménagement vient bouleverser les structures agraires traditionnelles, les terres sont redistribuées au prorata des journées de travail effectuées. Il se pose donc un problème de remembrement des terres lorsque le bas-fond est déjà exploité. Il est indispensable, préalablement à l'aménagement, de faire admettre le principe de la redistribution des terres et de la création de nouvelles parcelles.

2.2.2 Problèmes humains

Les paysans concernés doivent être convaincus de l'utilité de l'aménagement qu'ils vont réaliser. L'accord de principe est facile à obtenir, mais, il faut s'assurer que, le temps venu, les paysans apporteront leur participation effective à la création de l'aménagement. Lors des réunions préparatoires, l'encadreur insistera donc sur le fait que l'aménagement est réalisé à la main par ceux qui en seront les bénéficiaires.

Ces réunions préparatoires peuvent utilement être illustrées par la visite de bas-fonds déjà aménagés, ou des projections de diapositives montrant des aménagements. Il importe de bien choisir les premiers riziculteurs, surtout dans une zone nouvelle où la première opération est souvent déterminante pour la poursuite de l'aménagement.

La motivation des paysans est donc très importante; à la limite, dans les zones où il existe déjà des bas-fonds aménagés, l'exemple doit suffire pour susciter chez les paysans le désir d'aménager à leur tour, leur bas-fond.

2.2.3 Problèmes économiques

La superficie aménagée chaque année doit être fonction des possibilités des agriculteurs déjà occupés par les céréales traditionnelles (sorgho, mil, maïs).

Suivant les bas-fonds, il est donc attribué 10 à 25 ares par famille; au delà, les sarclages sont négligés, la parcelle mal entretenue. Si l'on tient compte, en outre, du fait que l'aménagement doit concerner des zones de 2 à 3 hectares au minimum en 1ère année (10 à 15 ensuite, en fonction des besoins), il faut donc réunir 10 à 30 familles en 1ère année.

L'aménagement exige donc un grand effort du paysan en 1ère année: construction des diguettes, dessouchage; des aides peuvent lui être accordées, sous forme de distribution de vivres et d'intervention d'unités motorisées.

Un autre point à souligner est l'utilisation traditionnelle des bas-fonds comme zone de pâturage pendant toute la saison sèche. Il y a donc un équilibre agro-pastoral à respecter car les aménagements de bas-fonds sont autant d'hectares pris à l'élevage.

2.3 L'encadrement

L'encadrement est indispensable à la réussite de l'aménagement. L'encadreur connaît bien le milieu dans lequel il travaille, il pourra diriger les réunions d'information auprès des paysans, recueillir les renseignements nécessaires aux techniciens, conseiller utilement les agriculteurs dans la conduite de l'aménagement, inciter à l'utilisation des engrais.

Le développement des aménagements de bas-fonds va de pair avec la mise en place d'un encadrement dense et qualifié.

3. TECHNIQUE DE L'AMENAGEMENT

Le présent chapitre ne prétend pas fournir la solution idéale mais, explicite simplement les principes pris en compte dans la réalisation des aménagements.

Après avoir décrit la succession des opérations techniques, nous énumérerons les divers types d'aménagements, chaque réalisation étant une combinaison de ces divers types.

3.1 Principe de l'aménagement

Des bas-fonds étant susceptibles d'être traversés par des crues importantes, l'aménagement n'a pour but que d'assurer un contrôle partiel des eaux: il doit donc être aussi rustique que possible, tout en ayant l'efficacité maximum sur le plan rizicole.

L'aménagement consiste en la création de diguettes en terre compactée de 30 cm de hauteur construites suivant les courbes de niveau et permettant de retenir une lame d'eau de 10 à 20 cm d'épaisseur.

3.2 Lever topographique

En raison des pentes faibles de bas-fonds, il est indispensable pour déterminer le micro-relief, de procéder à un lever topographique.

Toutefois, certains bas-fonds sont aménagés en implantation directe, ce qui évite un second déplacement sur le terrain. Cette méthode se justifie pour de petits aménagements de 2 ou 3 hectares où il est possible d'avoir une vue d'ensemble du terrain; pour de plus grandes surfaces, le lever topographique donne une meilleure idée de

l'ensemble du bas-fond et permet une répartition plus régulière des diguettes; il permet de créer des parcelles de forme régulière.

Enfin il subsiste un plan auquel il est possible de se référer ultérieurement.

Pour être utilisable, le lever doit déborder largement l'emprise du bas-fond de façon à déterminer les arrivées d'eau latérales; il est au besoin complété par un croquis de terrain où peuvent être portés certains renseignements situés hors de l'emprise du lever (bassins versants latéraux par exemple) mais qui sont toutefois fort utiles à la compréhension de la topographie du bas-fond et à l'étude du projet.

3.3 Tracé de l'aménagement

3.3.1 Tracé de la diguette

Le tracé de l'aménagement se fait en bureau d'études, en tenant compte de tous les renseignements notés au cours du lever. Les itinéraires du bétail seront exclus du périmètre car il est difficile de les déplacer; il faut éviter en outre de noyer les pistes existantes, en essayant de placer la diguette à l'amont immédiat de la piste.

La diguette est constituée par décomposition de la courbe de niveau en une succession de segments de droite suivant aussi fidèlement que possible la courbe de niveau, et en corrigeant certains petits accidents de terrain (fig. 1).

Il faut veiller à ce que cette rectification ne constitue pas une zone de débordement préférentiel et éviter, par conséquent de négliger certains thalwegs.

Latéralement, la diguette remonte jusqu'à un point situé 20 cm plus haut que la courbe de niveau sur laquelle elle se trouve. Il faut éviter de créer des angles aigus, cause fréquente de rupture, en disposant convenablement les extrémités des diguettes (fig. 2).

3.3.2 Longueur des diguettes

Des aménagements de bas-fonds étant le plus souvent réalisés dans des zones de fort ruissellement, il est indispensable de prévoir certains passages pour l'eau qui permettront d'évacuer la majeure partie des crues. La création d'une diguette continue entraîne en effet nécessairement la submersion lors des crues. Il semble d'après l'expérience, qu'une longueur de 150 mètres à 200 mètres de diguette soit une bonne moyenne; les chenaux correspondent aux thalwegs naturels.

On constitue ainsi de petites unités d'aménagement (fig. 3); en cas de rupture de l'une d'entre elles, les autres ne sont pas affectées.

3.3.3 Ecartement des diguettes

L'écartement des diguettes varie avec la pente du bas-fond; une hauteur de diguette de 30 cm semble constituer un optimum, le risque de rupture croissant avec la hauteur de la diguette.

Si l'on veut obtenir, lors du remplissage, une tranche d'eau de 5 cm dans la partie amont du casier, et une revanche de 10 cm sur la diguette, la dénivelée entre 2 diguettes successives est de 15 cm (fig. 4 A et 4 B).

La diguette, pour retenir cette eau doit remonter latéralement de $dh + 5$ soit 20 cm.

Si la pente est forte, 1 %, on choisit $dh = 20$ cm; la revanche n'est plus que de 5 cm.

Au delà de 2 ‰ la densité des diguettes devient trop importante. Si la pente est égale à 3 ‰, E = 45 cm, cette valeur constitue un maximum; pour des pentes inférieures, il est préférable de conserver E = 45 à 50 mètres.

3.3.4 Profil de la diguette

Après divers essais plus ou moins concluants, il semble que la forme idéale de la diguette corresponde aux dimensions suivantes:

- h = 30 cm
 - largeur en crête = 30 cm
 - pente amont = 1/1
 - pente aval = 1/2
- } emprise au sol = 1,20 m.

- au delà d'une hauteur de 30 cm, l'écartement des diguettes peut être plus important mais les risques de rupture sont plus nombreux;

- une pente de 1/2 enherbée et stabilisée résiste bien à la submersion. Cette forme théorique s'arrondit peu à peu et se stabilise en une saison.

3.3.5 Les ouvrages

Afin de protéger l'aménagement de la submersion certains ouvrages peuvent être prévus:

- les chenaux pour les axes hydrauliques marqués (cf 3.3.2)
- les déversoirs.

La rupture des diguettes se produit toujours sur le cheminement préférentiel des eaux, c'est-à-dire dans les petites déclivités où le tirant d'eau est plus fort et la vitesse d'écoulement plus élevée.

Les ruptures sur des diguettes successives constituent en général une séquence. Ce micro-relief n'apparaît pas toujours au lever, vu la densité des points mais apparaît souvent à la réalisation.

La construction de déversoirs en ces points particuliers évite leur rupture, retarde la submersion de l'aménagement lors des grosses crues et diminue la hauteur de submersion.

L'utilisation de buses de poterie de ϕ 12 cm contribue à une bonne répartition de l'eau dans les casiers en assurant une vidange lente de ceux-ci.

Placés à quelques centimètres au-dessus du sol, 5 passages busés peuvent permettre la vidange d'un casier en une journée environ.

Tous ces ouvrages ne sont en aucun cas destinés à éviter la submersion due aux très fortes crues mais ils ont un effet modérateur sur la violence de celle-ci; pour des crues de petite ou moyenne importance, ils peuvent être suffisants pour éviter la submersion de l'aménagement.

Il faut remarquer enfin que la création de ces ouvrages ne doit pas être systématique. Certains bas-fonds peuvent être aménagés sans chenal et sans déversoir, les buses suffisant à écouler les faibles quantités d'eau arrivant sur le bas-fond. Sur d'autres aménagements ne recevant aucun ruissellement de l'amont et ne faisant que retenir les précipitations, déversoirs et chenaux sont superflus.

3.4 Types d'aménagement

Les principaux types d'aménagement sont les suivants:

3.4.1 Aménagement de type fermé (fig. 5)

Le réseau est constitué par des diguettes suivant les courbes de niveau et, de part et d'autre, des diguettes suivant les lignes de plus grande pente. Ces diguettes latérales servent à la fois de diguettes de protection contre les fortes crues et de diguettes de retenue lorsque les casiers sont pleins.

L'alimentation des casiers se fait par submersion, ce qui entraîne une usure importante donc un entretien permanent.

Le problème du drainage des casiers se pose en début de saison, lorsque le riz n'est pas encore levé et qu'une forte crue submerge le périmètre, une vidange partielle est assurée par des buses placées à l'aval des casiers, ces mêmes buses assurent l'alimentation en eau lorsque la crue n'est pas assez forte pour submerger les diguettes.

Ce type d'aménagement peut être retenu dans le cas de bas-fonds très larges où les crues sont étalées. Par mesure de sécurité, la partie centrale du bas-fond peut servir de chenal de passage pour les grosses crues, l'aménagement étant alors latéral; les casiers ne seront submergés que si les eaux sont assez hautes pour inonder la totalité du bas-fond.

Ce type d'aménagement ne permet pas de récupérer les petites crues qui sont pourtant très précieuses pour le riz; il arrive qu'il y ait de l'eau à l'extérieur de l'aménagement et rien à l'intérieur.

Il est pourtant utilisé pour des bas-fonds situés entre 2 marigots ou constituant une île et pour les bas-fonds très plats, afin de réduire la longueur des diguettes latérales.

3.4.2 Aménagement de type ouvert simple (fig. 6)

Le réseau est constitué de diguettes suivant les courbes de niveau, latéralement ces diguettes se prolongent en remontant la ligne de plus grande pente, la cote du terrain naturel à l'extrémité de ce prolongement est supérieure de 20 cm à la cote d'implantation de la diguette. La diguette ayant une hauteur de 30 cm, le déversement se fera donc latéralement dès qu'il y aura 20 cm d'eau dans le casier, la revanche de la diguette est alors de 10 cm.

Il faut signaler que ce déversement latéral ne permet pas le passage de la totalité des grosses crues et que la submersion n'est pas évitée.

Un avantage de ce système réside dans la récupération des eaux de ruissellement latérales, ceci est particulièrement intéressant lors des petites pluies.

Des séries de buses disposées tous les 50 mètres environ assurent une vidange lente du casier et une bonne répartition de l'eau. Le remplissage d'un casier se fait par débordement du casier amont lorsque celui-ci est plein et par apport d'eaux de ruissellement latérales.

Ce type d'aménagement peut être retenu dans le cas de bas-fonds larges et plats ne présentant pas de thalweg bien marqué, il est très fréquemment associé au type fermé, il assure alors la jonction du système de diguettes aux terres non inondées.

3.4.3 Aménagement de type ouvert avec chenal d'écoulement (cf. fig. 3)

Ce type est une variante du précédent et convient pour les bas-fonds constitués d'un ou plusieurs thalwegs bien marqués et traversés par des crues moyennes ou fortes. L'aménagement est scindé en tronçons de longueur variant de 150 à 250 mètres, l'espace libre entre 2 unités constituant un chenal d'écoulement. Ces chenaux occupent les axes du ou des thalwegs existants.

Un tel aménagement présente l'avantage d'offrir un passage aux grosses crues, tout en récupérant une partie des eaux par les ouvertures latérales des diguettes.

Il est nécessaire de bien orienter les extrémités des diguettes de façon à limiter au maximum la force destructrice de l'eau.

3.4.4 Aménagement avec petite retenue et dérivation (fig. 7)

Il peut être intéressant, dans certains cas, de créer une réserve d'eau plus importante que les 20 cm retenus par une diguette normale, on peut donc prévoir de construire la première diguette de façon à retenir 40 cm d'eau le volume ainsi stocké est alors multiplié par 4.

La construction de cette diguette demande un soin particulier, il s'agit d'un ouvrage déjà important et l'on doit éviter sa dégradation, la submersion ne peut être admise.

Un tel ouvrage ne doit donc pas constituer un obstacle continu à l'écoulement des eaux. Il se justifie comme dérivation sur un marigot. La revanche prévue est de 20 cm; enfin, il faut pouvoir être en mesure de contrôler débits d'entrée et de sortie de l'eau dans la retenue.

On obtient aussi une maîtrise partielle de l'eau et la possibilité de réaliser des pépinières, permettant de repiquer ensuite dans la réserve elle-même. Un tel ouvrage nécessite des sols argileux de façon à obtenir une véritable retenue d'eau conservant l'eau plusieurs jours.

Cet ouvrage nécessite des travaux importants de réalisation et exige une certaine technicité des utilisateurs.

Ce type d'aménagement est réalisable sur certains bas-fonds traversés par un marigot relativement important. La création d'un chenal de prise, lorsque la pente est suffisante, permet d'alimenter la retenue plus facilement. Un bâtardeau ou une vanne en bois placé en tête du chenal évite la vidange de la retenue pendant la décrue.

Ces divers schémas de principe peuvent être combinés en fonction des caractéristiques particulières de chaque bas-fond.

4. REALISATION DE L'AMENAGEMENT

L'aménagement est réalisé sur la base du croquis d'implantation et en donnant à la diguette le profil indiqué au paragraphe 3.3.4.

4.1 Construction de la diguette

4.1.1 Prise des matériaux

La terre étant la plus fréquemment prise à proximité de la diguette, il paraît préférable de la prendre des deux côtés, côté amont le fossé créé peut servir de drain au casier supérieur, côté aval le fossé sera écarté de la diguette

afin d'éviter une chute immédiatement au pied de la diguette.

D'une façon générale il faut éviter de créer des fossés profonds (abaissement de la ligne de saturation au cours de l'assèchement).

4.1.2 Le compactage

La résistance de la diguette aux premières crues dépend essentiellement du compactage. La réalisation des diguettes se faisant en saison sèche, il est pratiquement impossible de disposer d'eau en quantité suffisante pour procéder à une humectation de la terre. Le compactage se faisant à sec il faut briser soigneusement les mottes avant de damer la terre, ce travail peut être exécuté par des enfants qui brisent les mottes à l'aide de bâtons.

Dans la mesure où l'on dispose d'un peu de temps libre au moment des premières pluies, un damage de finition est profitable.

Afin d'éviter de créer une discontinuité à la base de la diguette, l'emprise doit être soigneusement désherbée et la couche travaillée compactée de la même manière que les couches supérieures.

4.1.3 Nivellement de la diguette

Afin de réduire au maximum l'érosion des diguettes lors de la submersion, il faut que la lame d'eau déversante soit uniforme sur toute la longueur de la diguette donc que l'horizontalité de celle-ci soit aussi parfaite que possible. Il est donc nécessaire de s'assurer de l'horizontalité par divers moyens:

- soit par l'emploi d'un niveau de chantier, ce qui est assez long;
- soit par l'utilisation d'un système de nivelettes simplifiées.

4.2 Conduite du chantier

4.2.1 Organisation du chantier

L'organisation et la conduite du chantier sont à la charge de l'encadreur.

La construction des diguettes se fait en commun. Le partage des terres ne se faisant qu'une fois l'aménagement terminé on évite ainsi de voir des volontaires abandonner le travail lorsque leur parcelle est aménagée.

Dans la mesure du possible, chaque volontaire doit travailler sensiblement le même nombre de journées, la distribution des terres se faisant au prorata du travail effectué, il convient de veiller à ce que la surface attribuée soit compatible avec les possibilités rizicoles du cultivateur.

Ces dispositions doivent être prises par l'encadreur en accord avec les volontaires avant le début du chantier.

Les travailleurs sont pointés journallement afin d'établir un partage équitable des terres et de procéder aux distributions de vivres.

L'aménagement pouvant ne pas être terminé avant les pluies, afin d'éviter de gros dégâts à la non finition des diguettes sur la totalité du périmètre, on procédera à la construction des diguettes les unes après les autres, en commençant par l'amont, une diguette ne devant pas être commencée avant que la précédente ne soit parfaitement finie.

4.2.2 Temps de travaux

Les temps de travaux nécessaires pour le débroussaillage et la construction des diguettes sont de 400 à 450 journées/homme par hectare aménagé, cette valeur pouvant varier avec la densité des diguettes et l'importance des travaux de défrichement.

4.2.3 Utilisation d'une unité motorisée

L'emploi d'une unité mécanisée modifie peu les temps de travaux précédents. L'emploi de la charrue pour matérialiser la diguette ne supprime pas le piochage des déblais; la terre remuée à l'emplacement même de la diguette exige un compactage soigné.

La zone de labour doit être suffisamment large pour que le volume de terre remuée soit suffisant, car les volontaires piochent rarement après le passage du tracteur.

Le dessouchage n'est possible avec la sous-soleuse que pour de petits arbustes. Les souches doivent être enlevées à la main.

L'emploi de l'unité mécanisée trouve surtout son intérêt dans la préparation des sols (sous-solage de premier labour) ou dans le cas de terrassements importants (construction d'un drain, grosses diguettes de protection).

4.2.4 Les vivres de soutien

Les travaux d'aménagement de bas-fonds étant réalisés en période de saison sèche au moment où la chaleur est la plus forte et le sol le plus dur et où les stocks de denrées s'amenuisent, il est utile de prévoir des distributions de vivres destinés à combler le déficit alimentaire et à soutenir les travailleurs pendant la période difficile des travaux.

Le résultat de leur travail profite directement à ceux qui ont participé à l'aménagement puisque les parcelles sont attribuées au prorata des journées de travail effectuées; les vivres constituent uniquement un soutien alimentaire, indispensable, il est vrai, vu les conditions de travail.

4.2.5 Distribution des parcelles

L'établissement du parcellaire est confié à l'encadreur, les canevas de base étant fournis par le croquis d'implantation. De façon à prévoir l'utilisation (ultérieure) de la culture attelée, on s'efforcera de donner aux parcelles une forme allongée afin de permettre le labour ou sarclage dans le sens des courbes de niveau.

Deux cas sont à envisager:

- l'écartement des diguettes est inférieur à 30 m, les parcelles sont tracées sans cloisonnement intermédiaire;
- l'écartement des diguettes est supérieur à 30 m, les diguettes de parcellement sont parallèles aux courbes de niveau.

Les surfaces attribuées sont fonction du nombre de journées de travail et des possibilités rizicoles du bénéficiaire soit 10 à 25 ares par famille. Si le riz est la seule culture pratiquée, ce chiffre peut passer à 2 ha par famille.

5. UTILISATION DE L'AMENAGEMENT

5.1 L'entretien

Si l'on veut que l'aménagement une fois mis en place demeure fonctionnel pendant plusieurs années, il doit constamment être mis en état. Plusieurs parcelles étant sous la dépendance d'une même diguette et l'influence des diguettes les unes sur les autres étant très importante (la rupture d'une diguette amont risquant fort de faire réaction en chaîne) l'entretien du périmètre doit être collectif.

Après chaque pluie les brèches qui peuvent s'être formées sont colmatées quelque soit leur importance.

Il est conseillé de laisser les diguettes s'enherber de façon à mieux résister à l'érosion, on veillera cependant à ce que les mauvaises herbes ne montent pas en graine.

A la fin de chaque campagne, l'ensemble du périmètre doit être restauré, le profil initial de chaque diguette est reconstitué, car même s'il n'y a pas rupture, la diguette s'affaisse considérablement en une saison. Cette restauration est à recommander en fin de campagne plutôt qu'en début de saison des pluies où l'agriculteur ne dispose pas toujours du temps nécessaire.

5.2 Conduite de l'aménagement

On ne peut comparer la conduite d'un aménagement d'aval de barrage où l'eau est parfaitement contrôlée avec celle d'un bas-fond aménagé où la quantité d'eau et sa répartition dans le temps sont incontrôlables. En raison de la dépendance des parcelles entre elles à l'intérieur d'un même casier et d'amont en aval les vidanges et remplissages éventuels exigent une conduite collective de l'aménagement et des stades végétatifs à peu près identiques.

6. CONCLUSION

Les aménagements de bas-fonds permettent d'obtenir dans des conditions particulièrement économiques une certaine maîtrise des ressources hydrauliques et de favoriser le développement de la culture du riz dans les zones de bas-fonds où elle est souvent bien adaptée.

Cette technique a connu des échecs à ses débuts. Plus que d'autres en effet elle doit être mise en oeuvre avec une participation active des intéressés. Tout défaut d'entretien régulier entraîne la ruine complète de l'aménagement. Ceci suppose qu'un encadrement qualifié soit assuré dès le départ.

Compte tenu du caractère sommaire de ce type d'aménagement il est certain que les résultats restent soumis aux aléas pluviométriques.

Il ne faut pas non plus perdre de vue que l'amélioration des conditions d'alimentation en eau des plantes ne constitue qu'un des facteurs de l'accroissement des rendements des cultures et que des progrès doivent être également faits dans les techniques culturales, le choix des variétés, le traitement des semences...

Il n'en est pas moins vrai que les aménagements de bas-fonds constituent dans bien des cas une solution intéressante en raison de leur caractère économique.

Fig. 1

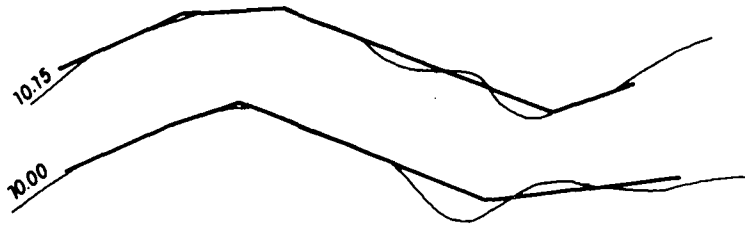


Fig. 2

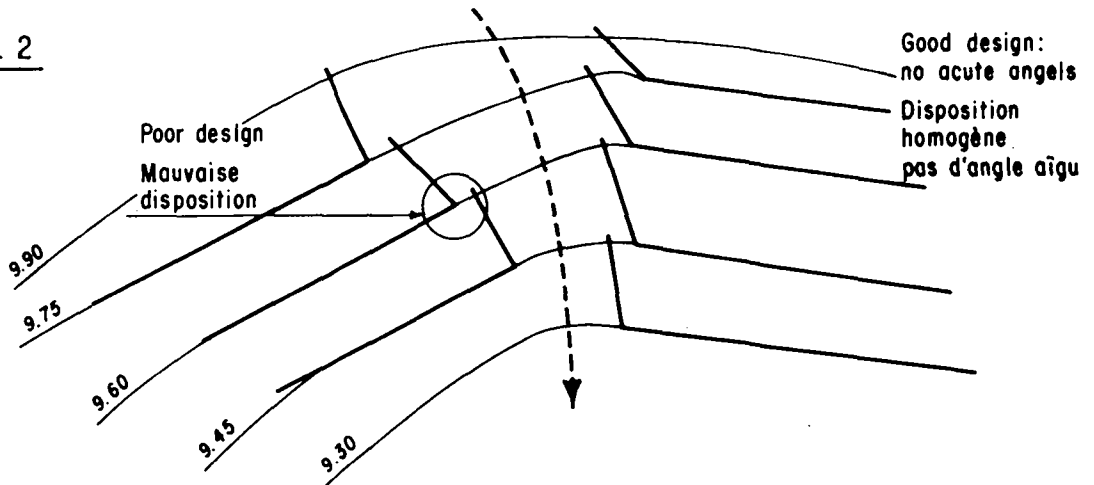
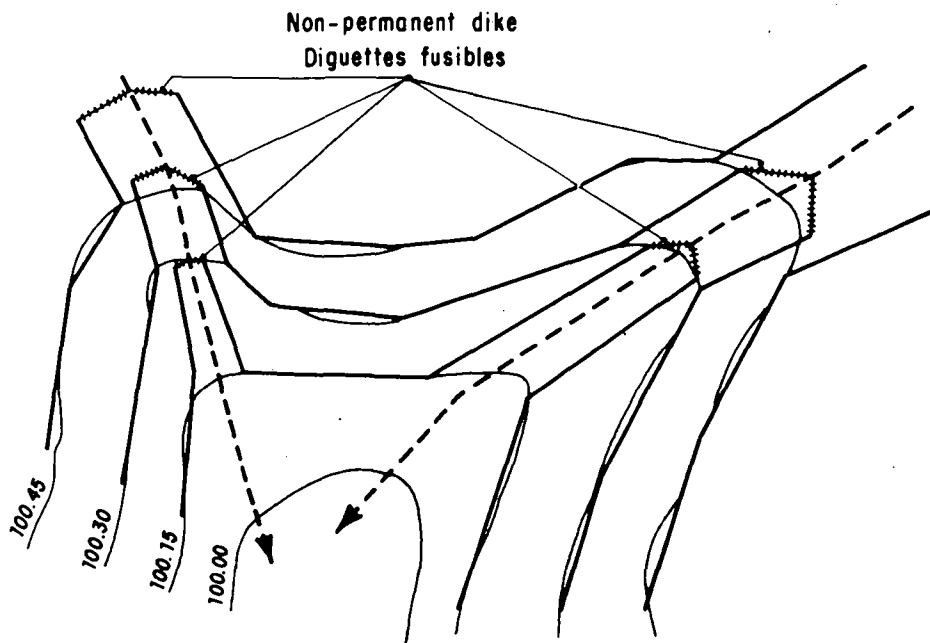


Fig. 3



Advantages = Free passage of large flood
Full utilisation of small floods - by way
permanent dikes (h = 10 cm)

Avantages = Passage des grosses crues
Récupération des petites crues avec
diguettes fusibles (h = 10 cm)

Fig. 4-A

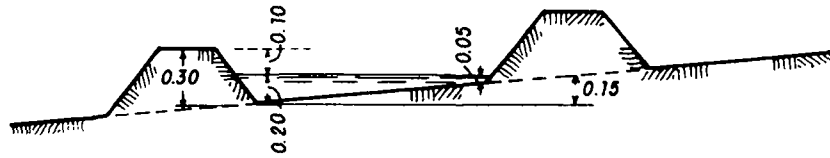
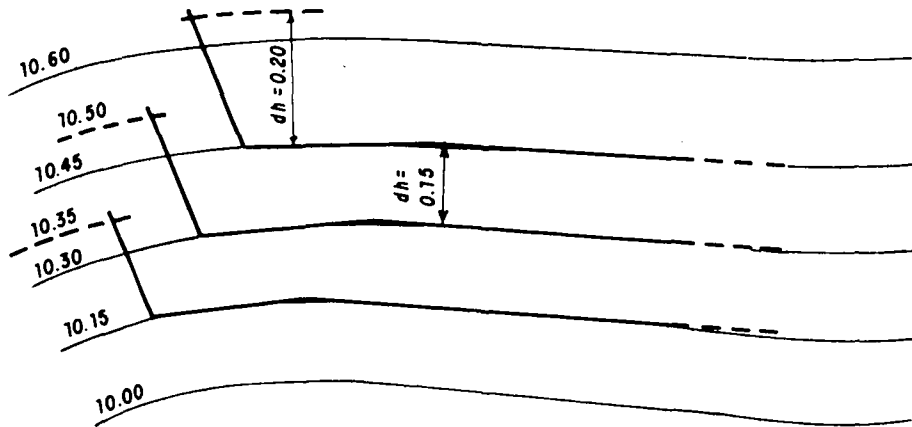


Fig. 4-B



dh = Difference of level between
2 consecutive terraces

Différence de niveau entre
2 diguettes consécutives

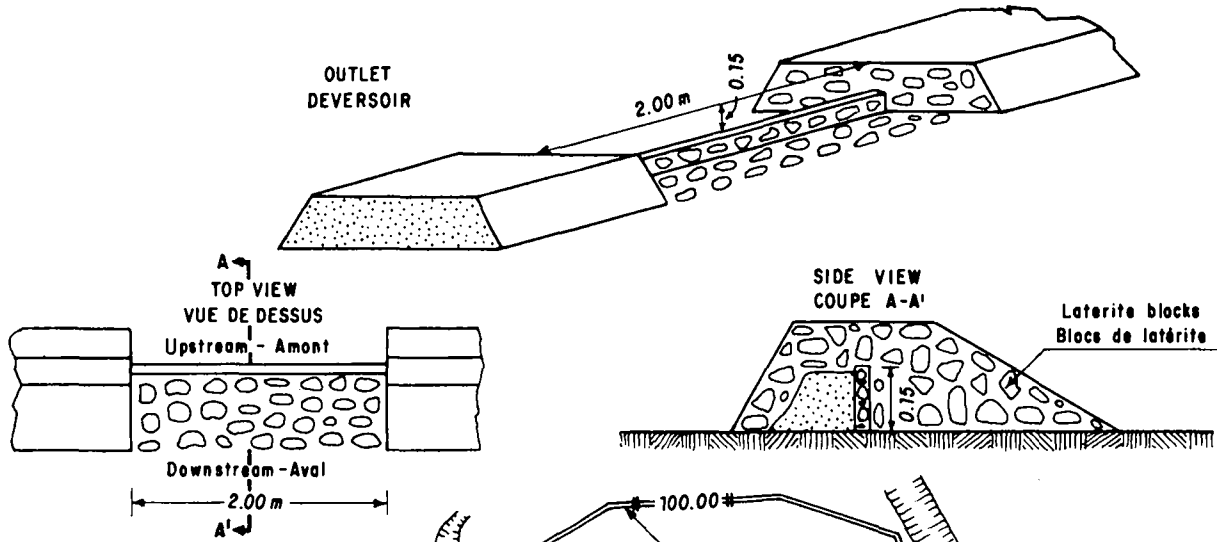


Fig. 5

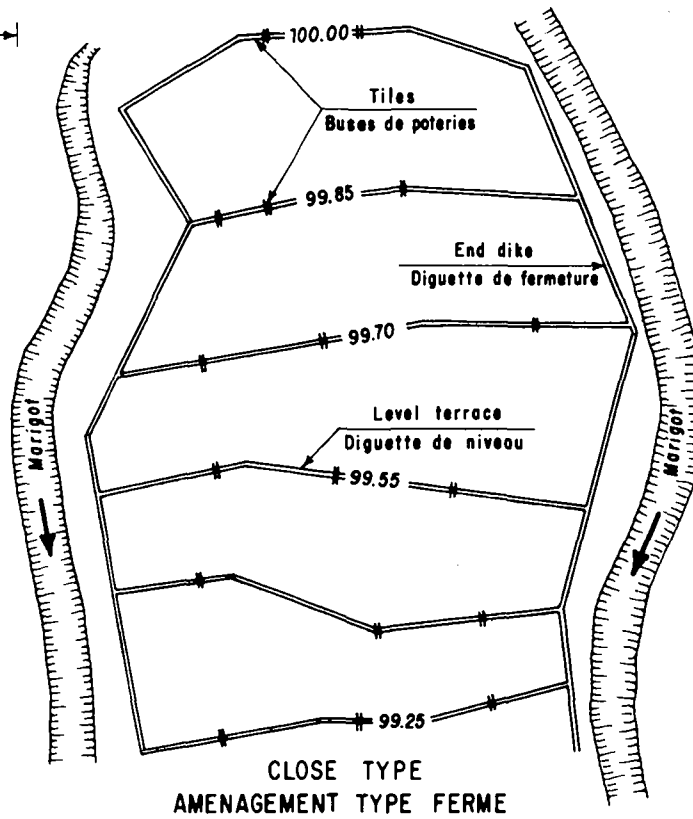


Fig. 6

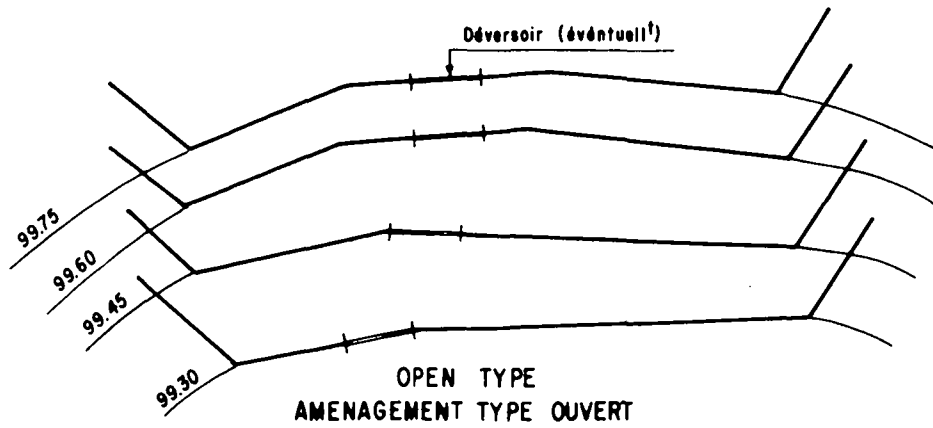
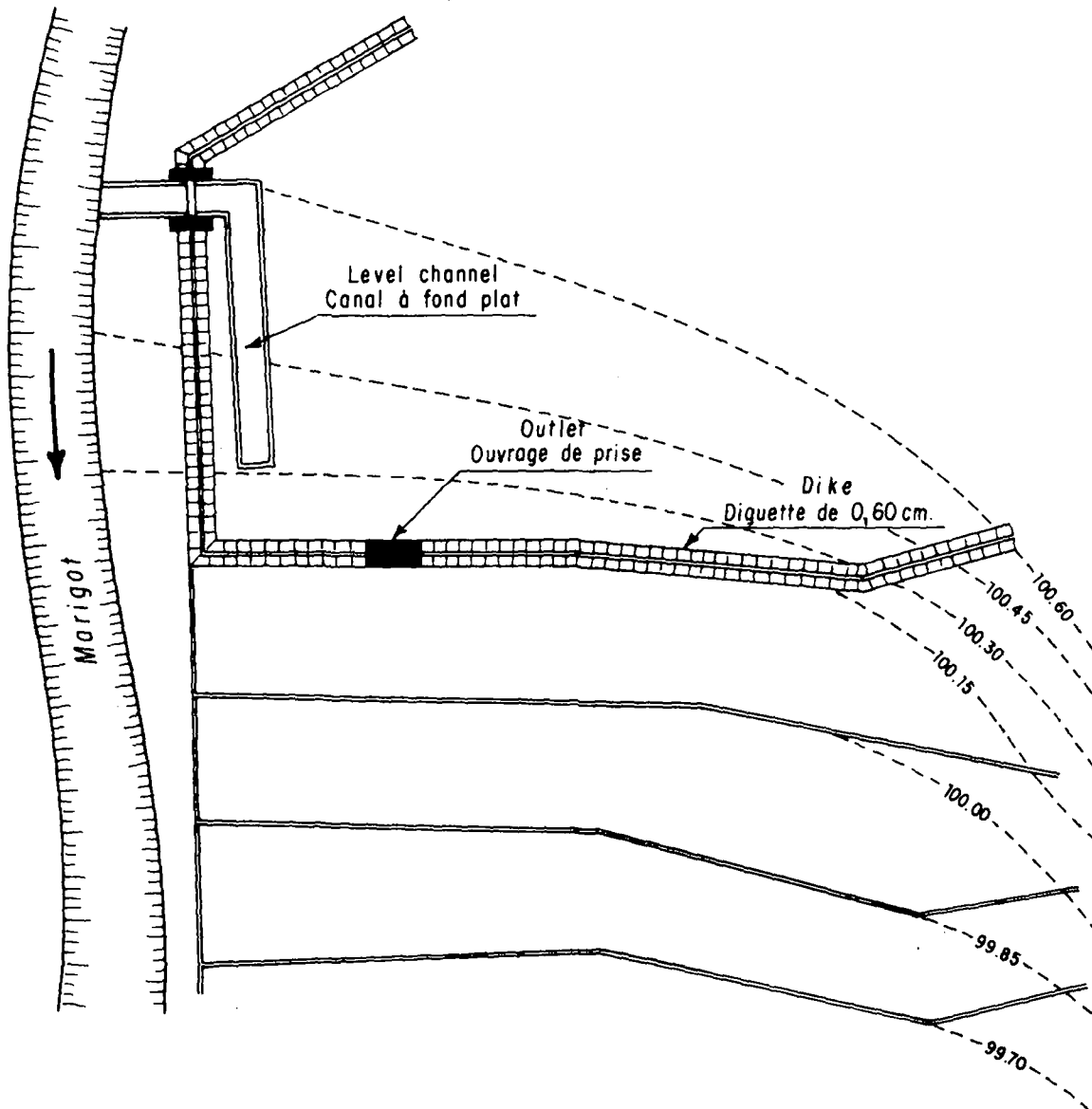
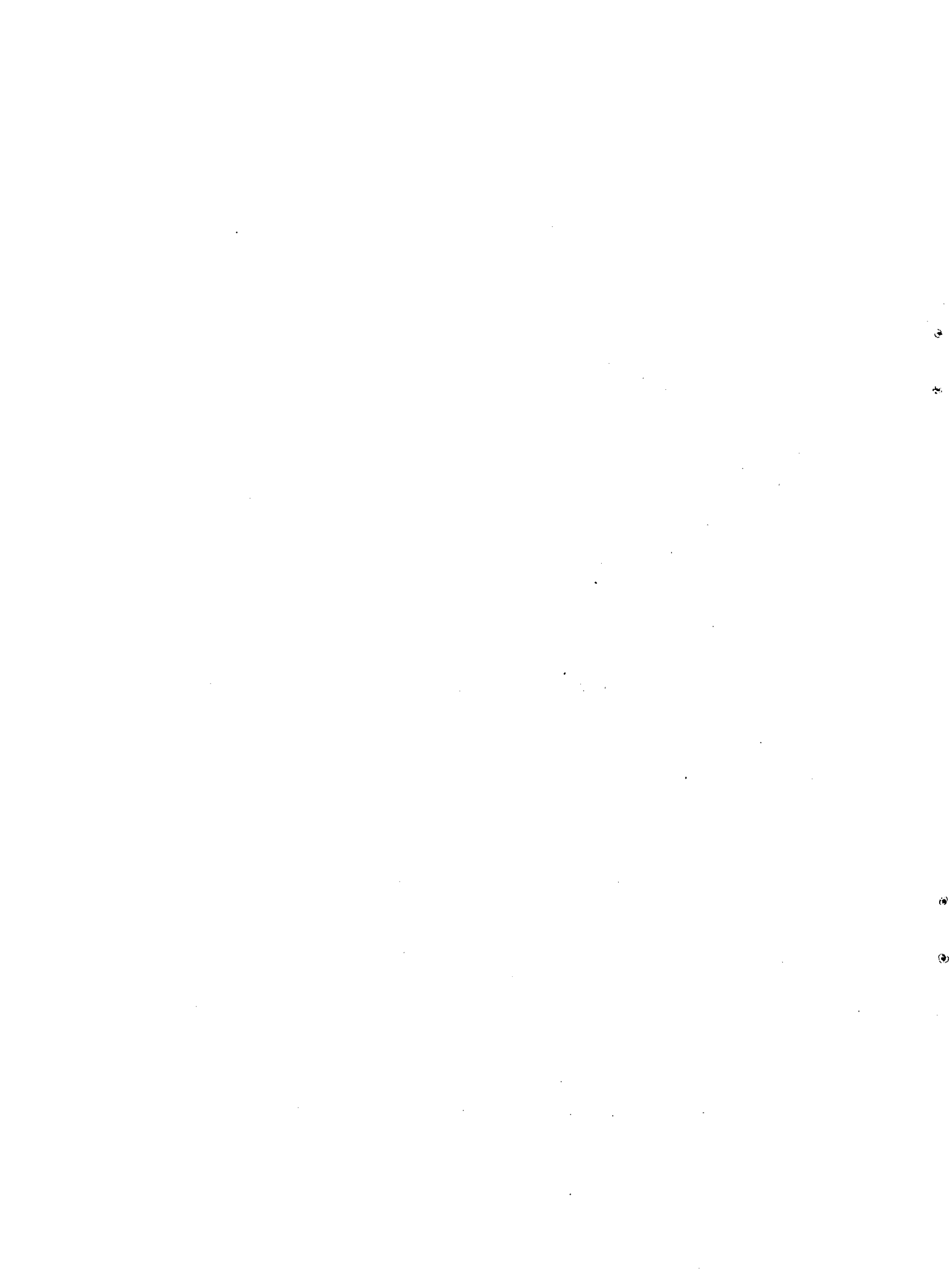


Fig. 7



MANAGEMENT OF STORAGE DIKES AND OUTLET
AMENAGEMENT AVEC PETITE RETENUE ET DERIVATION



II. 2. LA RIZICULTURE EN SUBMERSION CONTROLÉE, PAR J. DIALINAS

RÉSUMÉ

Le présent exposé commence par un bref rappel des exigences en eau du riz. Il s'attache ensuite à définir les principaux facteurs qu'il est nécessaire de contrôler pour satisfaire les exigences hydrauliques de la culture rizicole. L'auteur s'étend alors sur la conception des aménagements en riziculture de submersion contrôlée et définit très clairement les principes techniques d'équipement et les modalités pratiques de l'établissement pour le différent degré de maîtrise de l'onde de crue - submersion semi-contrôlée, submersion contrôlée. Il analyse enfin la réalisation d'aménagements plus perfectionnés - submersion dirigée - capables d'assurer une maîtrise réelle de l'eau dans le périmètre rizicole. Le pompage de garantie ou d'appoint, pour le cas d'une maîtrise complète de l'eau, est également envisagé.

1. PRINCIPE DE L'UTILISATION DE L'ONDE DE CRUE D'UNE RIVIÈRE POUR LA RIZICULTURE

En dehors du cas particulier du riz pluvial, la riziculture exige la submersion du sol cultivé pendant une partie bien définie du cycle végétatif de la plante, ce maintien en eau jouant un rôle déterminant dans le rendement atteint.

Cette nécessité reconnue, les paysans ont depuis l'origine de la culture du riz, cherché à y satisfaire au moindre coût. Cette recherche a conduit aux essais d'utilisation des phénomènes naturels, c'est-à-dire de la submersion spontanée.

Une telle submersion existe en particulier le long des grandes rivières et fleuves d'Afrique et de Madagascar dont le régime est marqué par la propagation, le long de leur cours, d'une onde de crue annuelle unique, de forte amplitude et d'autant plus régulière que le bassin versant est plus grand. C'est le cas par exemple en Afrique Sahélienne des cours moyens et inférieurs du Sénégal, du Niger (en amont du Delta Central), du Chari et du Logone.

Sur ces fleuves, le passage de l'onde de crue détermine une période de hautes eaux longue de plusieurs semaines. Et si l'on se situe suffisamment loin en aval du haut bassin où s'opère la collecte des eaux, l'arrivée de l'onde de crue n'intervient normalement que plusieurs semaines après le début de la saison des pluies.

Par ailleurs, lorsque le lit majeur de la rivière constitue une vaste plaine, l'onde de crue se trouve laminée et le niveau de submersion aux plus hautes eaux est plus ou moins stabilisé.

De semblables conditions de submersion, caractérisées par des chutes de pluies suivies, quelque temps plus tard, du passage de l'onde de crue avec inondation des plaines constituant le lit majeur de la rivière, puis du retrait des eaux, conviennent généralement à la riziculture.

Si la concordance est certaine entre les exigences du riz et les conditions dans lesquelles se produit la submersion naturelle du lit majeur d'une grande rivière tropicale lorsque apparaît l'onde de crue, cette concordance reste cependant approximative.

Avec la riziculture par submersion naturelle ou libre, forme la plus rudimentaire de l'utilisation de l'onde de crue dans le lit majeur d'une rivière, les agriculteurs sont tenus d'adapter leur production aux caractéristiques du phénomène naturel utilisé. Ils n'ont pas la maîtrise de ce phénomène qui constitue le principal facteur limitant de leur production mais au contraire le subissent comme une contrainte.

Dès lors qu'on se place dans une perspective de mise en valeur rizicole intensive, il devient nécessaire d'envisager les possibilités d'assurer un contrôle plus ou moins poussé de la submersion des terres cultivables lors du passage de l'onde de crue.

L'acquisition d'une telle maîtrise peut être plus ou moins complète. On y parvient au moyen d'aménagements hydrauliques appropriés plus ou moins complexes selon le degré de maîtrise de la submersion auquel on veut accéder.

Les principaux facteurs qu'il conviendrait de maîtriser pour satisfaire les exigences hydrauliques d'une riziculture intensive sont les suivants:

- la cote atteinte par le plan d'eau durant le temps nécessaire à la submersion du riz. En submersion naturelle cette cote varie d'une année à l'autre. Les surfaces inondées correspondantes varient de la même manière et il n'est pas possible d'en connaître l'étendue et la durée de submersion qui restent aléatoires.
- la date du début de la submersion. Le caractère saisonnier apparemment régulier des crues de type tropical laisse place à un intervalle de variation de cette date assez important (plus d'un mois dans bien des cas). Tout le calendrier cultural de la riziculture peut être affecté par cette indétermination.
- l'intervalle de temps qui sépare le moment où une pluie suffisante permet la germination du riz et celui où peut débuter la submersion naturelle. Cet intervalle doit correspondre à la phase du cycle végétatif allant de la germination au tallage. Or, de même que la pluie suffisante et l'onde de crue, cet intervalle de temps constitue une donnée aléatoire.
- l'importance et la répartition de la pluviométrie durant cet intervalle de temps constituent le dernier aspect aléatoire de la réalisation des conditions de succès de la riziculture en cas d'utilisation de l'onde de crue d'une rivière.

Face à ces multiples indéterminations qui caractérisent le phénomène naturel de l'onde de crue deux attitudes peuvent être adoptées pour une action de mise en valeur rizicole.

- a) Délimiter dans les terrains inondés, les zones à l'intérieur desquelles la probabilité de réunir les conditions favorables à la riziculture sera la plus grande. L'aménagement pourra alors consister simplement en une identification de ces zones. Il s'agit d'une attitude relativement passive qui peut limiter sérieusement les superficies aménageables ainsi que les rendements, donc la production. Un tel aménagement ne nécessite, il est vrai, que de très faibles investissements.
- b) Une attitude plus active conduit à la submersion contrôlée c'est-à-dire à la correction dans une plus ou moins grande mesure du caractère aléatoire de tout ou partie des facteurs mis en jeu, afin de s'assurer une maîtrise plus ou moins poussée mais réelle de la submersion naturelle.

Au delà de ce stade qui correspond à une correction des irrégularités du phénomène naturel il est possible d'envisager la possibilité de diriger totalement sa manifestation, d'en modifier le déroulement et l'étendue. On aboutit alors à la maîtrise totale de l'eau qui peut constituer le but ultime d'un perfectionnement progressif d'un aménagement. Au fur et à mesure de cette progression on s'éloigne de la notion d'utilisation de l'onde de crue d'une rivière, ainsi que de celle d'une submersion contrôlée pour se rapprocher du cas plus général de la mobilisation d'une ressource en eau quelconque.

On devine aisément que la complexité croissante des interventions se traduit par une augmentation des coûts des travaux et des choix sont à faire pour éviter qu'à un certain investissement ne corresponde plus qu'un supplément de bénéfice trop faible pour être acceptable.

Avant d'examiner les diverses possibilités d'aménagements rizicoles en submersion contrôlée rappelons brièvement les exigences en eau du riz.

2. LES BESOINS EN EAU DU RIZ

Les besoins en eau d'une campagne rizicole peuvent être ventilés de la manière suivante:

- a) Humidification du sol pour permettre les façons culturales et apport d'eau pour la germination et la levée qui correspondent à l'approvisionnement en eau préalablement à la germination.
- b) Imbibition du sol préalable à la montée du plan d'eau.
- c) Montée du plan d'eau ou submersion des rizières.
- d) Compensation de l'évaporation et de la percolation ou maintien du plan d'eau dans les rizières.

Ces divers besoins en eaux correspondent chacun à une phase du cycle végétatif de la plante jusqu'à l'épiaison. Dix jours après l'épiaison pour hâter la maturité des grains et faciliter la récolte, la mise à sec ou vidange des rizières devient nécessaire.

2.1. Les conditions d'approvisionnement en eau du sol préalablement à la germination

La riziculture avec submersion plus ou moins contrôlée est dépendante d'abord de la pluviométrie puis de l'onde de crue qui garantit la submersion.

Le début de la campagne agricole, qui comprend les travaux de préparation du sol nécessaire à la constitution du lit de semences puis les semis, est entièrement sous la dépendance de la pluviométrie qui doit être suffisante et régulière.

Cette pluie dite "pluie utile" se compose donc:

- de la pluie nécessaire pour humidifier le sol sur une profondeur de 10 à 12 cm. Une telle pluie correspond à une précipitation en moins de 48 heures de 25 mm pour une terre non travaillée et de 15 mm pour une terre ayant reçu un labour de déchaumage en fin de campagne.
- de la pluie nécessaire pour la germination du riz. Cette pluie stockée dans le sol correspond à une hauteur au moins égale à 40 mm en 10 jours incluant une première averse concentrée de 15 mm en 24 heures ou 20 mm en 48 heures.

A défaut de cette pluie une quantité d'eau équivalente doit être apportée aux rizières soit:

- 250 m³ d'eau en moins de 48 h pour l'humidification du sol.
- 400 m³ d'eau (dont 200 m³ en 48 h) pour la germination.

2.2. L'imbibition du sol

Le sol des rizières est maintenu jusqu'au début de la submersion dans des conditions hydriques en fonction de la pluviométrie enregistrée entre germination et tallage.

En principe, l'humidité du sol doit être proche de la capacité de rétention.

La lame d'eau nécessaire à cette imbibition est en général comprise entre 60 et 80 mm voire 100 mm soit 1 000 m³ par hectare.

Elle doit normalement être délivrée dans un temps très court compris entre 1 et 2 jours. Ce qui conduit aux débits spécifiques les plus élevés de la campagne rizicole, débits qui sont de l'ordre de 4 à 5 l/s/ha en tête de parcelle.

L'imbibition est donc un élément important à considérer lors du dimensionnement d'ouvrages assurant le contrôle de l'eau dans un périmètre rizicole.

2.3. Montée du plan ou submersion des rizières

La vitesse de montée du plan d'eau d'une rizière est commandée par la capacité d'allongement des entre-noeuds de la tige principale et des talles.

Cette capacité est un caractère essentiellement génétique qui différencie les variétés dites "dressées" des variétés "flottantes".

Les premières admettent une vitesse d'élongation de l'ordre de 2 à 3 cm par jour tandis que les secondes peuvent croître de 5 à 6 cm par jours.

A cette croissance du riz correspond une montée du plan d'eau qui en débit spécifique est de l'ordre de :

- 2,5 l/s/ha pour le riz dressé
- 7 l/s/ha pour le riz flottant.

La hauteur du plan d'eau jusqu'à l'épiaison est généralement comprise entre 10 et 30 cm pour les variétés dites dressées (avec une marge ne dépassant pratiquement pas 10 cm pour une variété dressée); elle peut atteindre 5 m pour les variétés "flottantes".

2.4. La compensation de l'évaporation et de la percolation ou maintien du plan d'eau

Cette compensation se situe dans la généralité des cas entre 6 et 10 mm par jour. Ce qui correspond à des débits spécifiques dans les parcelles compris entre 0,7 et 1,2 l/s/ha approximativement. La délivrance d'un tel débit n'est interrompue que 10 jours après l'épiaison du riz. Elle dure généralement selon les variétés et l'époque où se situe la campagne rizicole entre 55 et 80 jours.

2.5. La vidange des rizières

La vidange des rizières qui intervient une dizaine de jours après l'épiaison, a pour but de hâter la maturité des grains et de faciliter la récolte. Elle évite en outre l'altération du produit consécutive au maintien prolongé du plan d'eau.

A moins d'équiper l'aménagement en station de pompage d'exhaure, une telle vidange n'est possible que si le niveau de l'eau dans le fleuve est inférieur au plan d'eau de submersion des rizières.

2.6. Estimation globale des besoins en eau

A titre indicatif les besoins en eau à l'hectare sont estimés pour le riz dressé à :

- humidification du sol et germination	250 m ³
- germination du riz	400 m ³
- imbibition	1 000 m ³
- submersion (y compris perte par évapotranspiration et percolation de l'ordre de 8 mm/jour)	3 600 m ³
- maintien du plan d'eau (débit d'entretien)	4 800 m ³
- total	<u>10 050 m³</u>

Pour le riz flottant, les besoins en eau sont du même ordre à l'exception des besoins de submersion qui compte tenu de la plus grande hauteur de submersion peuvent atteindre 20 000 à 50 000 m³ par hectare.

Si ces besoins sont fournis par des canaux d'irrigation on n'oubliera pas de tenir compte du coefficient d'efficacité du réseau qui peut conduire à délivrer en tête de périmètre un volume majoré de 20 à 30 %.

Pour un périmètre de riz dressé, le volume d'eau à délivrer en tête sera donc de l'ordre de 12 000 à 13 000 m³/ha.

3. LES AMÉNAGEMENTS EN RIZICULTURE DE SUBMERSION CONTRÔLÉE

3.1. Conception des aménagements hydroagricoles

L'amélioration des conditions faites au riz demande généralement comme nous l'avons vu, le dépassement de la submersion naturelle et passe donc par l'acquisition d'un contrôle plus ou moins complet des modalités de submersion des terres cultivées. Cela suppose des ouvrages hydrauliques qui vont commander le transfert d'eau entre la rivière et les plaines ou cuvettes de son lit majeur et les modalités de répartition de cette eau. Tel est le but de l'aménagement hydroagricole d'une plaine ou d'une cuvette destinée à la riziculture. La conception s'articule autour des exigences déterminées par trois fonctions essentielles:

- a) le contrôle de la vitesse de montée du plan d'eau sur les sols cultivés, en fonction des modalités de croissance de la variété cultivée.
- b) la détermination des hauteurs de submersion à utiliser, qui dépendent essentiellement des caractéristiques variétales.
- c) le choix des dates de début des opérations de remplissage et de vidange des rizières dans les limites permises par le calendrier de propagation de l'onde de crue.

Il résulte de cet énoncé que dans tous les cas une séparation hydraulique s'impose entre les sols mis en culture et le fleuve en crue. L'ouvrage fondamental commun à tous les types d'aménagement est donc l'endiguement périphérique doté d'ouvrages de prise. Un tel dispositif qui supprime les aléas de la submersion naturelle constitue l'aménagement primaire ou l'aménagement de submersion semi-contrôlée.

Les autres types d'aménagement en dérivent par des perfectionnements successifs portant sur des dispositifs internes de cloisonnement et de distribution d'eau. Il s'agit des aménagements de submersion contrôlée ou dirigée qui permettent en outre, le premier de maîtriser les hauteurs de submersion dans les rizières, le dernier d'assurer une maîtrise complète des irrigations notamment en dissociant totalement les fonctions d'irrigation et de vidange.

3.2. Les aménagements de submersion semi-contrôlée

3.2.1. Principes techniques d'équipement

L'ouvrage essentiel de ce type d'aménagement est constitué par un endiguement périphérique continu qui s'appuie sur les bordures exondées en permanence du lit majeur de la rivière, et est établi de manière à interdire toute pénétration directe des eaux de crue à l'intérieur du casier qu'il délimite. Cette protection est assurée avec un degré de sécurité qui est fonction de la probabilité de dépassement de la hauteur maximale de crue prise en considération pour fixer la cote de crête de la digue. Un tel ouvrage assure donc l'indépendance hydraulique du casier vis-à-vis des niveaux atteints par les eaux à l'extérieur, ainsi que de leurs fluctuations.

L'admission des eaux nécessaires à la submersion des terres situées à l'intérieur du casier s'effectue par un ou plusieurs ouvrages de prise en rivière implantés dans le corps de la digue périphérique. Ces ouvrages comportent un ou plusieurs pertuis autonomes équipés de vannes à glissement. Les ouvrages de prise, ainsi équipés, permettent d'opérer une modulation du débit admis dans le périmètre en bénéficiant en général d'un large intervalle de variation.

A partir du moment où la charge minimale nécessaire au fonctionnement des ouvrages de prise est disponible au cours du déroulement de la crue, il est évidemment possible de décider librement de la date de début de la mise en eau en fonction de l'état de la végétation dans le casier. En second lieu un réglage approprié de l'ouverture des vannes permet d'adapter le débit admis dans le casier, en fonction de la superficie concernée, de manière à ajuster la vitesse de montée du plan d'eau aux conditions de croissance du riz. Enfin, l'aménagement de ce type permet de contrôler et de fixer le niveau de l'eau à l'intérieur du casier, quelle que soit la hauteur maximale atteinte par la crue à l'extérieur du périmètre protégé pourvu qu'elle soit supérieure à ce niveau limite. Il suffit pour cela que le débit soit ramené au moment opportun, par réglage de l'ouverture des vannes, à une valeur correspondant à la seule compensation des déperditions dans le casier.

On notera enfin que la vidange du casier en fin de submersion s'opère dans ce type d'aménagement, par inversion de l'écoulement dans les ouvrages de prise. L'équipement ainsi défini permet durant cette phase de limiter le cas échéant la vitesse d'abaissement du niveau de l'eau dans les rizières si la décrue fluviale s'avère trop rapide par rapport aux nécessités de la riziculture.

On constate ainsi que les effets de cet aménagement de type primaire s'appliquent bien aux fonctions essentielles mises en évidence dans le préambule du présent chapitre. Mais ils ne concernent que les niveaux atteints par l'eau au-dessus des terres cultivées sans qu'il ait été traité jusqu'à présent des hauteurs de submersion qui constituent le facteur déterminant en riziculture. Pour pouvoir juger utilement de la qualité de service d'un tel aménagement, il convient donc d'en situer les effets par rapport au terrain à l'intérieur du casier, et pour cela de situer au préalable les conditions topographiques qui prévalent généralement dans les zones à aménager.

3.2.2. Contexte topographique des aménagements rizicoles

La configuration topographique des zones susceptibles d'être mises en valeur en utilisant l'onde de crue d'une rivière pour la submersion de rizières est avant tout une conséquence de leur localisation dans les limites de lits majeurs fluviaux. Elle est également influencée par les effets qu'exercent sur leur choix des considérations annexes relatives au coût des équipements de type primaire.

Ceci tient au caractère essentiellement périphérique de ces derniers, dont le coût d'établissement est de ce fait approximativement proportionnel à la longueur du périmètre du casier qu'ils délimitent. Cette constatation conduit à rechercher des zones à mettre en valeur offrant une valeur aussi faible que possible du rapport longueur du périmètre/superficie de la zone. Pour y parvenir, on fait en général appel aux parties les plus larges du lit majeur pour y constituer de vastes unités d'un seul tenant destinées à former chacune un unique casier présentant la plus grande superficie cultivable possible. En pratique un tel casier s'étendra au minimum sur plusieurs centaines d'hectares, pour atteindre plusieurs milliers d'hectares dans le cas d'interventions se situant dans le lit majeur d'un fleuve important.

Ces conditions de localisation et de dimension ont nécessairement des conséquences directes et importantes sur la disposition altimétrique des casiers rizicoles de ce type. Il convient, à ce propos, de distinguer le cas des vallées proprement dites (moyenne vallée du Niger, par exemple) et celui des zones de caractère deltaïque (delta du fleuve du Sénégal par exemple).

- a) Cas des vallées proprement dites - La disposition altimétrique des terres y est déterminée par la pente longitudinale de la vallée d'une part, et par le profil en travers en général très caractéristique du lit majeur des fleuves tropicaux d'autre part.

L'importance accordée à la constitution de casiers aussi vastes que possible se traduit en général par un développement de grande longueur parallèlement à l'axe longitudinal de la vallée. De ce fait on observe habituellement une différence de plusieurs dizaines de centimètres entre les cotes du terrain naturel observées à proximité des limites amont et aval d'un tel casier.

Le profil en travers du lit majeur impose pour sa part une disposition altimétrique transversale du casier qui se manifeste de manière très constante sous la forme suivante:

- en bordure du lit mineur, un bourrelet de berge sépare ce dernier de la plaine d'inondation proprement dite. Relativement élevé, il peut n'être submergé que partiellement par les seules crues les plus fortes. Il est coupé par un certain nombre de dépressions transversales ("brèches" naturelles) constituant autant de chenaux mettant en communication les lits mineur et majeur durant la crue
- en arrière du bourrelet de berge, le terrain qui constitue dès lors la plaine d'inondation s'abaisse, en coupe transversale, vers un point bas qui correspond en général à la section d'un chenal - diffus ou nettement marqué - assurant la concentration naturelle des eaux en relation avec les brèches naturelles du bourrelet de berge. Dans les lits majeurs très larges, on peut observer le cas échéant plusieurs chenaux de cette nature, qui peuvent présenter un lit mineur marqué et constituer de véritables bras défluent. De tels chenaux multiples sont en général anastomosés entre eux, et ont tendance à divaguer dans une zone approximativement horizontale en section transversale
- au delà de cette zone basse, le terrain remonte progressivement vers la limite extérieure du lit majeur définie par la cote atteinte par les plus hautes eaux. Il n'est pas rare que cette limite soit marquée par une rupture de pente assez nette différenciant le lit majeur à pentes faibles et les zones bordières au relief plus accentué

L'importance des dénivelées constatées le long d'un profil en travers de la vallée est notamment fonction de l'amplitude des ondes de crue annuelles. Elle peut atteindre, pour un fleuve important, une valeur de 1,50 m et même 2,00 m entre les points bas de la dépression centrale et les plus hautes terres régulièrement inondées et donc susceptibles d'être cultivées en riz. Tel est notamment le cas de la moyenne vallée du Niger, au Mali, dans la région comprise entre Ségou et Mopti.

- b) Cas des zones à caractère deltaïque - Le modèle du terrain est déterminé cette fois par des conditions d'alluvionnement très différentes de celles qui prévalent dans les vallées proprement dites en fonction des variations du niveau de base des écoulements et de leurs conséquences sur la stabilité ou la variabilité des lits mineurs actifs.

On observe en premier lieu un réseau plus ou moins anastomosé de lits mineurs actifs, l'un d'eux présentant des dimensions nettement supérieures à celles des autres bras et pouvant être considéré comme le lit fluvial principal. Ces différents bras occupent des vallées au profil en travers très amorti mais répondant à la description donnée pour les vallées ci-dessus. Les pentes longitudinales sont très faibles et imposent des vitesses d'écoulement minimales.

Entre ces lits mineurs actifs s'inscrivent de véritables "cuvettes" fermées, plus ou moins profondes, limitées par une "levée" continue. Cette levée comporte en général plusieurs points bas, témoins de brèches ayant existé au travers d'anciens bourrelets de berge. Ces points bas mettent en communication les cuvettes et les bras actifs lorsque la cote de la crue atteint une valeur suffisante. Dès lors les cuvettes se remplissent et le niveau de l'eau y devient identique à celui observé dans le bras assurant le remplissage, tant que ce niveau est supérieur à la cote des seuils. Dès que cette condition cesse d'être remplie, l'eau stagne dans la cuvette et s'évapore progressivement dans un système désormais isolé du réseau d'écoulement des eaux.

La profondeur de telles cuvettes au-dessous du niveau des seuils est fréquemment comprise entre 0,50 m et 1,00 m. Elle peut, dans certains cas de grands deltas, atteindre des valeurs sensiblement supérieures.

Il n'existe pas de différence profonde entre ces deux cas en ce qui concerne les modalités de remplissage de la zone inondable durant la crue. Par contre le drainage naturel des casiers qui peuvent y être aménagés conduit à distinguer nettement les sites de vallée et de delta. Dans un lit majeur de vallée, il est presque toujours possible d'obtenir une vidange à peu près complète d'un casier vers l'aval en s'aidant des chenaux naturels; la principale difficulté peut résulter surtout de la durée excessive de l'opération. Par contre les cuvettes deltaïques ne peuvent en général être vidangées que par la réalisation d'ouvrages spécialisés de drainage (collecteurs artificiels notamment) qui ne relèvent plus de la définition de l'aménagement primaire telle qu'elle a été formulée. En ce cas l'aménagement de type primaire ne peut être que partiellement vidangé dans la majorité des cas.

3.2.3. Modalités pratiques de mise en valeur: les franges concentriques

En dehors des problèmes de drainage auxquels l'aménagement primaire ne peut pas apporter de solution technique, l'inconvénient majeur de la submersion semi-contrôlée réside dans la maîtrise non pas d'une hauteur de submersion mais d'un niveau général du plan d'eau au-dessous de terrains dont l'altitude est très inégale.

Ce type d'aménagement n'assure aucun contrôle de la hauteur de submersion du sol cultivé. Or cette caractéristique est déterminante vis-à-vis des conditions de végétation du riz, et par voie de conséquence des rendements.

De plus la large extension des casiers et leur disposition altimétrique conduit à un décalage plus ou moins important de la date de début de submersion entre le point le plus bas et le point le plus haut de la superficie concernée. Cet écart peut dans certains cas atteindre et même dépasser un mois.

Pour remédier à ces inconvénients, ou au moins pour en limiter les conséquences en matière de production, il n'est pas possible d'agir sur le facteur hydraulique. Seul le choix variétal du riz qui sera cultivé peut apporter une solution satisfaisante.

Les grandes hauteurs de submersion, la variabilité des vitesses de montée du plan d'eau conduisent à utiliser en priorité des variétés de riz flottants capables d'assurer des rendements acceptables tout en se satisfaisant d'un contexte hydraulique peu favorable à la riziculture. Ce choix constitue l'orientation normale correspondant au type d'aménagement envisagé.

Le niveau du plan d'eau dans un casier est déterminé par la recherche de la plus grande superficie submergée possible, compte tenu de la garantie d'alimentation en eau qui aura été adoptée au préalable (probabilité 0,9 par exemple) en fonction des caractéristiques de la crue du fleuve. Ce niveau étant ainsi déterminé, les hauteurs normales de submersion sont également fixées.

Dans les dépressions les plus basses du casier, la hauteur de submersion peut localement être supérieure à la limite de tolérance des riz flottants les plus plastiques. Les zones ainsi définies doivent être abandonnées.

Sur la périphérie du casier, on peut d'autre part définir une bande de sols cultivables au-dessus de laquelle la hauteur de submersion, au niveau normal de remplissage du casier, est comprise entre 0,10 m et 0,50 m. Il est possible, à partir des hydrogrammes de crue, de préciser la période durant laquelle intervient cette submersion. La réalisation, localisée sur ce terrain de telles conditions, permet d'envisager l'introduction dans le casier d'une variété de riz dressé, sur une superficie correspondant à celle de la bande précédemment définie.

Cette méthode de mise en culture du casier, fondée sur l'association de variétés pour utiliser au mieux les conditions de submersion, constitue la méthode dite des franges concentriques, ainsi dénommée, en raison de la disposition des bandes de riz flottant et de riz dressé autour d'une dépression centrale non cultivée.

En résumé, la définition d'un aménagement de submersion semi-contrôlée comporte les étapes suivantes, après avoir procédé aux études climatologique et hydrologique ainsi qu'à l'établissement d'un premier projet de calendrier cultural:

- délimitation globale de la zone à aménager, en fonction des aptitudes des sols
- choix du tracé des digues de fermeture, en fonction de la disposition des points hauts qui permettent de réduire la hauteur et donc le coût des ouvrages de terrassement.
- choix du niveau normal de remplissage du casier, en fonction des données hydrologiques et culturelles.
- définition de la cote de crête de l'endiguement et des limites de franges variétales, ajustement des calendriers culturels et calcul des débits de remplissage en fonction des exigences de la culture.
- définition des caractéristiques générales des ouvrages de prise (nombre, localisation, cote de radier, débit maximal).

A partir de ces éléments présentés ici dans leur ordre logique de détermination, on procède à l'établissement des projets selon les techniques classiques des aménagements.

3.3 Les aménagements de submersion contrôlée

Dans l'aménagement de submersion semi-contrôlée l'inconvénient majeur est la création d'un plan d'eau continu sur une surface d'altimétrie variant dans un large intervalle, ce qui exclut toute maîtrise des hauteurs de submersion. Ces dernières sont subies par la culture qui doit s'y adapter au détriment de son rendement potentiel. Les conditions de submersion constituent le facteur limitant de la production bien avant la fertilité des sols.

Si cette dernière est suffisante pour justifier par ailleurs un accroissement substantiel des rendements potentiels, il peut être envisagé d'acquiescer une plus grande maîtrise de l'eau en réalisant un contrôle des hauteurs de submersion à l'intérieur du casier. On accède alors à un aménagement plus élaboré dit aménagement de submersion contrôlée, ou encore aménagement secondaire.

3.3.1 Principes techniques d'équipement

L'aménagement de submersion contrôlée suppose la limitation en tous points de la hauteur de submersion au-dessus des sols cultivés. Ceci permet d'adopter dans le casier des variétés de riz dressé plus productives que les variétés de riz flottant.

Avec ces variétés de riz dressé, la hauteur de submersion pourra être ramenée par exemple (cas du D52/57) entre 0,10 m et 0,40 m, soit une latitude de l'ordre de 30 centimètres. L'aménagement de submersion contrôlée consistera en un découpage de la superficie cultivée en un certain nombre de secteurs hydrauliquement indépendants, où le niveau maximal du plan d'eau pourra être fixé de manière à ce que la hauteur de submersion ne dépasse en aucun point la limite supérieure de tolérance de la variété choisie.

Le découpage du casier en secteurs indépendants suppose la réalisation de digues de deuxième ordre à l'intérieur du périmètre délimité par la digue principale qui en ferme la périphérie. De plus chaque secteur doit pouvoir être mis en eau selon un programme qui lui est propre: son alimentation en eau doit donc être indépendante, ce qui suppose l'existence de canaux d'irrigation et d'ouvrages de prise de second ordre mettant en communication contrôlée le secteur et le canal dont il dépend. L'aménagement de submersion contrôlée fait donc appel à un véritable dispositif d'irrigation, dont il convient de préciser et de justifier le degré de complexité.

La définition de la tolérance de submersion (0,30 m) donnée précédemment à titre d'exemple, correspond aux exigences des riz dressés les plus "plastiques" vis-à-vis des conditions de végétations, et donc de ceux qui offrent le potentiel de rendement le plus limité en dehors d'une stricte maîtrise de l'eau. Il est donc nécessaire de concevoir un aménagement qui permette de respecter la tolérance au moindre coût pour s'assurer d'une rentabilité acceptable de la mise en valeur.

Sachant que chaque casier doit pouvoir être rempli et vidangé de manière indépendante, la première disposition à envisager pour limiter le coût d'équipement consiste à utiliser un seul et même canal pour remplir les deux fonctions: cela suppose l'établissement d'un canal sans pente entre ses points d'origine et d'aboutissement. Le plafond de ce canal doit être situé sous la cote du point le plus bas du casier pour que la vidange totale soit possible. D'autre part la ligne d'eau en phase de remplissage doit être calculée le long du canal de manière à garantir la réalisation dans chaque secteur de la hauteur minimale de submersion en son point le plus haut.

En pratique, le canal dit adducteur (premier ordre) relie l'ouvrage de prise en rivière au secteur le plus bas du casier. Il est isolé des secteurs plus hauts qu'il traverse par deux cavaliers continus dont la crête est calée à une cote fonction de la plus haute ligne d'eau nécessaire au remplissage. Chaque secteur peut communiquer avec le canal adducteur au moyen d'un ouvrage de prise de second ordre équipé de vannes à glissement.

A l'intérieur de chaque secteur, un canal sans pente relie le point le plus bas à l'ouvrage de prise secondaire. Le plafond de ce canal est calé à la cote du point le plus bas du secteur, et il est dépourvu de cavalier (les déblais extraits lors de son creusement sont régaliés). Ces canaux intérieurs sont indispensables pour permettre la vidange complète du secteur en phase de drainage et pour permettre un remplissage par débordement en évitant les risques de ruissellement de débits importants sur de fortes dénivelées.

Ce mode d'aménagement conduit donc à assurer la mise en eau par remplissage de chaque casier à partir de son point le plus bas, par l'emploi d'une technique de débordement contrôlé: on le qualifie généralement d'"irrigation par l'aval".

3.3.2. Modalités pratiques d'établissement de l'aménagement

La submersion contrôlée, dans son principe, limite l'intervalle de variation des hauteurs de submersion à une valeur compatible avec les conditions de végétation des variétés de riz dressé les moins exigeantes. Elle conduit de ce fait à réaliser des ouvrages aussi peu coûteux que possible, ce qui se traduit par des équipements à maille très large. Sauf impossibilité résultant de la configuration du terrain, toutes les terres cultivables d'une même tranche altimétrique se regrouperont dans un ou deux secteurs tout au plus. Dans un casier de 1 000 à 1 500 ha, chaque secteur couvrira plusieurs centaines d'hectares sans discontinuité hydraulique. Cette superficie dépendra surtout de la pente du terrain, qui imposera la longueur sur laquelle sera répartie la dénivelée admise.

La maîtrise de l'eau est encore très partielle, imparfaite. Elle n'existe que dans les limites permises par le déroulement de la crue et disparaît durant la phase de submersion: tout assec, tout abaissement de plan d'eau est exclu durant cette période du fait de l'irrigation par l'aval d'une part, de la confusion des dispositifs d'irrigation et de drainage d'autre part.

Ce type d'aménagement peut s'appliquer aussi bien au cas du lit majeur d'un fleuve qu'à celui de cuvettes en zones deltaïques.

Par contre cet aménagement dit secondaire est susceptible de devenir coûteux à l'excès lorsque le site choisi comporte des dénivelées importantes. L'obligation de caler le plafond de tous les canaux, sans pente par définition, à la cote du point le plus bas des sols cultivés du casier impose la construction d'ouvrages de grande profondeur, d'autant plus coûteux que le nombre de tranches altimétrique est élevé. Un étagement en quatre tranches d'une trentaine de centimètres s'avère déjà excessif dans de nombreux cas.

Une fois menées à bien les études préalables de climatologie, hydrologie et agronomie, la définition des caractéristiques générales d'un aménagement de submersion contrôlée comporte habituellement les étapes suivantes:

- 1 - délimitation globale de la zone susceptible d'aménagement en fonction des aptitudes des sols.
- 2 - définition du niveau maximal de remplissage possible dans la zone choisie, en fonction des données hydrologiques et de la probabilité de satisfaction admise; à ce stade est ainsi précisé le domaine pouvant être effectivement aménagé, compris entre ce niveau et les zones les plus basses.
- 3 - choix de l'intervalle de variation de la hauteur de submersion des sols cultivés admissible dans un secteur; à formuler en liaison avec l'agronome chargé d'étudier les aspects de production.
- 4 - définition des tranches altimétriques qui constitueront le domaine productif de l'aménagement, à l'intérieur des limites constituées par le niveau maximal de remplissage et la cote des zones basses. Cette définition se fonde sur un examen attentif de la disposition topographique des terrains situés à l'intérieur de l'intervalle de variation mis en évidence auparavant. Elle peut conduire à distinguer éventuellement deux ou plusieurs casiers étagés, dans le cas du lit majeur d'un fleuve, afin d'utiliser au mieux la ressource en sols tout en limitant le nombre de tranches altimétriques à trois dans chaque casier entièrement autonome.
- 5 - choix du tracé des digues périphériques (primaires) fermant le casier dont on étudie l'aménagement (une digue peut être, le cas échéant, commune à plusieurs casiers mitoyens), en utilisant au mieux les points hauts (bourrelets de berge, etc.). En aucun cas il n'est nécessaire que ces digues jouxtent la zone cultivée la plus haute, une zone exondée pouvant s'interposer sans inconvénient.
- 6 - choix de la cote en crête de l'endiguement primaire, en fonction de l'hydrogramme de crue du fleuve correspondant à la probabilité de non dépassement choisie.
- 7 - délimitation des secteurs à l'intérieur du casier en s'appuyant sur le tracé des courbes de niveau correspondant aux limites des tranches altimétriques précédemment définies. Cette délimitation permet de déterminer le tracé des digues de second ordre intérieures au casier. Ces digues doivent être implantées au plus près des courbes de niveau correspondantes, tout en recherchant des alignements propres à en faciliter la construction au moyen d'engins mécaniques.

- 8 - détermination du niveau normal de submersion de chaque secteur, et choix de la cote en crête des différentes digues secondaires en fonction de ces niveaux. Il est à noter que ces digues servent en général de voies de circulation à l'intérieur du casier, et que leurs caractéristiques de plateforme doivent être fixées en conséquence.
- 9 - recherche du tracé des canaux et de l'implantation des ouvrages de prise. La conception technique des canaux, et l'obligation de caler leur plafond à la cote des terres cultivées les plus basses conduisent à rechercher le plus possible des thalwegs ou dépressions pour obtenir un tracé économique en limitant autant que possible le volume de déblais à extraire. De même l'ouvrage de prise en rivière sera implanté en mettant à profit une brèche naturelle du bourrelet de berge. Etabli entre deux cavaliers, s'il est perpendiculaire ou oblique par rapport aux courbes de niveau, le canal adducteur constitue obligatoirement une séparation entre secteurs indépendants. Dans certains cas, un adducteur peut suivre, en courbe de niveau, le tracé d'une digue de séparation entre les deux secteurs qu'il alimente: le plus haut est rempli par simple débordement du canal qui n'est pas bordé par un cavalier sur la berge concernée; le plus bas est alimenté par des ouvrages de prise vannés établis au travers de la digue de séparation.
- 10 - définition des caractéristiques générales des canaux et ouvrages de prise (débits, cotes de radier ou plafond)

3.4. Les aménagements de submersion dirigée

La submersion contrôlée constitue un progrès décisif par rapport à l'équipement primaire envisagé en premier lieu. Elle permet de généraliser l'utilisation de variétés de riz dressé, et de réaliser une véritable conduite de l'eau à l'intérieur d'un casier. Toutefois elle offre un certain nombre d'inconvénients importants vis-à-vis de l'exploitation et du développement de la production:

- le choix des variétés de riz demeure limité aux plus plastiques d'entre elles, aux moins exigeantes en matière hydraulique, qui sont également les moins productives.
- la maîtrise de l'eau n'est que partielle, et limitée dans le temps aux phases de remplissage initial et de vidange finale, tout en restant soumise aux aléas hydrologiques.
- les très grands secteurs formant plan d'eau unique rendent très difficile l'accès aux terres durant la submersion, dès qu'elles ne sont pas en bordure des digues. De ce fait le désherbage est une opération redoutée par les agriculteurs obligés d'effectuer un long trajet dans l'eau avant d'atteindre leur parcelle. Bien souvent, cette situation tend à supprimer le désherbage, au détriment des rendements.

Ces divers inconvénients conduisent à envisager, lorsque les autres conditions, (climat, sols, hydrologie) sont favorables à une production plus intensive, la réalisation d'aménagements plus perfectionnés, capables d'assurer une maîtrise réelle de l'eau dans le périmètre rizicole dont on envisage la création. Ce sont les aménagements de submersion dirigée.

3.4.1. Principes techniques d'équipement

Le recours à un aménagement plus perfectionné, plus complexe, implique un montant plus élevé des investissements à superficie égale. La rentabilité de ces derniers exigera un progrès sensible en matière de rendements, et donc le recours à des variétés de riz plus productives mais plus exigeantes.

De ce fait la première condition à laquelle devra satisfaire un aménagement constituant un progrès par rapport à la submersion contrôlée sera une limitation de l'intervalle de variation de la hauteur de submersion. Il s'y ajoutera nécessairement la possibilité de régler efficacement les vitesses de montée du plan d'eau. Dans toute la mesure du possible il conviendra enfin de pouvoir modifier le niveau du plan d'eau en cours de submersion, et de réaliser le cas échéant un assec.

L'aménagement de submersion dirigée, capable de satisfaire à ces conditions, devra donc permettre de limiter l'intervalle de variation de la hauteur de submersion à 0,10 m, maximum admis par les variétés à haut potentiel de production. Il devra d'autre part se subdiviser en sous-secteurs hydrauliquement indépendants de l'ordre de 20 à 50 ha pour une conduite efficace de l'irrigation. Il devra enfin séparer totalement les fonctions d'irrigation et de vidange pour pouvoir acquérir une maîtrise réelle et permanente des plans d'eau durant la crue du fleuve. L'irrigation s'opérera donc par l'amont, l'adduction empruntant des points hauts, tandis que la vidange restera conforme au schéma de submersion contrôlée mais devra déboucher dans un exutoire situé à une cote sensiblement plus basse que celle des eaux du fleuve en crue si on veut conserver à l'aménagement un caractère purement gravitaire.

Ces principes directeurs se traduisent, dans la pratique, par des modalités d'aménagement très différentes de celles qui suffisent pour réaliser la submersion contrôlée. Dans ce dernier cas, la trame de premier ordre était déterminée par la disposition des zones basses et par les endiguements étagés en altimétrie à l'intervalle de 0,30 m en moyenne. Dans le cas présent, la trame générale sera déterminée par le tracé des adducteurs d'irrigation qui devra utiliser le plus possible les points hauts, et par le tracé des collecteurs de drainage qui suivront au plus près les lignes de thalweg observées dans la zone à aménager.

Ces tracés en général imposés par le modelé du terrain détermineront une ossature générale du réseau hydraulique, à l'intérieur de laquelle devra être opéré un découpage en tranches altimétriques de 0,10 m. Un tel découpage peut évidemment être réalisé de manière géométrique et plus ou moins arbitraire, en ayant recours à d'importantes opérations de planage pour inscrire chaque parcelle obtenue à l'intérieur de l'intervalle de tolérance altimétrique. Il s'agit d'une solution coûteuse qui ne peut généralement pas être justifiée. La disposition topographique des plaines d'inondations, dans un lit majeur ou une zone deltaïque, permet normalement d'opérer un découpage en courbes de niveau. Les limites recherchées, où seront implantées des digues de séparation, seront confondues avec les courbes de niveau continues à l'intervalle de 10 centimètres éventuellement redressées localement pour éviter d'excessives sinuosités. Dans ces conditions, les travaux de terrassement pour planage se limiteront à des opérations de correction du relief local (effacement de buttes, comblement de petites dépressions) et n'imposeront qu'un volume réduit de travaux de terrassement. La hauteur des digues de séparation, d'autre part sera régulière et limitée à sa valeur minimale possible. Les canaux adducteurs de dernier ordre et les collecteurs de vidange homologues seront disposés en alternance selon les lignes de plus grande pente. Ces ouvrages seront obligatoirement séparés des parcelles par des cavaliers continus, et ne communiqueront avec elles qu'au moyen d'ouvrages de prise obturables.

Un tel dispositif, complété par des équipements permettant un contrôle précis des débits dans les différents canaux adducteurs, permet évidemment d'acquérir une maîtrise complète de l'eau dans le périmètre pour autant que les caractéristiques de la crue fluviale en permettent le fonctionnement.

Vis-à-vis de l'utilisation gravitaire de l'onde de crue, la contrainte majeure qui s'impose à la submersion dirigée résulte de l'irrigation par l'amont. La mise en eau ne peut en effet débiter que lorsque la cote atteinte par la crue est suffisante pour établir la ligne d'eau normale dans les canaux adducteurs.

Si la durée de passage de l'onde de crue, pour la probabilité adoptée, est suffisante à une cote permettant d'établir cette ligne d'eau, la superficie dominée et cultivée sera égale à celle que délimiterait un aménagement de submersion contrôlée.

Si par contre cette durée est inférieure à celle qu'exige le calendrier cultural, il sera nécessaire de choisir une cote de plan d'eau à la prise en rivière plus basse capable d'assurer, avec la probabilité de réalisation choisie, la durée de submersion exigée par le calendrier cultural. Il en résultera si l'on renonce à relever les eaux par pompage, une limitation de la superficie cultivée du périmètre, par suite d'une réduction de l'amplitude de la tranche altimétrique bénéficiant de la submersion dans les conditions fixées. La submersion dirigée sera donc caractérisée, en ce qui concerne sa rentabilité économique et financière, par des coûts d'équipements plus élevés (maille hydraulique beaucoup plus serrée, séparation des fonctions irrigation et drainage) et par une limitation des superficies cultivées par rapport aux aménagements plus simples chaque fois que l'amplitude et la durée de la crue pourront constituer un facteur limitant.

En compensation, la submersion dirigée permet un contrôle précis des hauteurs de submersion et des vitesses d'évolution des plans d'eau, totalement indépendants les uns des autres: elle permet le recours à des variétés de riz exigeantes, parmi lesquelles figurent toutes les variétés à haute productivité.

3.4.2. Modalités pratiques d'établissement de l'aménagement.

La possibilité d'établir un aménagement de submersion dirigée dans un site donné résulte principalement, en dehors des considérations de rentabilité évoquées précédemment, du modelé du terrain.

Le découpage parcellaire en courbes de niveau à l'intervalle de 10 cm doit pouvoir donner lieu à des bandes cultivables suffisamment larges pour que les parcelles offrent une superficie acceptable, sans que ces parcelles deviennent exagérément allongées. Cela signifie qu'un tel type d'aménagement exige un terrain régulier dans son modelé général et où les pentes soient faibles en dehors d'exceptions locales. Une pente de 1 ‰ impose des digues de séparation espacées de 100 mètres, largeur très faible pour des parcelles rizicoles alors qu'une telle pente est en général tenue pour modérée.

Avant de choisir une solution de submersion dirigée, il convient donc de s'assurer par un premier examen rapide de la topographie que les pentes moyennes ne donneront pas lieu à une densité d'ouvrages inacceptable vis-à-vis des coûts d'équipement et également des conditions d'exécution des façons culturales.

En l'absence de contre-indications dans ce domaine, il convient de procéder, comme pour les autres types d'aménagement, aux études préalables de climatologie, hydrologie et agronomie. Il est important de noter que le choix de la probabilité de satisfaction revêt ici une importance toute particulière: le coût élevé de l'aménagement, le recours à des variétés exigeantes en matière hydraulique donnent une importance accrue aux risques climatologique et hydrologique.

Ces études préalables achevées, celles propres à l'aménagement comportent les étapes suivantes:

- 1 - délimitation globale de la zone susceptible d'aménagement, en fonction des aptitudes des sols.
- 2 - détermination de la cote de plan d'eau à la prise en rivière qui sera réalisée pendant la durée minimale exigée par le calendrier cultural avec la probabilité de satisfaction choisie. En tenant compte d'une évaluation sommaire des pertes de charge dans les canaux jusqu'aux points les plus hauts du périmètre, on peut ainsi fixer la cote maximale admissible pour les terres effectivement cultivables, et délimiter ces dernières.
- 3 - recherche des localisations les plus favorables de la prise en rivière et du point de rejet à l'exutoire des eaux de vidange (lit du fleuve en aval, dépression très basse et non cultivable etc.)

- 4 - étude du tracé de l'ossature générale de l'aménagement, comprenant l'endiguement périphérique de protection générale, les canaux adducteurs suivant les points hauts et les collecteurs suivant les lignes de thalweg. Il en résultera une trame générale qui s'imposera dans toute la suite des opérations.
- 5 - recherche et tracé des courbes de niveau continues à l'intervalle de 10 cm s'inscrivant dans la trame générale précédente sur laquelle elles prendront appui.
- 6 - ajustement du tracé des canaux adducteurs et des collecteurs en fonction de la disposition et de l'orientation des parcelles imposées par les courbes de niveau.
- 7 - étude du tracé des canaux d'irrigation et de vidange en fonction de la disposition des ouvrages et des courbes de niveau.
- 8 - ajustement du tracé des digues en courbes de niveau, comportant la réalisation de rectifications locales. A ce stade le parcellaire complet et l'implantation des ouvrages hydrauliques de toutes natures sont entièrement définis.
- 9 - détermination des débits nominaux à prévoir dans les différents canaux et ouvrages de prise ou de régulation.
- 10 - définition des caractéristiques de l'endiguement périphérique (profil en travers, largeur et cote en crête)
- 11 - détermination des caractéristiques des digues intérieures et des cavaliers de canaux et collecteurs en fonction des cotes des plans d'eau.
- 12 - choix des techniques de régulation des débits dans les canaux adducteurs, des modalités de contrôle et de partition.
- 13 - définition des caractéristiques générales des ouvrages de prise ou de régulation, ainsi que des sections et profils en long des canaux.

Au terme de cet enchaînement d'études particulières, tous les éléments nécessaires au calcul du projet se trouvent déterminés et rassemblés.

L'aménagement de submersion dirigée, défini selon les principes qui précèdent, constitue un instrument complet d'acquisition de la maîtrise de l'eau. Mais il ne saurait pas à lui seul garantir cette dernière en toutes circonstances. Il est soumis à la réalisation d'une condition aval pour le rejet des eaux de vidange, notamment si on désire mettre temporairement la rizière à sec en cours de végétation. D'autre part il demeure entièrement soumis aux aléas relatifs à la réalisation des conditions climatologique et hydrologique.

L'utilisation de la submersion dirigée dans un dispositif totalement gravitaire doit donc être réservé à des cas où les caractéristiques hydrologiques et climatologiques sont favorables à l'établissement d'un périmètre de grande superficie utile avec une probabilité globale de réalisation des différentes conditions d'alimentation en eau (pluie et crue) supérieure à 90 %. Une telle probabilité combinée n'apparaît possible que dans des cas très rares en climat soudano-sahélien.

3.5. Le pompage de garantie ou d'appoint

Par définition, l'utilisation de l'onde de crue pour la submersion de rizières correspond normalement à une alimentation en eau gravitaire des sols cultivés.

Dans ce qui précède nous avons exposé les techniques d'aménagement capables d'assurer une maîtrise de l'eau de plus en plus poussée, sous réserve que le niveau atteint par les eaux durant la crue du fleuve soit suffisamment élevé durant une période suffisamment longue, et que cette cote soit atteinte assez tôt pour assurer le relais de l'alimentation en eau d'origine pluviale.

De tels aménagements malgré les sécurités envisagées restent exposés aux aléas climatique et hydrologique. L'apparition de ces aléas se traduit par des conséquences majeures dès qu'on se trouve **au-dessous** de la condition minimale fixée. A titre d'exemple, la crue déficitaire du fleuve Sénégal en 1968, en aménagement de submersion contrôlée dans le delta du fleuve, a eu pour conséquence une réduction de la production à 10 % de sa valeur moyenne. Déjà grave d'un simple point de vue économique, un tel accident est catastrophique dans le cas d'un périmètre de paysannat où il laisse sans ressource des agriculteurs récemment venus à la riziculture. Au delà de la perte de récolte et de l'engagement de frais cultureux à fonds perdus, les effets psychologiques d'un tel aléa sont désastreux pour la réussite d'une action de mise en valeur. Durant les premières années, il peut s'ensuivre un échec complet de l'action entreprise.

Pour éviter de tels effets, les promoteurs d'une action de mise en valeur peuvent être conduits à demander une maîtrise complète de l'eau: le pompage doit dès lors être envisagé pour prévenir les conséquences des aléas climatologique et hydrologique.

Ce recours au pompage ne saurait constituer une alternative vis-à-vis de l'utilisation gravitaire de l'onde de crue: cette dernière demeure le mode normal d'alimentation en eau, correspondant à une probabilité de satisfaction qui devra demeurer aussi élevée que possible. Le pompage n'intervient donc que comme une garantie vis-à-vis des défauts d'alimentation gravitaire suivants:

- niveau de la crue à la prise insuffisant au moment des plus hautes eaux
- durée de la crue au niveau fixé pour la prise insuffisante vis-à-vis des nécessités de la submersion
- montée de la crue trop tardive pour assurer le relai de l'alimentation pluviale

Le pompage de garantie n'intervient donc que lorsque l'alimentation en eau gravitaire, constituant le mode de submersion normal, est mise en défaut par une anomalie ayant trait à l'amplitude ou au calendrier de la crue.

Lorsqu'il est admis de recourir au pompage de garantie, on peut également songer à mieux valoriser l'équipement installé à cet effet en admettant un pompage d'appoint, de manière à accroître la superficie desservie en se plaçant au-delà des conditions où une alimentation gravitaire est possible. Il ne faut pas oublier que cette technique est coûteuse: elle contraint en général à une fermeture des ouvrages de prise gravitaires et au pompage systématique de l'eau destinée à l'ensemble du périmètre, en imposant en tête du canal d'amenée une cote de plan d'eau supérieure à celle permise par la crue, quelle que soit l'amplitude de cette dernière. Contrairement au pompage de garantie, le pompage d'appoint ne doit être utilisé que dans des cas très particuliers. Il ne relève plus de l'utilisation de l'onde de crue proprement dite, mais d'une technique de mise en valeur différente.

4. CONCLUSIONS

La riziculture basée sur la seule utilisation de l'onde de crue présente de nombreux aléas qu'il convient d'éliminer.

Seule l'irrigation de submersion contrôlée permet de réduire ces aléas qui pourront être en totalité supprimés dès lors qu'on aboutit à la maîtrise complète de l'eau en dissociant réseaux d'irrigation et réseaux de vidange et en n'hésitant pas à équiper l'aménagement en station de pompage si besoin est.

Quels que soient les schémas d'équipement proposés, on ne perdra pas de vue, que pour le paysan les résultats à attendre ne peuvent être appréciés dans les seuls termes de la rentabilité classique, mais aussi dans ceux des ressources alimentaires indispensables à une population et de la faible capacité de celle-ci à faire face à un accident tel que la perte de récolte.

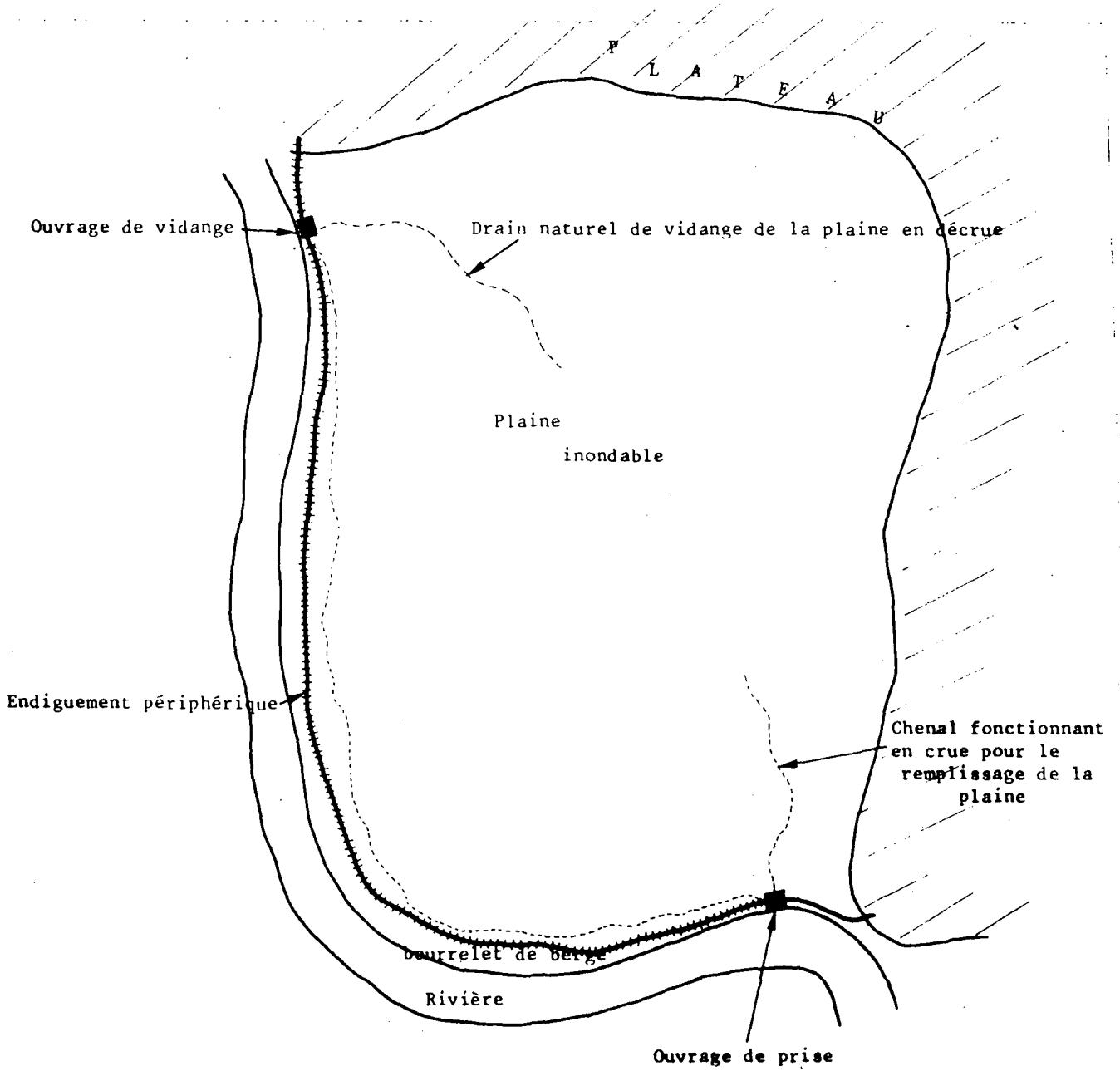


Planche 1 - L'aménagement primaire ou aménagement de submersion semi-controlée.

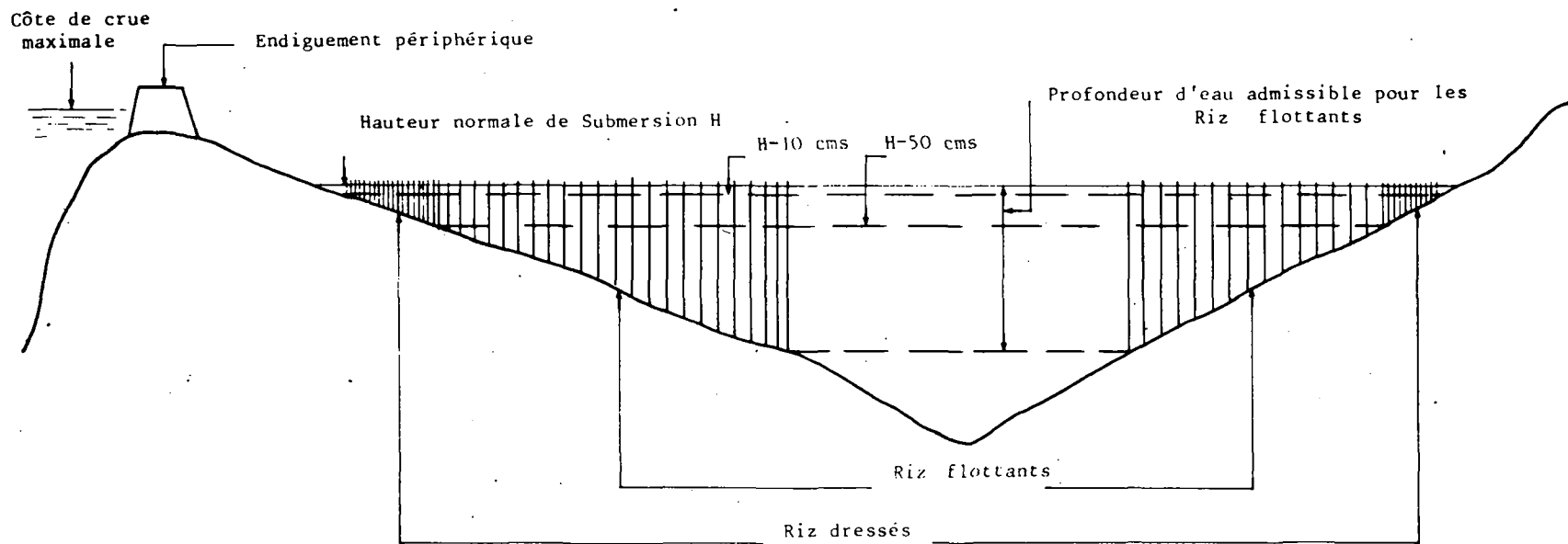


Planche 2 - Les franges concentriques dans un aménagement de submersion semi-contrôlée.

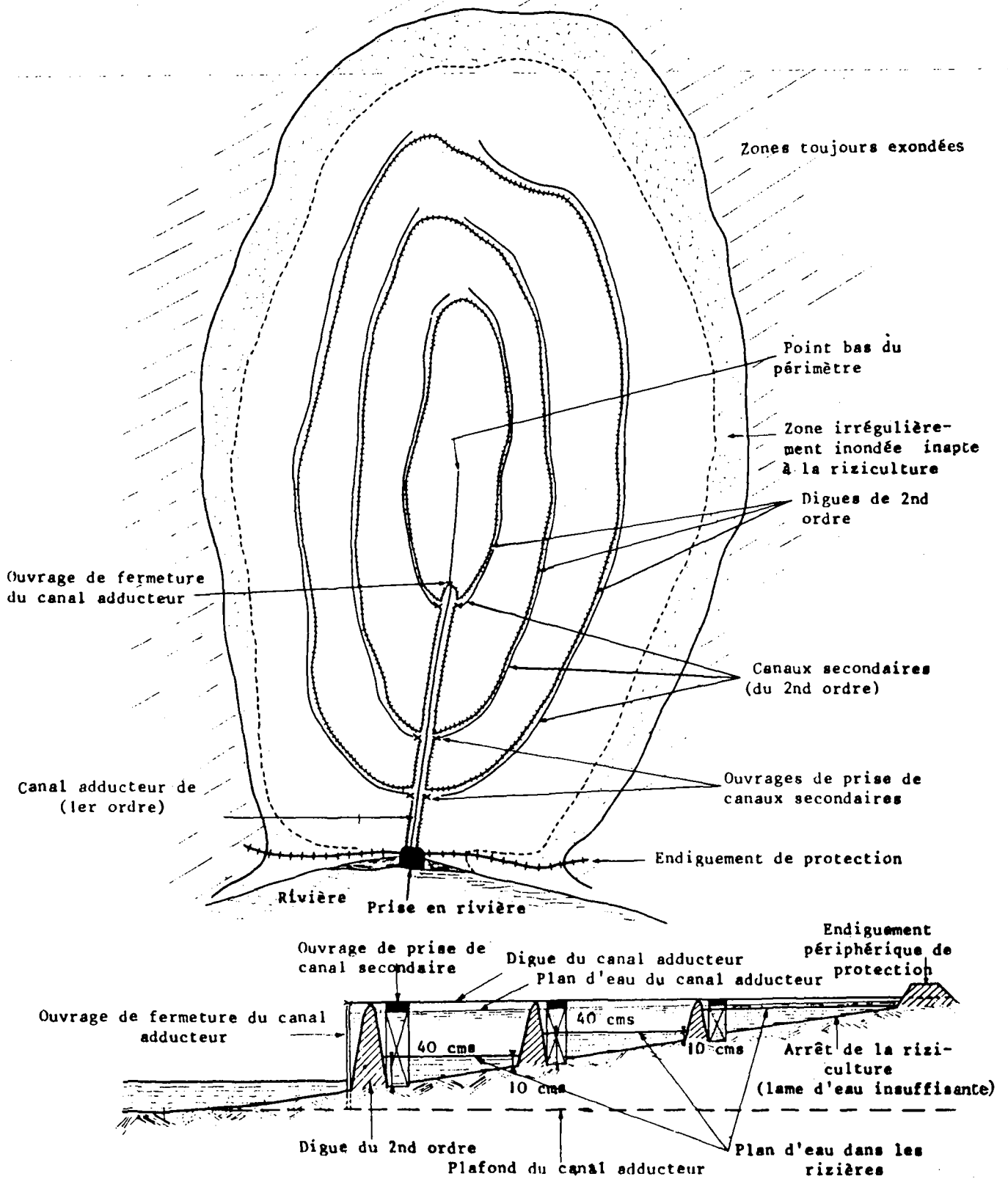
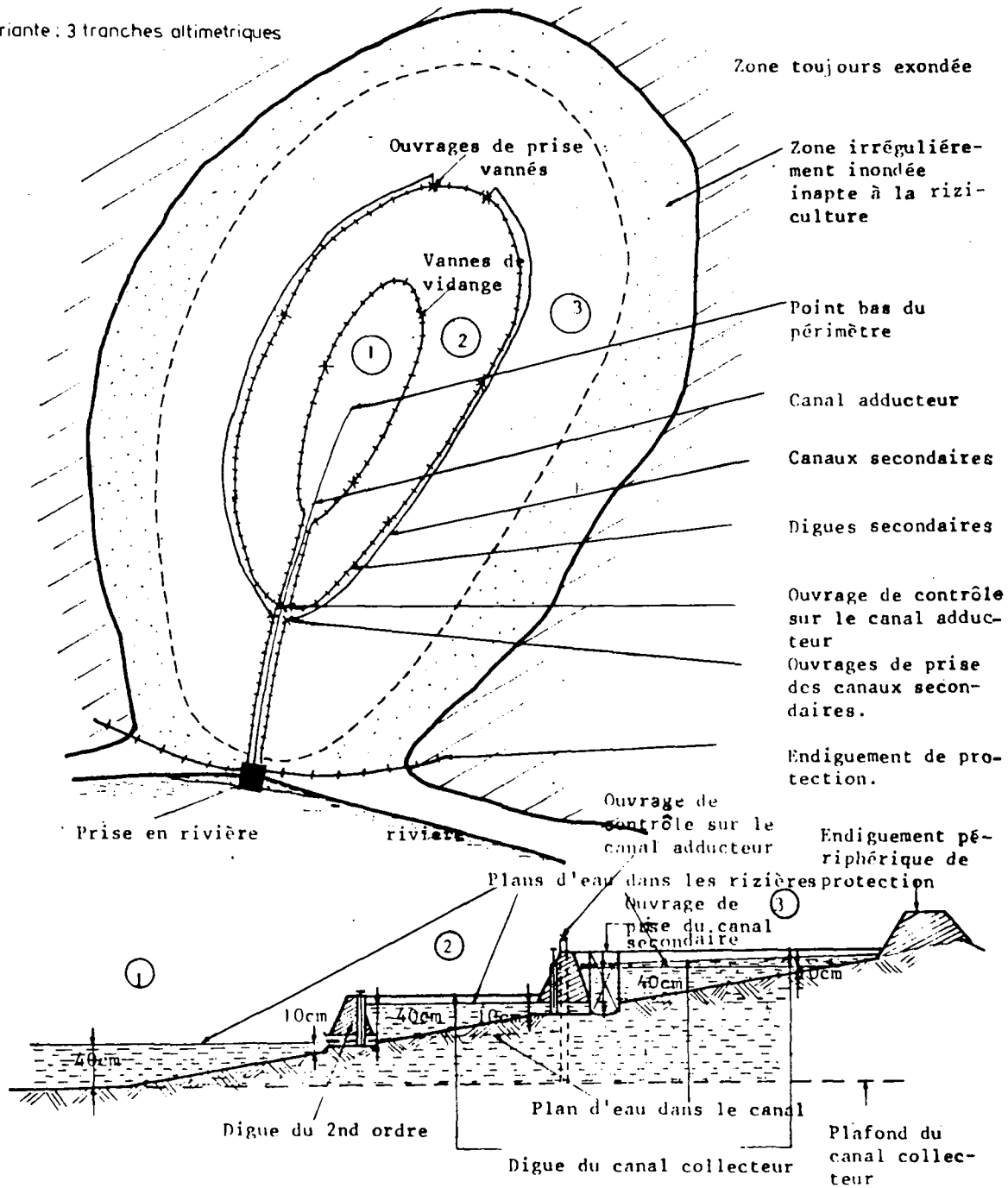


Planche 3 - L'aménagement de submersion contrôlée.

Variante : 3 tranches altimétriques



- A - Un ouvrage de contrôle sur le canal adducteur permet de diminuer la cote de ses digues à partir de 2
- B - Des ouvrages vannés permettent l'irrigation de l'anneau 2 par gravité depuis le canal secondaire de 3
- C - Des ouvrages vannés permettent la vidange de l'anneau 2 à travers l'anneau 1
- D - L'ouvrage de fermeture du canal à l'entrée dans la cuvette niveau 1 peut être supprimé, le contrôle du canal se faisant entre 2 et 3.

Planche 4 - L'aménagement de submersion contrôlée (variante).

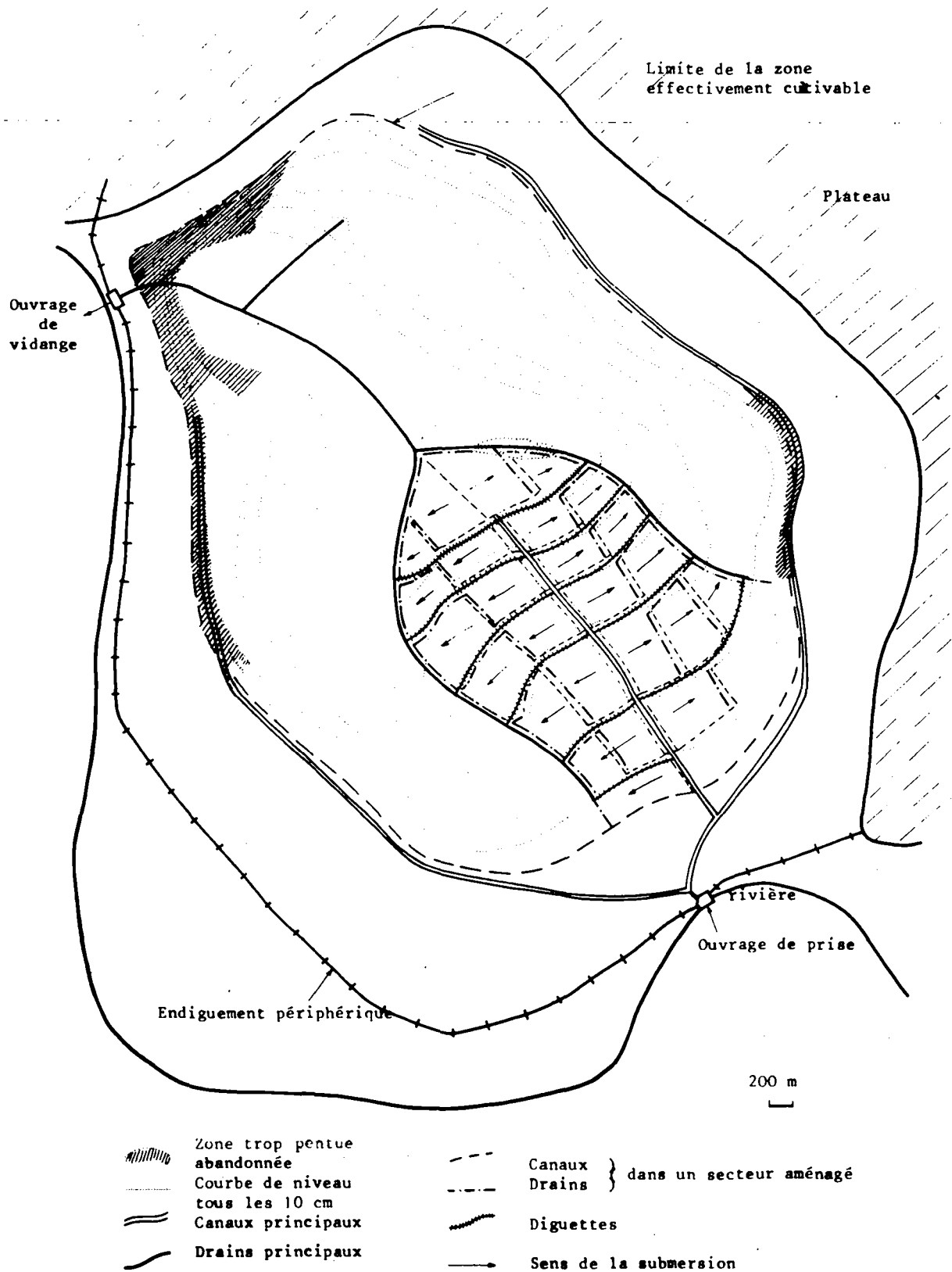


Planche 5 - L'aménagement de submersion dirigée.

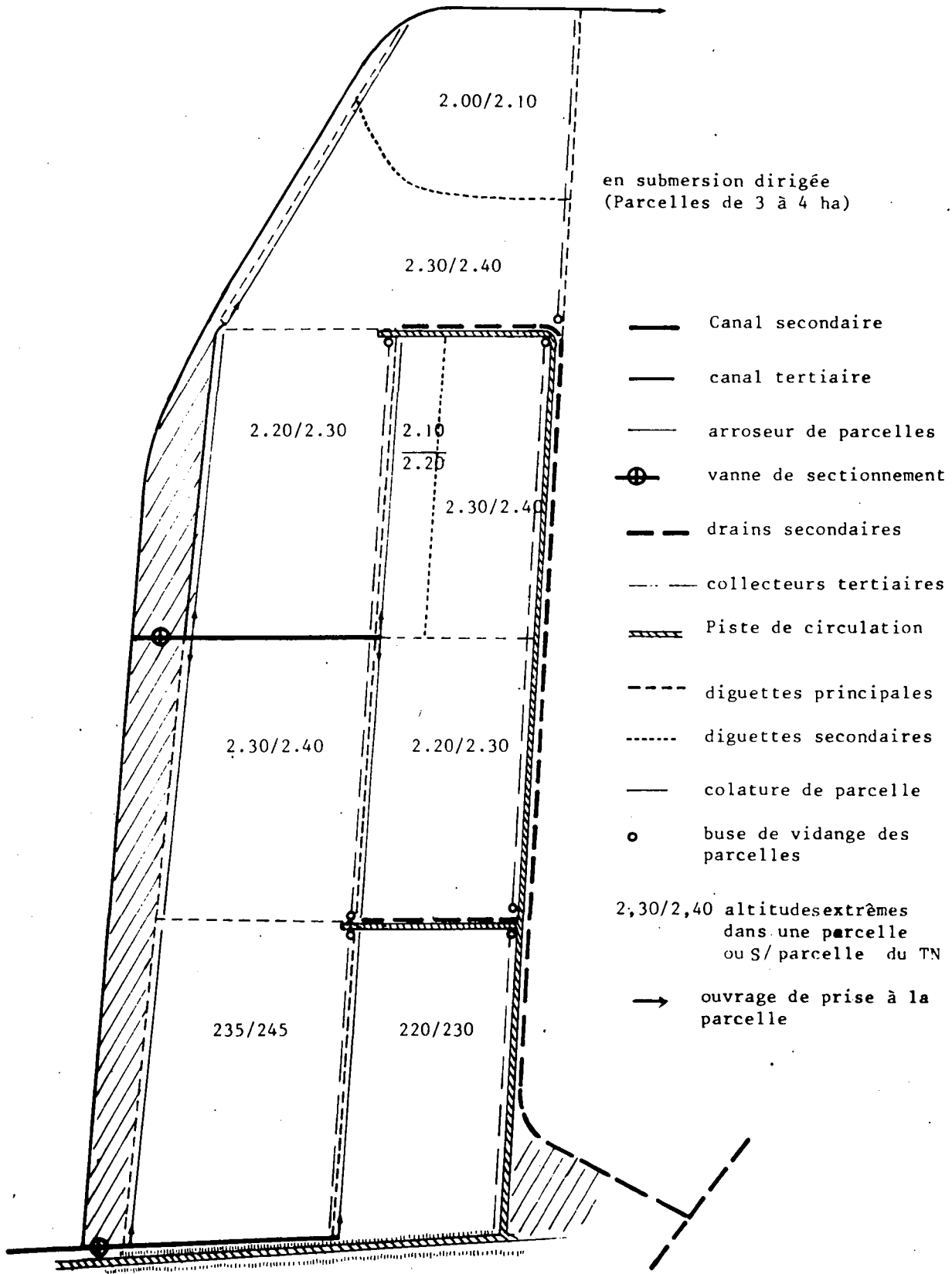


Planche 6 - L'aménagement terminal en submersion dirigée.

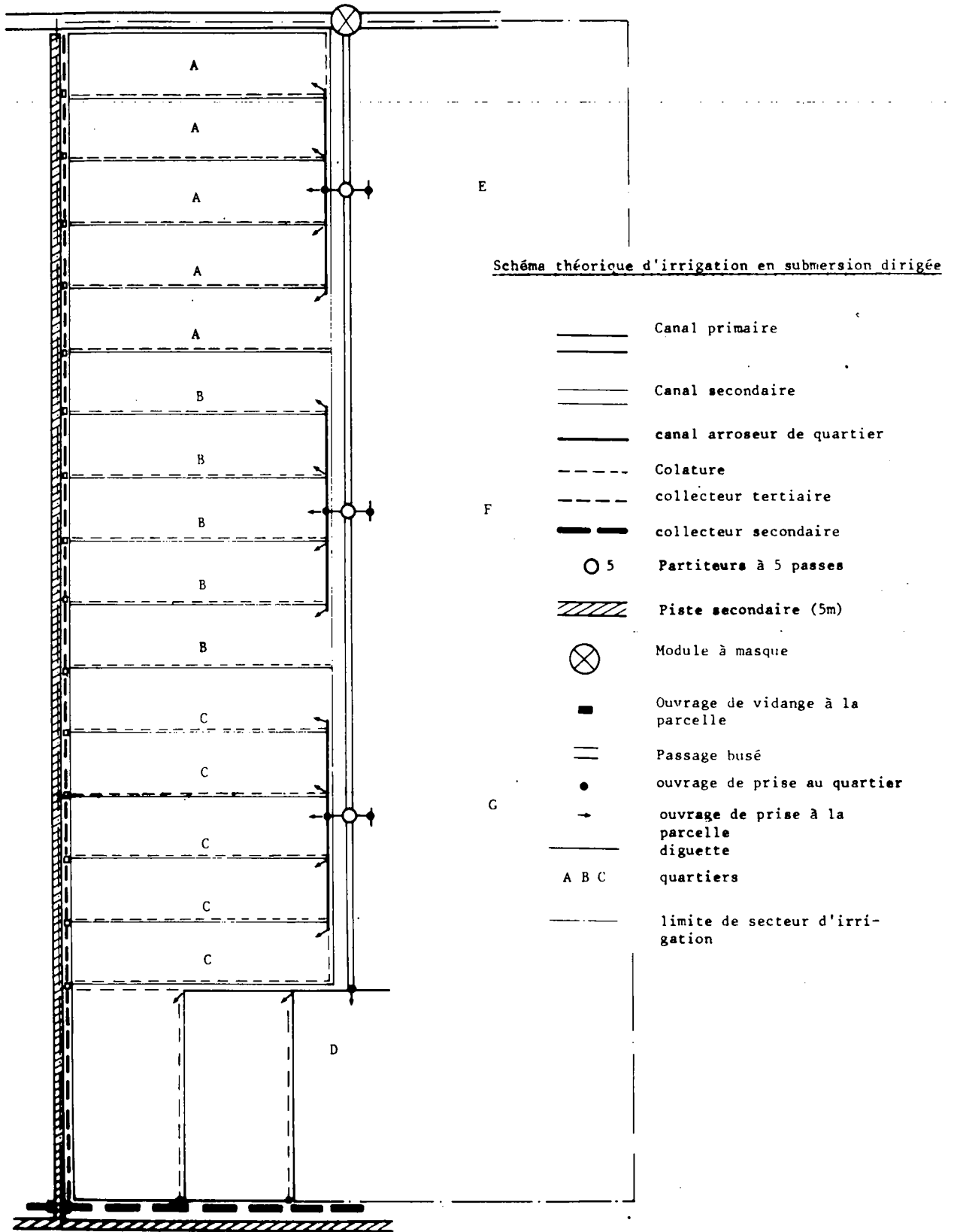


Planche 7 - L'aménagement terminal en submersion dirigée (variante).

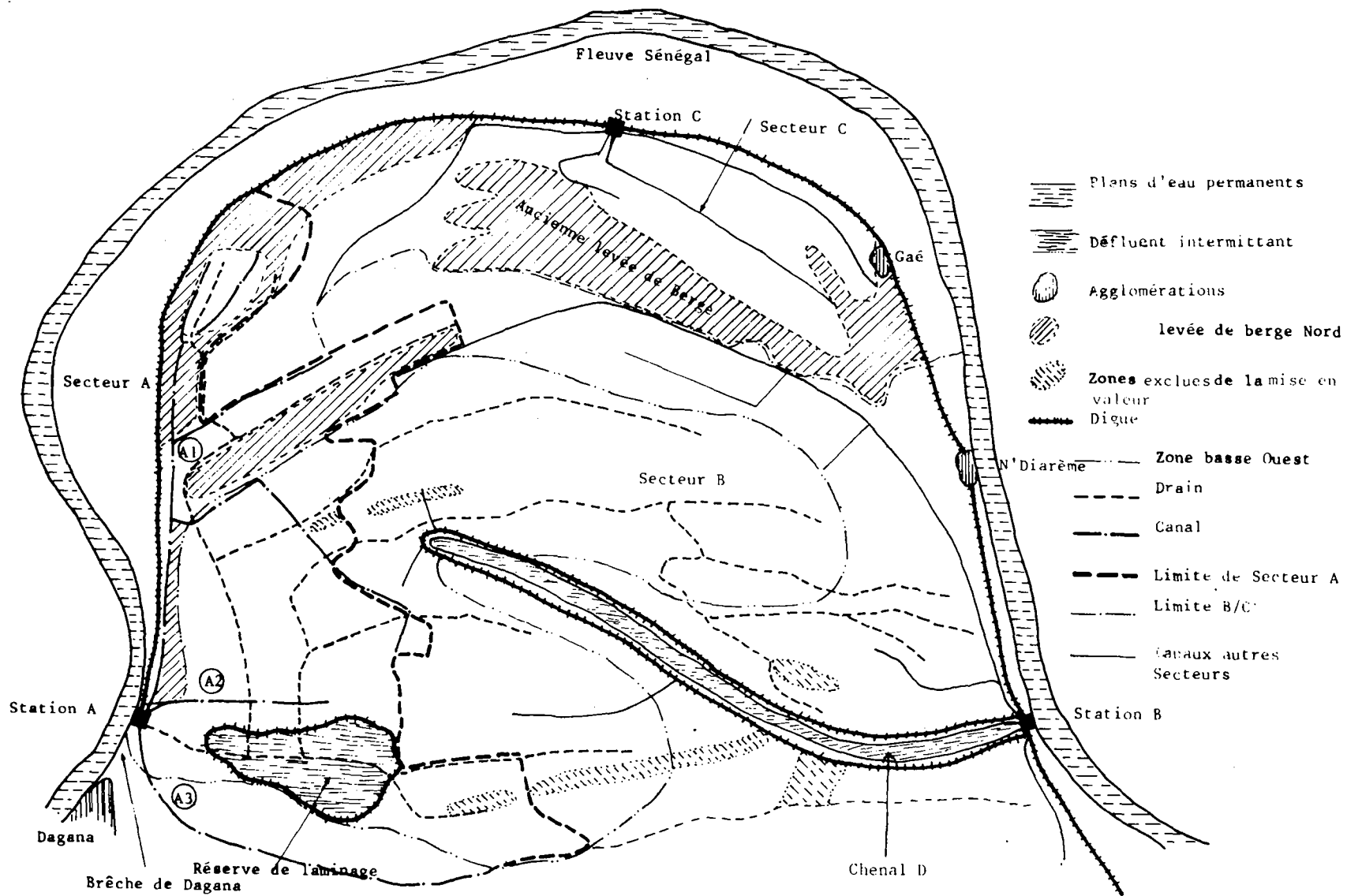
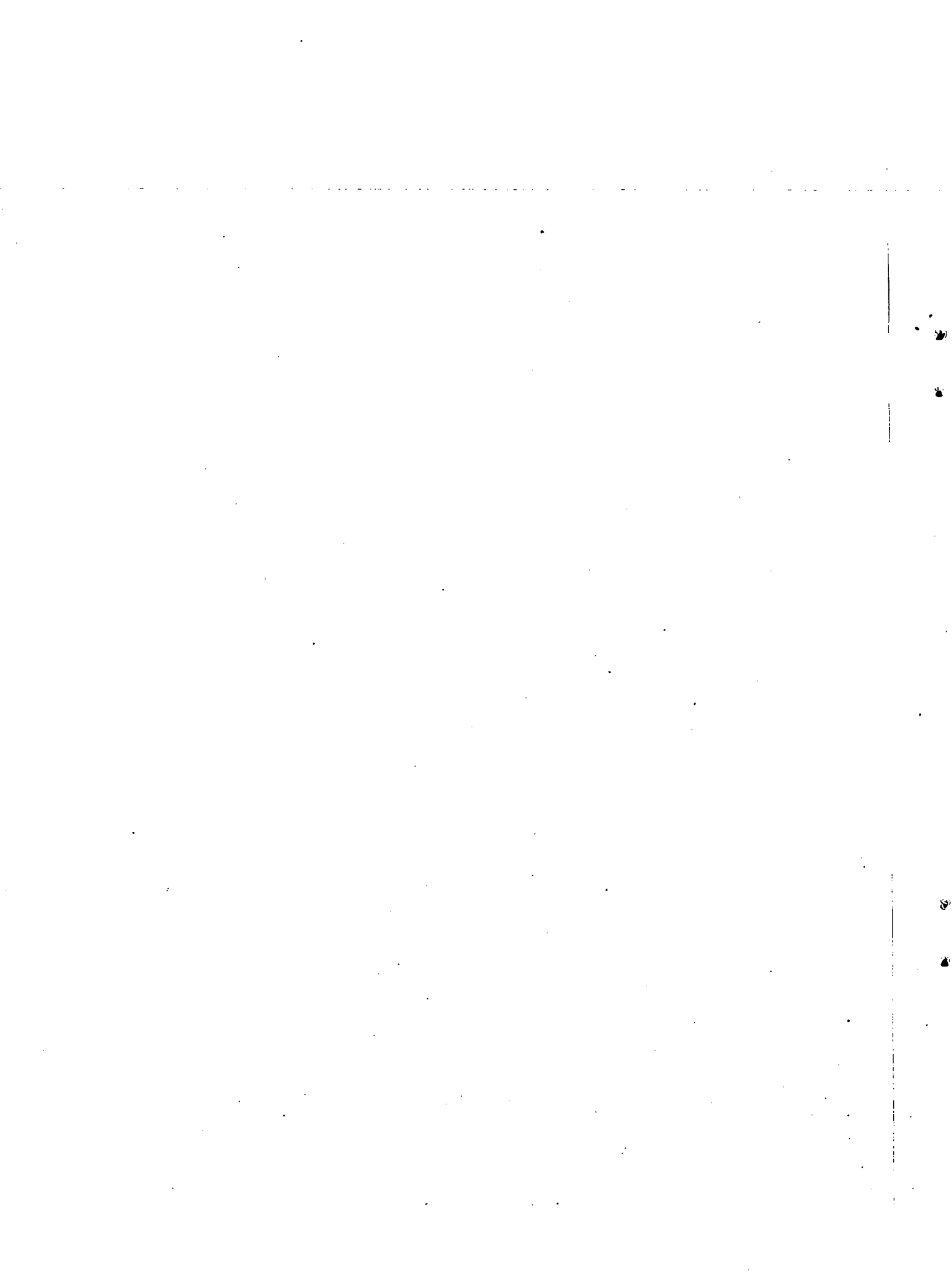


Planche 8 - L'aménagement de DAGANA 3500 ha dans le delta du SENEGAL (République du SENEGAL).



II. 3.

LES AMENAGEMENTS RIZICOLES EN COTE D'IVOIRE, par J. OULAI

RESUME

L'auteur du présent document décrit les différents types d'aménagements hydrauliques utilisés par la SODERIZ, pour améliorer et intensifier la production du riz et rendre la Côte d'Ivoire capable de satisfaire à ses besoins. Par une approche intéressante, il démontre qu'à partir de petits ouvrages rustiques à l'usage desquels le paysan ivoirien s'adapte aisément, il est possible d'évaluer graduellement vers des techniques et ouvrages plus complexes permettant la double culture annuelle.

L'auteur met l'accent sur la nécessité, de motiver le paysan, d'avoir son adhésion totale au projet en lui faisant prendre conscience de l'intérêt de faire évoluer ses pratiques agricoles. Il insiste également sur l'importance de l'aspect formation. Enfin l'auteur décrit le type de contrat qui lie la SODERIZ avec les exploitants des rizières et les engagements réciproques qui en résultent.

1. Introduction

La politique rizicole ivoirienne se caractérise par trois fonctions principales: consommation, production et importation.

La consommation croît extrêmement vite sous les effets conjugués de l'urbanisation, de l'élévation du niveau de vie, de l'augmentation des revenus et de la croissance démographique.

Les efforts fournis pour développer la production n'ont pas permis de couvrir ces besoins par une production nationale. Pour combler le déficit qui n'a pas cessé d'augmenter jusqu'en 1974, la Côte d'Ivoire importait du riz de l'extérieur (24 000 T en 1967, 90 000 T en 1970, 88 000 T en 1972). Cette importation massive de riz présente l'inconvénient de gréver la réserve de devises dont le pays a besoin pour acquérir ses biens d'équipement.

La Côte d'Ivoire a décidé de couvrir ses besoins propres par une production nationale dans les plus brefs délais. Pour ce faire, elle s'est dotée d'un instrument spécialisé: la Société pour le développement de la riziculture (SODERIZ) créée le 28 septembre 1970.

Au même moment, une option ferme est faite en faveur de la riziculture irriguée qui présente d'importants avantages par rapport aux autres types de riziculture pratiqués dans le pays (riziculture inondée et riziculture pluviale).

En effet, elle a une productivité plus élevée et une faible sensibilité aux aléas climatiques. Elle peut permettre également de faire deux cycles de culture dans l'année. Il est alors aisé de comprendre l'importance prise par les aménagements rizicoles en Côte d'Ivoire.

2. LES DONNEES DE BASE

1°) Les zones climatiques en Côte d'Ivoire

La Côte d'Ivoire se divise en trois zones climatiques distinctes. En allant du sud au nord, on rencontre la zone forestière, la zone de transition et la zone de savane.

a) La zone forestière

Elle s'étend sur la partie sud-ouest, centre-ouest et sud-est du pays. Elle se caractérise par l'existence de deux saisons de pluies. La pluviométrie est abondante (1 500 à 2 500 mm/an). Les maxima pluviométriques se situent en juin-juillet (grandes saisons de pluies) et octobre-novembre (petites saisons de pluies). Les variations de températures et de degré hygrométrique sont faibles (26° à 32° et 75 à 90 %).

Cette zone se caractérise aussi par l'existence de nombreux bas-fonds. Ils sont très riches mais le défrichement est assez difficile à cause d'une végétation très dense de palmiers raphia.

b) La zone de savane

Elle s'étend sur la partie nord du pays. La pluviométrie est concentrée et on n'a qu'une saison de pluies (mai-octobre) et une saison sèche qui dure 6 mois (novembre-mai). Les variations de température et de degré hydrométriques sont très importantes (20 à 36°, 60 à 80 %). Le déficit hydrique est grand (550 mm à Ferkessedougou).

On note souvent une irrégularité dans le démarrage et la fin des pluies et cela entraîne des conséquences graves pour l'agriculture. Les bas-fonds sont nombreux mais tarrissent en saison sèche. Les grands cours d'eau comme le BANDAMA, la BAGOE et le KOROUKELE ont des crues extrêmement violentes et irrégulières. La végétation du nord et du type savane soudanienne. Le défrichement est aisé et moins coûteux.

c) La zone de transition

Elle s'étend entre les deux précédentes dont elle cumule les inconvénients. La pluviométrie est très irrégulière et moins importante qu'en zone forestière.

En conclusion la Côte d'Ivoire se caractérise par une pluviométrie importante puisqu'elle n'est jamais inférieure à 1 200 mm et dépasse 2 000 mm dans le sud. Les pluies sont ainsi réparties soit en une saison de pluies (nord), soit en deux saisons de pluies (centre et sud).

2°) Autres éléments de base

Les Ivoiriens ont une tradition rizicole dans le nord, l'ouest et le centre-ouest. Cette tradition repose sur le riz pluvial et secondairement le riz inondé. Ils sont intéressés par la riziculture mais ont tendance à transposer les méthodes du pluvial dans les bas-fonds.

Il existe des réticences vis-à-vis des bas-fonds à cause des maladies comme le ver de guinée et la bilarziose. Cette réticence est plus forte dans les régions non consommatrices traditionnelles de riz.

L'Ivoirien n'a pas une expérience de l'irrigation et les aménagements hydro-agricoles constituent un élément nouveau dans le monde rural.

3. HISTORIQUE DES PREMIERES ACTIONS

Les aménagements riziocoles ont été entrepris depuis 1953 en Côte d'Ivoire. Ils ont commencé par des actions au raz du sol menées auprès du paysan de 1953 à 1958. Mais c'est en 1959 que la riziculture irriguée connaît ses vrais débuts.

En 1965, un important programme d'aménagements riziocoles est lancé sur emprunt allemand dans la zone dense de KORHOGO. Ce programme a permis de réaliser 8 000 ha de riz irrigué à un cycle par la construction de 320 prises au fil de l'eau. Ces aménagements ne permettent qu'un cycle de culture par an (le 2ème cycle). Des aménagements simples ont été réalisés également dans les autres régions de la Côte d'Ivoire et plus particulièrement dans la zone forestière où existent des marigots permanents.

L'action dans la région nord est plus intensive que partout ailleurs. Il faut noter que des tentatives d'aménagements ont été faites dans les grandes plaines du nord mais sans succès. D'une façon générale, cette phase n'a pas amené les résultats escomptés par manque d'une structure spécialisée de développement.

En 1970, une importance particulière est donnée à la riziculture irriguée. La SODERIZ fait des études pour un vaste programme rizicole de plus de 10 milliards d'investissements à réaliser en 5 ans. Ce programme porte sur des aménagements simples et aussi la construction d'ouvrages de retenue pour un contrôle total de l'eau.

4. LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Pendant les études et au cours de l'exécution des projets, la SODERIZ a défini une stratégie d'intervention en matière d'aménagements rizicoles.

1°) Typologie des aménagements

a) Utilisation des ressources naturelles: prises au fil de l'eau

Comme nous l'avons indiqué précédemment, la pluviométrie en Côte d'Ivoire est partout suffisamment importante pour qu'il soit envisageable de pratiquer la riziculture irriguée en utilisant les écoulements naturels des marigots. Il est alors possible de mettre en oeuvre des aménagements simples et de faible coût. Le schéma est alors le suivant:

- réalisation d'une prise dans le marigot
- mise en oeuvre d'un réseau d'irrigation.

Cet ensemble est alimenté durant la saison des pluies par des écoulements naturels du marigot.

Pour leur réalisation, ces aménagements nécessitent de faibles investissements de base (150 à 300 000 F/ha). Pour leur réalisation, il faut disposer d'un bassin versant assez grand afin d'avoir des écoulements suffisants pour l'alimentation en eau des rizières. Il faut éviter les bassins versants trop grands (supérieurs à 50 km²) pour ne pas avoir des crues trop importantes. La dimension unitaire des périmètres est faible mais donne une grande souplesse dans les interventions.

Une prise domine de 20 à 30 ha en moyenne. Ce type d'aménagement ne permet qu'une maîtrise incomplète de l'eau puisqu'il ne protège ni des crues ni des manques d'eau pouvant survenir et ne permet donc pas une intensification poussée de la production qui reste limitée à un seul cycle sauf en zone forestière où les conditions naturelles plus favorables autorisent souvent les 2 cycles et où ce type d'aménagement trouve donc son plein développement.

L'intensification de la production passe donc par la généralisation des 2 cycles de riz donc:

- par la création de réserve permettant d'assurer les besoins d'eau en toute saison
- par pompage dans les fleuves permanents.

b) Les aménagements avec petits barrages

Ce sont des ouvrages dominant une réserve de 1 à 3 millions de mètres cubes d'eau. L'investissement de base est très important (700 000 à 1 000 000 F/ha pour le barrage). Le barrage présente l'avantage de permettre un contrôle total de l'eau mais la souplesse est moins grande dans les interventions. L'ouvrage permet d'apporter un appoint d'eau pendant la saison des pluies (juillet-août à novembre-décembre) et d'assurer l'alimentation complète des rizières pendant la saison sèche. Les bas-fonds retenus par la SODERIZ ont au moins 100 ha dans l'ensemble afin de ne pas aboutir à un coût prohibitif à l'hectare aménagé.

c) Les aménagements avec barrages moyens

Les barrages moyens ont une capacité de retenue de 5 millions à 50 millions de mètres cube. L'investissement de base est moins élevé à l'unité de surface (300 à 600 000 F/ha pour le barrage). Ces barrages dominent des superficies importantes (de 300 à 3 000 ha). Les aménagements sont réalisés en courbes de niveau pour éviter d'importants transferts de terre lors du planage. Ce système permet de faire des économies et de maintenir la structure initiale du sol. La mécanisation devient indispensable pour les travaux de préparation du sol.

d) Les aménagements avec pompage

Lorsque les conditions naturelles le permettent (cours d'eau important à débit d'étiage rentable, plaines alluviales relativement protégées des crues...), le pompage permet d'assurer la desserte en eau nécessaire aux 2 cycles annuels. Les investissements de base sont relativement modestes (150 à 200 000 F pour l'installation de pompage) mais les frais de fonctionnement importants (2 F/m³ d'eau pompé).

2°) La stratégie progressive

a) Exposé de la stratégie

La stratégie dégagée pour les aménagements rizicoles vise à l'obtention d'une efficacité dans les interventions auprès du paysan. Elle comporte plusieurs phases successives.

Première phase

Elle consiste en la réalisation d'aménagements avec prise au fil de l'eau. Cette phase est celle de la stimulation du paysan afin qu'il prenne conscience de la valeur de l'eau et des aménagements hydro-agricoles.

Par des réunions successives, l'encadrement de base explique aux paysans, l'intérêt des aménagements à réaliser. L'encadreur met des parcelles de démonstration en place. L'investissement étant faible, les conséquences d'un échec ne risquent pas d'être graves. Pour sa formation, le paysan est associé aux diverses opérations. Il défriche lui-même le terrain et perçoit une prime pour le travail fait. Il est utilisé comme manoeuvre pour la réalisation du réseau d'irrigation, confectionne ses diguettes, dessouche et assure le planage de ses parcelles. Il faut noter que le dessouchage se fait sur plusieurs cycles car le paysan n'attend pas d'avoir enlevé toutes les souches pour réaliser sa première culture. L'encadrement est ici très dense. Cette phase correspond au stade actuel de la plupart des aménagements en zone forestière.

Deuxième phase

Elle consiste en la construction de petits barrages sur des bas-fonds déjà aménagés. Pour la clarté de l'exposé, nous prendrons l'exemple de la zone dense de Korhogo. Cette zone se caractérise par une concentration de la population autour de Korhogo. La densité de population (70 habitants/km²) est une exception pour un pays comme la Côte d'Ivoire où la moyenne est de 15 habitants/km².

Les abords du Bandama sont infestés par la simolie qui transmet une maladie provoquant la cécité oculaire: l'onchocercose. Les populations ont donc quitté les plaines du Bandama pour s'installer sur le plateau. La pression de population a entraîné une sur-exploitation des terres de plateau. Les bas-fonds ont été rapidement mis en valeur dès l'introduction de la culture du riz irrigué. Les aménagements au fil de l'eau ont connu un grand succès car le paysan Sénoufo est courageux.

Après la première phase, l'eau constitue le frein pour une meilleure rentabilisation des investissements. Le barrage devient une véritable nécessité. Pendant la saison sèche le paysan n'a pas de travaux à faire sur le plateau. Il est donc disponible pour réaliser plus consciencieusement ses travaux du bas-fond. Il sent lui-même cette nécessité de l'eau et tente de faire un cycle de saison sèche aux abords immédiats des prises mais cela porte sur une très faible superficie et les risques sont énormes.

Les bas-fonds étant déjà mis en valeur, nous avons la certitude quant à l'occupation des terres. Le barrage est en fait un investissement complémentaire à un investissement existant.

Pour sélectionner les bas-fonds de la zone dense, nous avons tenu compte du taux d'exploitation, de la population, de la superficie dominée (100 à 250 ha), des surfaces noyées, des surfaces nouvelles à mettre en valeur.

Ces ouvrages permettent d'intensifier la riziculture irriguée en passant de un à deux cycles annuels. La première intervention de ce type est faite au NOMBOLO sur un affluent du SOLOMOUGOU. Il faut remarquer que ces barrages sont situés au coeur même de la zone dense.

Troisième phase

La troisième phase consiste en la construction des barrages moyens sur des bas-fonds partiellement mis en valeur mais avec un taux d'exploitation faible. Dans la plupart des bas-fonds de ce type, les crues sont importantes en saison pluvieuse et limitent les terres utilisables. Par contre, le débit est trop faible en saison sèche (voire nul) et ne permet pas de réaliser un premier cycle de riz. Les barrages moyens permettent de récupérer de nouvelles terres. Le premier de ces barrages est le SOLOMOUGOU qui domine environ 1 000 ha. Sa situation en périphérie de la zone dense permet une décongestion progressive de celle-ci sans transfert massif de population. En effet, les paysans commencent par une émigration temporaire vers le barrage et finissent par s'y installer. Il faut noter que la construction des barrages permet de noyer certains sites de simulies et de couper le cycle de la mouche en régularisant le débit du cours d'eau.

Quatrième phase

La quatrième phase est celle de la construction des grands barrages.

Les superficies mises en valeur sont nettement plus importantes (plusieurs milliers d'ha). Le premier type de ces ouvrages est situé sur le BOU, dans la région de SIASSO. La mécanisation est absolument indispensable.

Les grands barrages à fins parfois multiples permettront de développer à l'aval les possibilités de pompages avec les débits régularisés, les étiages naturels constituant souvent une limite pour le pompage au même titre que le danger de crue.

2°) La cohérence des niveaux techniques

Il faut noter que chaque type d'aménagement nécessite une approche particulière et une discipline plus ou moins rigoureuse pour l'utilisation de l'eau. Le niveau de l'encadrement doit être adapté à l'instrument de production dont il a la responsabilité de mise en valeur. Les méthodes culturales ne sont pas les mêmes. Le paysan doit lui aussi être formé afin de mieux utiliser l'instrument de production mis à sa disposition.

5. LES PRINCIPAUX PROBLEMES

L'expérience rizicole ivoirienne nous a permis de relever un certain nombre de problèmes dont nous retiendrons les plus importants.

1°) Les problèmes techniques

Les Pays Africains ont souvent fait l'objet de nombreuses études qui dans la pratique s'avèrent incomplètes ou non disponibles. L'ingénieur est bien souvent obligé d'utiliser des chiffres très approximatifs.

Si nous prenons le rapport O.R.S.T.O.M.: **estimation des débits de crues décennales** pour les bassins versants de moins de 200 km² en Afrique occidentale, nous constatons que les résultats sont satisfaisants pour la zone de savane mais très loin de la réalité pour la zone de transition et la zone forestière, où les résultats réels sont très inférieurs et souvent irréguliers.

D'une façon générale, les données techniques de base manquent donc souvent, cependant les opérations déjà réalisées en Côte d'Ivoire permettent de disposer d'éléments de plus en plus sûrs pour l'élaboration des nouveaux projets.

Un problème particulier a été rencontré dans le nord essentiellement, avec une très grande perméabilité des sols pourtant argileux des plaines alluviales des grandes rivières ce qui constitue un obstacle important pour la riziculture.

La mise au point de méthodes culturales appropriées est en cours.

2°) Les problèmes humains

En matière d'aménagement, les problèmes humains sont extrêmement importants et sont de divers types.

a) Le problème foncier

L'appropriation coutumière des terres a souvent été un obstacle à la réalisation de programme de développement en milieu rural. En Côte d'Ivoire nous avons commencé nos actions par une campagne d'explication et de sensibilisation au niveau des villages proches du bas-fond à aménager. Une liste de futurs attributaires est établie. Le représentant local des instances politiques et celui de l'administration participent à cette campagne d'information. Pour les aménagements au fil de l'eau, les paysans retenus sont étroitement associés à la réalisation des investissements. Une priorité est toujours donnée aux villages les plus proches du bas-fond. Le paysan s'installant s'engage à faire une exploitation régulière et rationnelle de ses parcelles. Ceux qui ne respectent pas cet engagement sont expulsés et remplacés par de nouveaux attributaires.

La construction des petits barrages donnent souvent lieu à des problèmes complexes. Un exemple: le NOMBULO.

Avant de commencer les travaux de construction du barrage, plusieurs réunions ont eu lieu avec les paysans des 8 villages concernés. Le lac du barrage détruit 30 ha de rizières sur les 150 ha cultivés. On récupère 10 ha nouveaux à l'aval pour la riziculture. Le bilan de l'opération se résume donc à 130 ha à deux cycles au lieu de 150 ha à un cycle de riz. Après discussion avec les paysans, une véritable opération de remembrement a été faite en tenant compte des possessions antérieures.

La répartition a d'abord été faite par village et ensuite par famille. Les parcelles individuelles sont très petites à cause de la pression de population. Il est ainsi aisé de constater que l'information est un élément très important dans la mise en valeur des terres agricoles. Il faut noter que la construction de barrage s'est faite en régie et la SODERIZ a utilisé les paysans comme manoeuvres pour le transport des empierrements, le talutage, la pose du perré et du filtre. Cette méthode d'exécution a permis d'apporter un revenu substantiel aux paysans qui ont perçu environ 20 % du coût de l'ouvrage. L'association du paysan aux travaux permet d'obtenir un effet psychologique important: il a participé à la construction de l'ouvrage qu'il considère comme le sien et non comme quelque chose d'imposé.

b) Formation

D'une façon générale, la formation du paysan est la tâche essentielle de l'encadrement mis en place par la SODERIZ.

Dans un premier temps cette formation est liée à l'association des paysans à la mise en place des investissements.

Dans un deuxième temps, il s'agit de donner au paysan la compétence nécessaire à une exploitation rationnelle de ces aménagements. Le type et les modalités de cette formation dépendront du niveau de compétence auquel on veut faire accéder le paysan. Pour ce faire, la SODERIZ a créé des ateliers de formation dans lesquels le paysan acquiert en plusieurs phases toutes les connaissances pratiques qui lui seront nécessaires. Cette formation permet de faire une sélection et d'installer sur le périmètre des paysans parfaitement aptes à pratiquer une riziculture moderne et intensive.

Cette opération de formation puis d'installation est en particulier menée auprès de jeunes où elle a obtenu un succès certain. Des jeunes venant des villes et des villages sans aucune connaissance de la riziculture mais possédant un niveau de formation générale élevé ont pu accéder à des exploitations agricoles rentables sur des périmètres nouveaux et constituent ainsi l'amorce d'un paysannat moderne et compétent.

c) Politique contractuelle

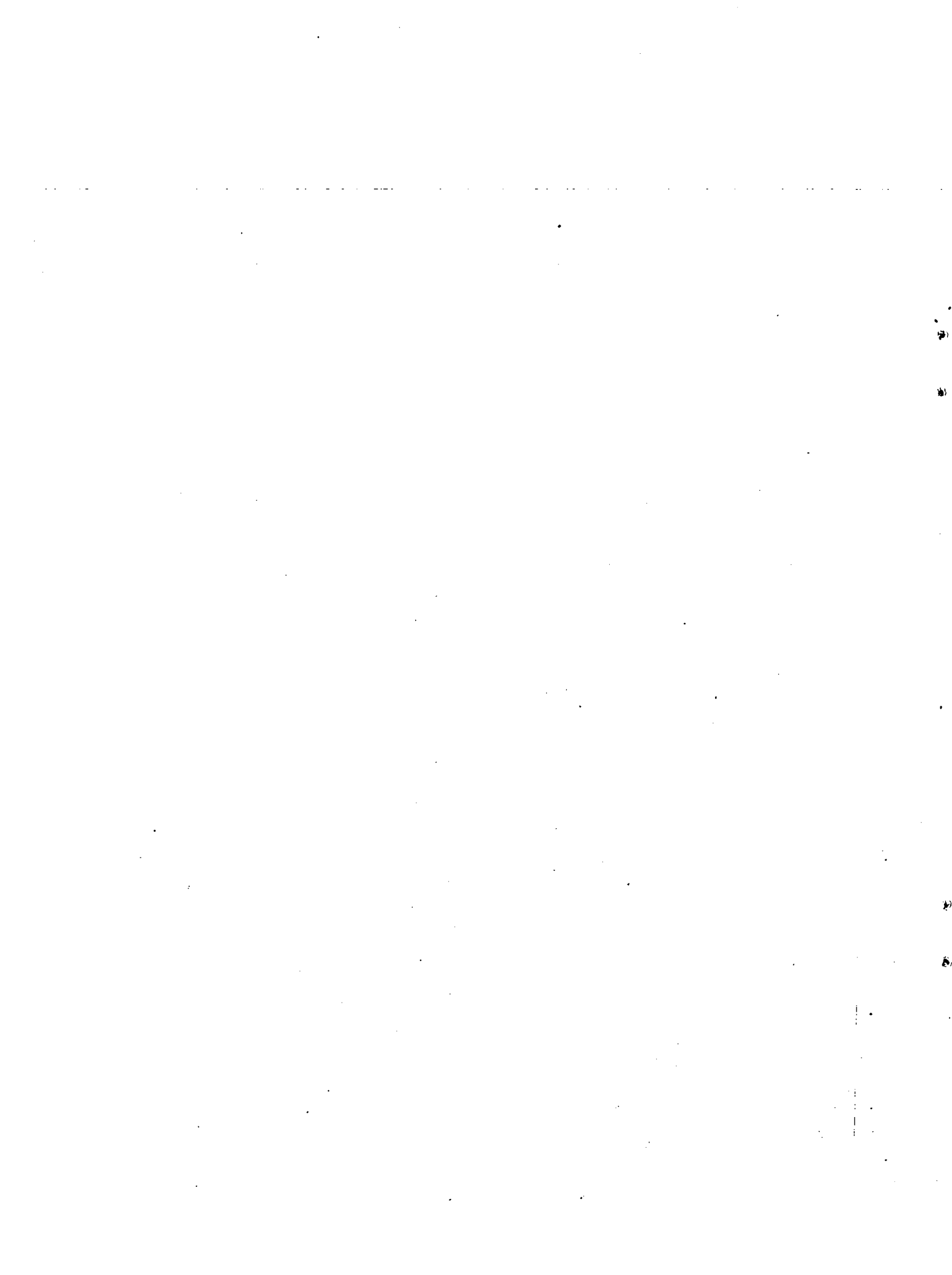
Souvent l'encadrement du paysanat se traduit par la mise à sa disposition d'un certain nombre de produits nécessaires à la culture. Pratiquement ces produits sont à acquérir à une période où le paysan ne dispose pas des ressources nécessaires pour le faire. Il s'ensuit alors un blocage ou un endettement dont le paysan ne pouvait pas toujours se dégager.

La SODERIZ, voulant considérer le paysan comme un interlocuteur valable, a mis au point une politique contractuelle définissant parfaitement les charges et obligations de chacune des parties. D'une part, la SODERIZ s'engage à mettre à la disposition du paysan les différents **inputs** nécessaires à une culture rationnelle (semences, engrais etc.) ainsi que les thèmes techniques détaillés permettant, en tenant compte des données locales, d'avoir les meilleures conditions de production. D'autre part, le paysan s'engage à utiliser ces produits dans le respect strict des consignes techniques fournies et à rémunérer la SODERIZ pour l'ensemble des services rendus par une quantité de paddy définie contractuellement.

En conclusion, on peut dire que le développement de la riziculture en Côte d'Ivoire a permis:

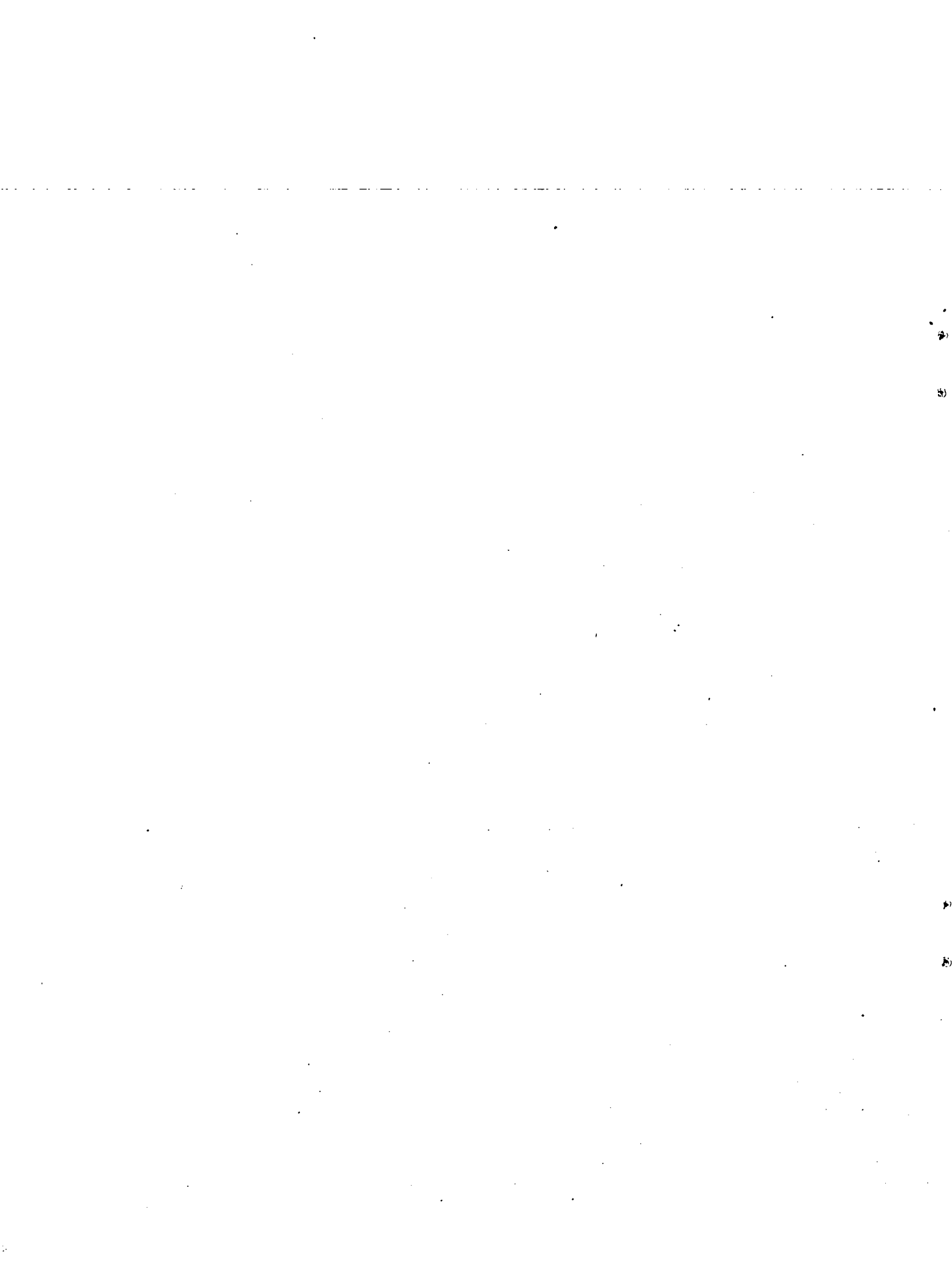
- de créer un instrument de production efficace, entre les mains d'un paysannat responsable
- de former le paysannat pour lui donner la qualification nécessaire à une exploitation rationnelle des investissements qui lui sont confiés
- de fournir au paysannat un revenu substantiel par le biais d'un produit dont la demande est en pleine expansion.

Toute action de développement rural doit passer par le paysan. Il convient d'avoir son adhésion entière et confiante. Sa formation doit être assurée pour qu'il puisse pratiquer une agriculture lui permettant de s'intégrer progressivement dans une économie moderne, donc monétaire. Il s'agit là d'une condition indispensable pour apporter une solution au grave problème de l'exode rural.



III - UTILISATION DES EAUX DE CRUE

)



III. 1. LE SORGHO DE DECRUE, par Ch. BURNER

RESUME

Dans sa communication, l'auteur débute en exposant rapidement l'écologie du sorgho et différencie les caractéristiques des grands types de culture - le sorgho précoce - le sorgho tardif (pré-hivernage) - le sorgho repiqué (post-hivernage). Il décrit en détail et pour chaque type de culture le milieu physique où cette culture est pratiquée, les données agronomiques propres et les améliorations susceptibles d'y être apportées soit du point de vue agronomique soit grâce à des aménagements de type hydroagricole.

1. Généralités

A. Ecologie du sorgho

En culture d'hivernage, l'aire du sorgho s'étend en Afrique de l'ouest entre les isohyètes 500 et 1 000 mm.

Les besoins en eau sont normalement satisfaits avec une pluviométrie de 650 mm répartis sur une centaine de jours, la maturité devant être atteinte dans le mois qui suit la dernière pluie. Ces conditions impliquent que le semis soit effectué au plus tard à la mi-juillet, puisque la saison des pluies s'étend en moyenne de fin juin à fin septembre.

La durée du cycle végétatif varie en fait considérablement: 80 à 110 jours pour les variétés hâtives, plus de 150 jours pour les variétés tardives.

Malgré cette plasticité, les conditions du milieu (en particulier celles ayant un rapport direct avec la submersion des terres par les eaux de crue) sont telles qu'elles ont conduit à envisager pour cette culture, un désaisonnement plus ou moins important) par rapport au cycle habituel.

Un certain nombre de facteurs limitants interviennent dans ce désaisonnement, les principaux étant:

- l'alimentation en eau de la plante,
- des températures trop basses (limitant la croissance) ou trop hautes (risque de coulure ou d'échaudage),
- des submersions intempestives,
- des attaques d'animaux prédateurs (oiseaux, criquets, et même troupeaux).

B. Les grands types de culture

Les grands types de culture sont différenciés essentiellement:

- par les dates de semis, qui sont elles-mêmes fonction des périodes de crue et de décrue dans la région considérée,
- par une pratique culturelle particulière: le repiquage.

Nous pouvons définir trois grands types de sorgho de décrue:

1. le sorgho précoce,
2. le sorgho tardif (pré-hivernage),
3. le sorgho repiqué (post-hivernage).

1. Le sorgho précoce

C'est une culture de décrue au sens strict du mot, bénéficiant exclusivement de la réserve d'eau accumulée dans le sol à la suite de la submersion par la crue, réservé qui, en principe, continue à être alimentée par la nappe "d'under-flow" de la rivière tant que celle-ci conserve une cote suffisante.

Les semis ont lieu d'octobre à décembre, au fur et à mesure du ressuyage des sols; la récolte se fait en pleine saison sèche, de février à avril.

C'est la culture de décrue type qui se pratique sur tous les sols des lits majeurs des rivières qui subissent des débordements pendant la période de juillet à novembre.

Toutes les grandes vallées alluviales soumises à ce régime: Sénégal, Niger Amont au Mali, rivières du Niger (Goulbi, Dallol, Komadougou) Bahr du Tchad, rivières de Mauritanie, d'une façon générale tous les cours d'eau de la région soudano-sahélienne, dont les crues ont lieu de juillet en novembre, connaissent ce type de culture qu'est le sorgho de décrue précoce.

2. Le sorgho tardif

Cette culture est pratiquée à cheval sur la saison sèche et l'hivernage. Les semis ou repiquages ayant lieu de février à mai, la récolte en septembre-octobre.

C'est une technique résultant des conditions naturelles des crues; elle est en effet pratiquée exclusivement dans les régions (delta du Niger en particulier) où la durée de submersion des terres est prolongée jusqu'en janvier-février, alors que l'arrivée des crues est retardée jusqu'en septembre-octobre.

Il s'agit en réalité d'une adaptation de la culture à la période où les sols sont exondés.

Le sorgho semé ou repiqué profite donc en février-mars des conditions d'une décrue normale, passe la saison sèche d'avril à juin en végétant et en ne bénéficiant que de l'humidité rémanente du sol, profite des pluies précoces de juin-juillet et arrive à maturation en septembre-octobre, juste avant l'arrivée des eaux de submersion.

Ce sont en particulier les laos (ou zones assimilées) de la région du delta du Niger qui sont destinés à cette culture, les crues et décrues sont en effet retardées par suite des phénomènes de remplissage et imposent par là même le calendrier cultural.

3. Le sorgho repiqué (Mouskouari ou Berberé)

C'est en réalité un sorgho de décrue précoce dont la particularité est d'être repiqué. Ce repiquage s'effectue en fin d'hivernage, septembre à octobre, la récolte ayant lieu en janvier-février.

L'avantage de cette technique réside dans le fait que le plant a un système racinaire déjà bien développé au moment de sa mise en place, ce qui lui permet de profiter le plus rapidement possible des couches de sol plus profondes et donc plus humides.

Cette méthode est particulièrement développée au nord-Cameroun et au Tchad, et est utilisée sur des sols submergés, soit par des débordements de rivières, soit par accumulation des eaux pluviales et qui sont exondés en début de saison sèche (à remarquer que ces sols ne pourraient être utilisés en culture traditionnelle d'hivernage).

Cette technique permet en outre de compenser à temps un déficit vivrier dû à une mauvaise récolte de culture d'hivernage et permet également de reporter sur une autre culture (riziculture par exemple) une partie du travail qu'il faudrait consacrer aux cultures de saison des pluies.

C. Les conditions de végétation du sorgho de décrue

La durée du cycle végétatif pour un sorgho varie en gros de 100 à 150 jours suivant que la variété soit précoce ou tardive.

On peut estimer que pendant cette période, et ce, dans des conditions climatiques normales et moyennes, les besoins en eau de la plante peuvent varier entre 4 et 6 000 m³/ha.

Les sorghos de décrue pour obtenir cette eau ne peuvent compter que sur l'eau utile disponible dans les sols puisque semés ou repiqués en dehors de toute période pluvieuse.

L'eau utile, dans les sols qui nous intéressent (sols argilo-sableux, vertisols, ou similaires), et définir comme la différence entre la capacité de rétention (pF 2,2 ou 2,5) et le point de flétrissement permanent (pF 4,2) varie de 10 à 20 % en volume de la tranche de sol considérée; cette variation provenant principalement de la teneur en argile et de la nature de cette argile (Kaolinite ou Montmorillonite).

Il s'ensuit qu'une tranche de sol de 1m peut ne mettre à la disposition de la plante que 1 000 à 2 000 m³/ha; en réalité, le système racinaire du sorgho réussit à se développer à une vitesse très rapide et à une profondeur qui peut dépasser 2 mètres, en accompagnant la descente progressive de la tranche saturée et trouver ainsi les réserves d'eau nécessaires à sa croissance.

Même lorsque les racines ont atteint leur profondeur extrême, une certaine quantité d'eau supplémentaire peut être offerte par les remontées capillaires qui peuvent ainsi intéresser plusieurs mètres de sol (4 ou 5 m et plus), s'il n'y a pas de rupture des faisceaux capillaires.

Dans le domaine du cycle végétatif, une mention particulière doit être faite à propos du sorgho tardif (pré-hivernage) qui accomode son cycle de façon à obtenir sa maturation pendant l'hivernage, le cycle végétatif étant stoppé si le repiquage est effectué trop prématurément (arrêt de la croissance pendant plusieurs mois).

* * * * *

Nous examinerons ci-après pour chaque type de culture:

- A. Le milieu physique où cette culture est pratiquée
- B. Les données agronomiques succinctes propres à chaque culture
- C. Les améliorations susceptibles d'y être apportées, soit du point de vue agronomique, soit grâce à des aménagements de type hydroagricole.

LE SORGHO DE DECRUE PRECOCE

A. MILIEU PHYSIQUE

Les zones qui se prêtent à cette culture peuvent être classées en trois grands types, pour autant qu'elles soient soumises à la grande condition d'une submersion pendant les mois d'hivernage (juillet-septembre, parfois prolongés) et d'une exondation la plus précoce possible (octobre à décembre).

Ces trois grands types peuvent être représentés à titre d'exemple par:

1. La vallée du Sénégal,
2. Des plaines à zones d'épandage (Bahr du Tchad),
3. Des vallées à profil plat présentant des élargissements de lit majeur plus ou moins importants (rivière Mauritanie, Goulbis au Niger, etc.).

1. La vallée du Sénégal (entre Bakel et Richard-Toll)

Dans cette vallée alluviale de 10 à 25 km de largeur, on distingue essentiellement:

- un système de levées sablo-limoneuses bordant le cours actuel du fleuve ainsi que celui de ses bras morts et défluent. On y trouve des sols à taches et concrétions, subissant une submersion de courte durée (moins de 30 jours). Les parties les plus hautes ne sont pas atteintes par les crues. Ces levées constituent le "FONDE".
- entre ces levées, un réseau de ouvettes de dimensions très variables, reliées par des marigots. Elles sont formées de vertisols à texture argileuse. La durée de submersion en année moyenne est de 30 à 120 jours. Les sols sont appelés "HOLLALDE", les cuvettes elles-mêmes étant les "COLLADES".
- dans les parties les plus basses se trouvent des mares "VINDOU" à sol très argileux subissant une submersion de plus de 150 jours.

2. Les plaines à zone d'épandage

Elles sont noyées par des débordements pendant la crue (juillet à septembre) en provenance de la rivière ou de ses défluent. Les hauteurs de submersion restent en principe faibles; elles sont facilement exondées, soit par vidange dans les lits mineurs, soit même par évaporation et par infiltration.

Mises à part quelques cuvettes localisées, les submersions sont de l'ordre de 90 à 120 jours.

3. Les vallées à profil plat (type Mauritanie ou Goulbi au Niger) où les débordements de la rivière submergent régulièrement à chaque crue des parties plus ou moins importantes du lit majeur; les durées de submersion sont évidemment relativement courtes (durée de chaque crue); les sols sont donc disponibles dès la fin de l'hivernage.

B. DONNEES AGRONOMIQUES

1. Les variétés

D'une manière générale, les sorghos cultivés en décrue précoce, sont des variétés semi-hâtives de l'espèce "SORGHUM CERNUUM".

La durée normale du cycle est de 130 à 140 jours.

Les variétés à grains blancs sont les plus appréciées, mais du fait qu'ils sont fortement sujets à l'attaque des mange-mils, le cultivateur répartit ses risques en cultivant aussi des variétés colorés (rouge, noir, gris).

2. Les rendements

Les rendements de sorgho de décrue sont extrêmement variables et directement fonction des conditions rencontrées (date de décrue, nature des sols, pratiques culturales, éléments prédateurs).

On peut estimer qu'une moyenne générale peut varier de 400 à 500 kg à l'hectare; le rendement maximum obtenu ne dépassant jamais 1 000 kg dans les conditions idéales.

3. Les pratiques culturales

a) le semis

Effectué en principe 10 à 15 jours après le retrait des eaux (ressuyage) il est ou non précédé d'un binage-sarclage.

Il est réalisé de la façon suivante:

- creusement d'un poquet, soit à la houe, soit au bâton à fourir, (environ 15 cm de profondeur),
- dépôt dans le trou de quelques grains de semence,
- recouvrement de ces grains avec terre pulvérisée.

La densité moyenne des poquets est de 7 000 à l'hectare.

b) le binage-sarclage

Effectué en principe trois semaines après le semis; il est plus ou moins nécessaire et important suivant les sols et la végétation adventice, celle-ci étant d'ailleurs d'autant plus développée que les crues ont été fortes.

c) le démarriage

Consiste à arracher ou sectionner quelques pieds lorsque la touffe du poquet est trop fournie aux yeux du cultivateur. Le nombre de grains semés par poquet étant assez fantaisiste (souvent exagéré), cette pratique est faite assez régulièrement en même temps que le binage-sarclage.

d) le gardiennage et la lutte contre les prédateurs

- Gardiennage quasi-permanent des champs pendant environ 1,5 mois avant la récolte
- Protection partielle des panicules en les enveloppant de feuilles et en recourbant l'extrémité de la tige, ce qui provoque souvent malheureusement le flétrissement.

C. LES AMELIORATIONS POSSIBLES

1. Du point de vue agronomique

Nous n'insisterons pas sur l'amélioration des variétés cultivées, des points de vue de la productivité, de leur résistance aux parasites, de la valeur technologique du grain, etc. qui sont du ressort des stations de recherche spécialisée et nous envisagerons surtout l'amélioration des techniques culturales.

La principale concerne la préparation du sol avant semis, par un binage-sarclage à la houe.

Il en résulte:

- un ameublissement du sol, facilitant l'enracinement,
- une meilleure conservation de l'humidité du sol (interruption de la remontée capillaire),
- une lutte plus efficace contre les plantes adventices.

Ce binage-sarclage effectué en outre à la houe attelée permettrait un gain de temps considérable.

Les semis doivent être effectués le plus précocement possible, avec une densité de 10 000 poquets/ha et 3 grains par poquet. Démariage ultérieur à 2 plants. Les semences doivent être traitées au fongicide.

Les entretiens culturaux, grâce au binage-sarclage, peuvent être réduits à un sarclage léger environ 45 jours après le semis, au moment du démariage.

Le maintien de la fertilité des sols doit être assuré par l'utilisation d'une fumure organique et minérale.

2. Par des aménagements hydroagricoles

Pour obtenir une extension de la culture du sorgho de décrue précoce, il est indispensable de modifier le régime hydraulique de la région avec comme objectifs fondamentaux:

- l'augmentation des superficies cultivables,
- l'assurance d'une submersion minimale (importance et temps),
- la possibilité de réaliser des semis précoces, donc assurer la décrue en temps voulu.

En réalité, ces trois objectifs sont tributaires d'une amélioration du remplissage (propagation de la crue ou des débordements favorisé et d'une maîtrise de la vidange (décrue anticipée). Dans le cas d'une forte crue, mais rapide, on peut avoir intérêt à retarder la vidange (décrue retardée) pour assurer une submersion suffisante aux terres situées à la limite de l'inondation.

La durée minimale de submersion est évidemment fonction de la perméabilité des sols; il importe que ceux-ci soient submergés pendant un temps suffisant pour permettre la saturation d'une tranche de sol que l'on peut estimer à 3 mètres. Les submersions doivent donc varier de 60 jours (sols de "fonde" moyennement argileux), à 100 jours et plus (sols de "collades" ou fortement argileux).

La période la plus favorable pour les semis se situe entre le 15 octobre et le 30 novembre; la vidange améliorée (lorsque cela est possible) permet de se rapprocher de ces dates et par là même d'augmenter sensiblement les rendements.

Nature des aménagements

Ces aménagements, compte tenu du faible produit de la spéculation, doivent rester très sommaires, sauf dans les cas où les problèmes sociaux **justifient** l'emploi de techniques particulières.

a) Pour la vallée du Sénégal

Les principales réalisations doivent consister en la rectification des émissaires ou le creusement de canaux coupant les bourrelets de berge qui séparent les zones inondées des voies d'eau qui les alimentent.

Pour obtenir l'utilisation optimum de ces nouveaux adducteurs, il est nécessaire de les munir d'organes régulateurs plus ou moins rustiques (vannes, batardeau).

b) Pour les plaines d'épandage

Les dispositions à prendre sont sensiblement identiques à celles prévues ci-dessus (amélioration des conditions hydrauliques des adducteurs).

On peut, en plus, prévoir des réseaux de diguettes qui emmagasinent les eaux d'épandage et favorisent leur infiltration. Ces réseaux de diguettes sont établis suivant les courbes de niveau dans le sens perpendiculaire aux adducteurs et ne doivent en aucun cas (sous peine de destruction) être soumis aux débordements. Ces diguettes déterminent des espèces de casiers accolés dont chacun possède un plan d'eau correspondant en gros à celui de l'adducteur qui l'alimente.

Ces dispositions sont surtout à recommander dans le cas d'épandages de courte durée et de faible importance; il s'agit en fait d'amplifier ces conditions.

c) Pour les vallées à profil plat dont les principales caractéristiques sont d'être soumises à des crues qui débordent sur des surfaces peu importantes et pendant des durées limitées (à sec pratiquement entre chaque crue) et qui correspondent généralement à des régions climatiquement assez éprouvées, on peut consentir à des aménagements un peu plus élaborés puisqu'ils conditionnent, dans la plupart des cas, les seules possibilités de culture.

Le principe même de ces aménagements est celui qui a été appliqué sur plusieurs rivières en Mauritanie et qui consiste à établir en travers de la vallée (si les sols sont reconnus aptes à la culture du sorgho) un barrage déversant (pour laisser passer les excédents de crue), situé de préférence dans un rétrécissement de la vallée et commandant à son amont une plaine élargie et à profil plat.

La cote du barrage est fixée de façon optimale en fonction de son coût et des surfaces cultivables qui peuvent être submergées par la retenue.

L'ouvrage est muni d'un dispositif (vanne ou batardeau) permettant la vidange contrôlée de la retenue, après la saison des pluies, et livrant ainsi progressivement à la culture les terres saturées à souhait.

Les types de barrage utilisés pour cet aménagement sont évidemment fonction des conditions de fondation qui se présentent:

- barrage béton (profil type **CRABOER**) sur des verrous rocheux,
- barrage, digue en terre, avec profil déversant (béton, palplanches, etc.) sur des zones argilo-sableuses.

(A noter que traditionnellement, ces barrages étaient effectués simplement par des levées de terre, où chaque crue réalisait des dégâts plus ou moins importants, pouvant compromettre la possibilité de mise en culture).

d) Utilisation des retenues de barrage

Les nombreux barrages réalisés dans la zone soudano-sahélienne ont, pour la plupart, des retenues dont la baisse progressive du plan d'eau, qui a lieu dès le mois d'octobre, laisse à la disposition du sorgho de décrue des surfaces plus ou moins importantes.

Cette situation est d'autant plus propice que la baisse du plan d'eau est relativement lente et qu'elle maintient la présence d'une nappe favorable à l'alimentation du système racinaire de sorgho.

LE SORGHO TARDIF (PRE-HIVERNAGE)

A. MILIEU PHYSIQUE

Comme nous l'avons déjà indiqué, la culture du sorgho tardif est la conséquence directe d'une arrivée et d'une durée de la crue retardée par rapport à l'hivernage, ce qui ne permet pas d'avoir des terres exondées avant janvier ou février, voire plus tard.

Cette situation se trouve principalement, pour ne pas dire uniquement, dans la zone correspondant au cours moyen du fleuve Niger, soit entre KE-MACINA et NIAMEY, la plus grande partie se trouvant au MALI.

Dans cette partie du fleuve, on peut distinguer deux types de régime fluvial découlant de la morphologie:

- le secteur amont, entre KE-MACINA et KABARA, où le lit mineur est exhaussé par rapport aux plaines avoisinantes. Le fleuve s'étale en un réseau hydrographique complexe où se succèdent:

- 1°) Une zone deltaïque où la vallée n'est plus que l'artère maîtresse d'un grand réseau hydrographique.
- 2°) Une zone lacustre ou zone des lacs. Certains de ces lacs sont des "lacs de bordure" reliés au Niger par des émissaires de quelques kilomètres (Lac HORO); d'autres sont des "lacs de réserve et déversoirs" reliés au fleuve par un système de marigots dont la longueur atteint plusieurs dizaines de kilomètres (lac FAGUIBINE).

- le secteur aval, entre KABARA et NIAMEY. C'est la "Boucle du Niger" encore appelée "Vallée Sahélienne". Le lit majeur du fleuve dans ce secteur n'est que de quelques kilomètres et la morphologie se rapproche de celle décrite précédemment pour la vallée alluviale du Sénégal, avec un réseau anastomosé de bras secondaires alimentant des cuvettes dominées par des levées.

C'est l'écrêtement provoqué par l'étalement de la crue et la très grande distance de propagation qui provoquent un décalage dans le temps du maximum de la crue et le maintien des PHE pendant une période importante (vidange des zones d'épandage). A titre d'exemple:

		Date moyenne des PHE
Zone Amont	MOPTI (Mali)	1er Novembre
	NIAFOUNKE (Mali)	15 Décembre
	DIRE (Mali)	30 Décembre
Zone Aval	GAO (Mali)	1er Février
	NIAMEY (Niger)	18 Février

Les périodes de vidange pouvant atteindre 3 à 4 mois.

Rappelons également que ces zones sont situées entre les isohyètes 600 mm et 200 mm, donc pour la majeure partie dans des conditions de pluviométrie trop faibles pour réaliser un sorgho d'hivernage normal; on comprend mieux ainsi la technique du sorgho tardif qui est le seul à pouvoir être cultivé dans ces conditions.

B. DONNEES AGRONOMIQUES

1. Les variétés

On trouve dans l'espèce (SORGHUM NIGERICUM)

- un sorgho noir (il s'agit en fait d'un sorgho à grains blancs, mais à glumes noires très enveloppantes). Variété rustique, résistant bien à l'inondation au moment de la récolte, occupant les terres basses où il est couramment repiqué (grains durs),
- un sorgho blanc (grains tendres) semé directement sur les terres hautes,
- un type intermédiaire apprécié pour sa précocité, ses qualités gustatives et sa bonne conservation.

Quant au "SORGHUM CERNUUM" (grain tendre), on trouve des sorghos blancs et rouges, cultivés sur les terres hautes, en semis direct.

Toutes les variétés ont des cycles végétatifs allant de 5 à 8 mois, chacune ayant une date d'épiaison à peu près fixe, le raccourcissement éventuel du cycle se faisant au détriment du rendement.

2. Les rendements

Les rendements sont évidemment extrêmement variables et s'échelonnent en général entre 600 et 1 200 kg/ha, les meilleurs champs pouvant produire 1 500 à 2 000 kg.

3. Les pratiques culturales

a) Choix des terres à cultiver

La culture s'effectue sur des terres suffisamment basses pour bénéficier d'une submersion prolongée, mais suffisamment hautes pour qu'elles ne soient pas inondées à nouveau avant la fin du cycle végétatif, encore que certaines variétés résistent à une inondation de courte durée au moment de la maturation. L'étendue des surfaces cultivables est donc fonction de la crue, du déroulement de la décrue annuelle et de l'importance et de la précocité de la crue suivante. Le régime du Niger comportant des cycles de fortes crues et de faibles crues, certains inconvénients sont inévitables:

- en période de fortes crues, la zone cultivable se trouve reportée vers le haut, c'est-à-dire vers des sols plus légers à moindre capacité de rétention et à pente plus forte,
- en période de faibles crues, la zone cultivable est au contraire décalée vers le bas.

Dans toute la zone deltaïque et lacustre, on rencontre en fait un étagement des cultures:

- cultures sur terres exondées (mil, haricots, etc.),
- cultures de frange humide (manioc, coton, arachide et petites cultures irriguées),
- cultures de décrue (sorgho),
- cultures inondées (riz).

Les cultures de décrue "mordent" donc alternativement sur les cultures de frange humide et les zones réservées à la riziculture.

Dans la zone de la vallée sahélienne, le riz inondé et le sorgho de décrue deviennent prépondérants, complétés par les cultures irriguées de frange humide.

D'une manière générale, le calendrier cultural du sorgho entre plus ou moins en concurrence avec celui de la riziculture (et éventuellement des cultures d'hivernage), de sorte que les superficies effectivement cultivées en décrue sont souvent inférieures aux superficies théoriquement cultivables. Enfin, chaque année, une partie du terrain est mise en jachère forcée, consécutivement aux variations engendrées par les cycles de fortes ou faibles crues.

b) Le semis et le repiquage

D'une manière générale, le semis direct est effectué sur les terres hautes découvertes les premières par la décrue, tandis que le repiquage est de règle sur les terres basses qui sont évidemment les dernières à être exondées.

Il faut bien se rendre compte que pour cette culture, le repiquage est une contrainte non négligeable; s'il est certain que la pratique du repiquage permet au mieux d'exploiter l'humidité rémanente dans le sol après le retrait de la crue, il est cependant vraisemblable que le cultivateur n'utilise cette méthode que s'il y est obligé; le facteur principal qui l'y oblige est en fait la décrue tardive sur certaines terres basses qui peut réduire le cycle végétatif de façon incompatible avec l'hivernage suivant. La pratique du repiquage permet de gagner environ 1 mois (temps passé en pépinières) et par là même d'obtenir un cycle correct.

Il se trouve d'ailleurs que les zones où la décrue est tardive (zone de la vallée sahélienne) sont celles où la pluviométrie est déficiente et on peut admettre que les plants repiqués ont une meilleure résistance à la sécheresse que les plants provenant de semis direct.

Les semis directs ont une densité de 10 à 15 000 poquets/ha.

Pour le repiquage, les plants sont laissés en pépinières jusqu'à ce qu'ils atteignent 20 ou 30 cm. Ils sont repiqués à raison de 2 à 5 plants dans des trous creusés au bâton à fouir.

c) Les façons d'entretien

Elles se réduisent souvent à un sarclage au moment de la décrue, complété éventuellement par un binage.

En début d'hivernage, des désherbages sont également pratiqués et les adventices sont nombreuses.

Le démariage et le remplacement des manquants sont effectués irrégulièrement.

C. LES AMÉLIORATIONS POSSIBLES

1. Du point de vue agronomique

Les améliorations de cet ordre sont les mêmes que celles déjà indiquées pour le sorgho précoce (variétés et façons d'entretien).

2. Par des aménagements hydroagricoles

L'augmentation des superficies cultivables en sorgho tardif peut être obtenue par une régularisation de la décrue naturelle; on cherchera à l'accélérer si elle est trop lente, à la ralentir si elle est trop rapide, afin de pouvoir mettre en culture progressivement le maximum de superficie pendant toute la période allant de février à mai.

Cependant, compte tenu de l'étagement des cultures, on ne peut pas considérer le développement de la culture du sorgho indépendamment de la riziculture ou des cultures de frange humide.

D'autre part, on ne peut envisager que des aménagements plus ou moins localisés dont l'efficacité risque de se trouver limitée à une période de quelques années (cycle de crue).

Pour obtenir une régularisation de la décrue, il paraît bien difficile d'utiliser des demi-mesures; elle ne peut être obtenue que par la construction d'ouvrages régulateurs:

- soit dans le chenal commandant un lac de bordure ou une plaine d'épandage indépendante du lit majeur et protégé de la crue,
- soit dans la digue ceinturant une plaine soumise naturellement à la crue et que l'on est obligé d'isoler pour assurer la maîtrise de la crue.

Ces ouvrages régulateurs sont ouverts pour l'admission des eaux de crue, **fermés** aux PHE, et ouverts à la date voulue pour réaliser une décrue progressive et programmée, fonction des surfaces à cultiver et des autres cultures.

L'ouvrage régulateur est muni de vannes ou de batardeaux, les vannes permettant une meilleure régulation.

III. 4. LE SORGHO REPIQUE (POST-HIVERNAGE)

Rappelons qu'il s'agit bien là des sorghos de décrue repiqués en octobre et végétant sur l'humidité du sol, et qu'ils n'ont rien à voir avec des sorghos d'hivernage qui, eux, profitent de la pluviométrie.

A. MILIEU PHYSIQUE

Cette technique est particulièrement employée au Tchad et au nord-Cameroun, dans les secteurs où les sols sont inondés pendant l'hivernage (donc inaptes à une culture d'hivernage) et exondés en octobre. La submersion de ces sols peut être obtenue soit par débordement des rivières, soit par stagnation ou écoulement concentré des eaux pluviales.

Ces sols peuvent faire partie de grandes zones d'épandage de crue (Yaérés du fleuve LOGONE), soit des lits majeurs plus ou moins marqués de mayos ou des plaines avoisinantes submergées par les crues d'hivernage.

On trouve également des cultures de Mouskouari dans des plaines à faible écoulement mais où l'hydromorphie est telle que les cultures d'hivernage deviennent impraticables; il est alors intéressant de pouvoir envisager une culture de décrue, après avoir forcé la submersion grâce à un réseau de diguettes.

Il paraît souhaitable que la saturation du sol puisse atteindre au moins un mètre pendant la submersion.

B. DONNEES AGRONOMIQUES

1. Les variétés

Il s'agit d'un sorgho blanc cultivé sous l'appellation "Mouskouari" au nord-Cameroun et "Berbéré" au Tchad.

Mis en pépinières en août-septembre, il est repiqué en septembre-octobre et récolté de décembre à février.

Le cycle cultural a donc une durée voisine de 110 jours.

2. Les rendements

Les rendements moyens se situent aux environs de 1 000 kg/ha et peuvent atteindre localement 1 500 kg/ha.

3. Les pratiques culturales

a) Choix des terres à cultiver

La culture du Mouskouari s'effectue sur des sols submergés pendant l'hivernage et exondés courant septembre-octobre de façon définitive.

On recherche évidemment les sols à fort pouvoir de rétention, type vertisols.

Il s'agit évidemment de terres qui sont réservées à cette culture de par le régime hydrologique auquel elles sont soumises (leur submersion ou leur hydromorphie interdit en effet toute autre culture pendant l'hivernage).

b) Le repiquage

Les plants sont obtenus en pépinières installées de façon à pouvoir être facilement arrosées si nécessaire; la densité du semis est forte et le renouvellement des semis s'effectue environ tous les 15 jours, de façon à disposer de plants identiques pendant une période de repiquage qui peut atteindre deux mois.

Le repiquage s'effectue dans des trous creusés au bâton à fouir, à raison de 2 à 3 plants par trou. On procède ensuite à un démariage à un plant.

c) Les façons d'entretien sont évidemment identiques à celles pratiquées sur les sorghos de décrue précoce (sarclage).

C. LES AMELIORATIONS POSSIBLES

1. Du point de vue agronomique

L'amélioration des variétés cultivées devrait augmenter les rendements.

A notre connaissance, il n'a pas été fait d'essais systématiques pour vérifier les améliorations que peuvent apporter un binage-sarclage effectué à la houe attelée de préférence, (pour économiser des temps de travaux).

A priori, il n'y a aucune raison pour que les résultats spectaculaires obtenus sur les sorghos de décrue précoce ne puissent être également observés dans le cas du Mouskouari. Il est certain que l'effet ne peut être **que favorable, ne serait-ce que par l'interruption des remontées capillaires**, donc conservation de l'humidité dans le sol et la suppression des adventices.

2. Par des aménagements hydroagricoles

Les seuls aménagements possibles sont ceux qui consistent, pour des sols reconnus aptes à la culture, à assurer ou forcer leur submersion pendant l'hivernage et leur exondation à la fin de cette période.

Ils sont donc identiques à ceux déjà décrits précédemment et resteront toujours limités dans leur importance (creusement de chenaux et ouvrages régulateurs); d'une façon générale, il faut pouvoir réaliser, alimenter et vider des bassins de submersion et ce, en temps voulu.

III. 5. CONCLUSIONS

De cet exposé, on peut tirer les grandes lignes qui caractérisent la culture du sorgho de décrue:

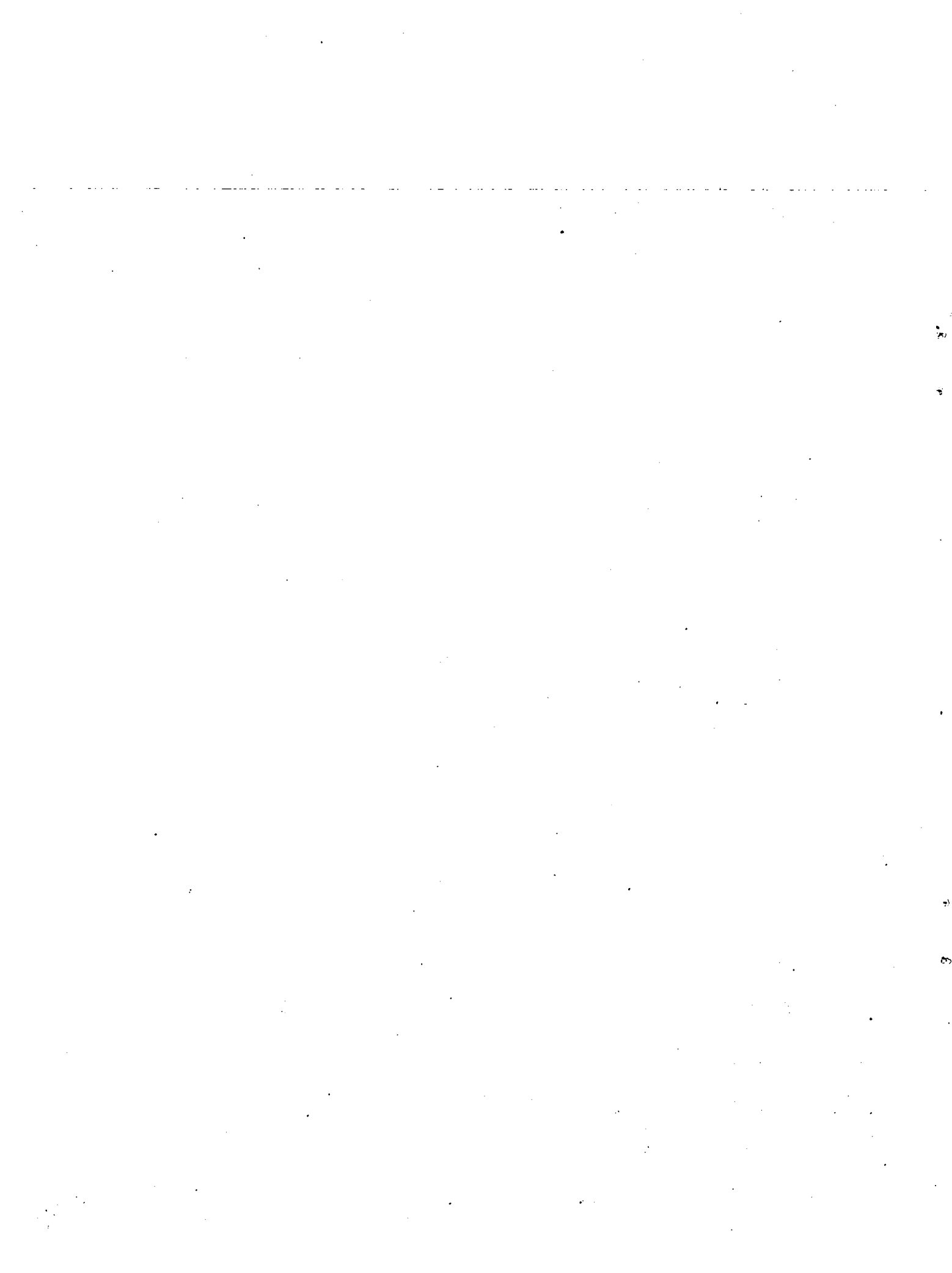
- Cette culture est pratiquée sur des sols où les conditions naturelles hydrologiques (crue ou submersion de tout ordre) interdisent pratiquement toute autre culture.

Grâce à son adaptation (désaisonnement), elle permet donc à des sols, en principe inutilisables, de produire une récolte vivrière.

- Les rendements du sorgho de décrue restent faibles (600 à 1 000 kg/ha).
- Les pratiques culturales restent sommaires et nécessiteraient certaines améliorations qui se traduisent évidemment par des temps de travaux en augmentation, mais qui peuvent apporter des gains de rendement non négligeables.
- Les améliorations qu'on peut attendre d'aménagements peuvent être classées dans deux catégories:
 1. Celles qui relèvent de la nécessité d'assurer l'auto-suffisance des besoins d'une population (barrage de décrue en Mauritanie) ou par suite de besoins céréaliers que des aléas climatiques n'ont pas permis de satisfaire; on est conduit à cultiver des sorghos désaisonnés pour pallier au déficit.
 2. Celles qui relèvent du désir d'améliorer la production d'une région par l'augmentation des surfaces cultivées ou des rendements.

Il est bien certain que celles qui relèvent de la première catégorie ne sauraient être discutées; par contre, les aménagements pour améliorer la production de sorgho de décrue sont presque toujours disproportionnés du point de vue coût des travaux par rapport aux bénéfices correspondants.

En conclusion, il faut bien se rendre compte que la culture du sorgho de décrue doit être considérée comme marginale (elle ne représente que quelques pour cent des besoins céréaliers), et que, si elle est intéressante, car utilisant des sols qui resteraient inexploités, elle ne peut être améliorée, et a fortiori promulguée que dans des cas précis où tout autre mode de mise en valeur (irrigation contrôlée) ne peut être retenu.



III. 2. AMENAGEMENT HYDROAGRICOLE PILOTE DANS LA VALLEE DE L'OUEME, par Y.J. CAPO-CHICHI

RESUME

Dans ce document on trouve un résumé des diverses opérations qui ont débouché sur l'aménagement de la vallée de l'Ouémé. Les buts et moyens reflètent les mêmes préoccupations que les pays voisins; satisfaire en riz les besoins de la consommation nationale, former les cultivateurs locaux, créer une Société Nationale d'irrigation et d'aménagement hydraulique.

Après une analyse rapide du milieu physique et humain, des structures foncières et des traditions agricoles, l'auteur décrit les aménagements et justifie leur choix. Les orientations agricoles et les résultats obtenus sont commentés.

L'auteur considère que le projet Ouémé, projet pilote, compte tenu des résultats, devrait déboucher sur des actions plus étendues. L'expérience vécue est riche en leçons, en particulier en ce qui concerne les problèmes humain et foncier dont il faudra tenir compte dans l'avenir.

* * * * *

L'accroissement rapide de la population du Bas-Benin avait impliqué pour l'administration coloniale, le devoir d'envisager dès lors, la mise en valeur de la vallée alluvionnaire de l'Ouémé, afin d'en tirer les ressources vivrières indispensables.

C'est dans cet esprit qu'était née en 1951, "la mission d'études de l'Ouémé" chargée de jeter les bases d'un programme d'aménagement.

Pour atteindre cet objectif, cette mission a eu à procéder à des études notamment agricoles de 1954 à 1959.

Après l'indépendance nationale, de 1962 à 1964, la mission d'aide chinoise de Taïpeh s'est installée dans la vallée pour y effectuer des expériences rizicoles.

Mais déjà, à cette époque, le gouvernement du Benin qui était depuis longtemps convaincu des énormes potentialités de la vallée de l'Ouémé, avait conclu un accord avec le fonds spécial des Nations Unies, pour l'octroi d'une aide au titre du programme de développement, en vue de la réalisation d'une opération d'aménagement hydroagricole pilote dans la vallée de l'Ouémé.

C'est sur la base de cet accord, et des expériences de la mission d'études française, puis de la mission d'aide chinoise qu'a été financé en 1968 le "projet d'aménagement hydroagricole pilote dans la vallée de l'Ouémé".

BUTS ET OBJECTIFS DU PROJET

Financé, conjointement par le PNUD et par le gouvernement pour une durée de 3 ans, ce projet avait pour but d'accroître la production du riz et d'autres cultures de rapport dans les plaines d'inondation de la basse vallée plus particulièrement visait à:

- 1 - assister le Benin pour l'aménagement de 1 800 ha dans le delta de l'Ouémé, principalement en vue de la riziculture, et pour l'établissement des plans d'aménagement de 1 200 ha supplémentaires sur la base d'études existantes et de données complémentaires recueillies sur les sols, l'hydrologie, l'agronomie, l'économie;
- 2 - former des cultivateurs locaux et des vulgarisateurs aux techniques rizicoles;

- 3 - assister le Bénin pour la mise en place d'une Société Nationale de développement qui devra poursuivre la mise en valeur de la région. Pour comprendre le contexte dans lequel s'est déroulé le projet, il s'avère nécessaire de présenter d'abord le milieu tel qu'il était avant sa mise en place.

ETUDE DU MILIEU GEOGRAPHIQUE ET LES HOMMES

Le bassin versant de l'Ouémé dont la superficie est d'environ 45 000 km² (près de 1/3 de la superficie totale du Bénin) est presque en totalité situé au Bénin. Ce bassin alimente l'Ouémé long de 500 km. C'est le fleuve le plus important du Bénin. La basse vallée de l'Ouémé est la région alluvionnaire du fleuve, constitué par une sorte de couloir dont la longueur jusqu'aux lagunes est de 80 km et dont la largeur varie de 0 à 20 km dans le delta.

C'est dans le bas-delta de l'Ouémé, sur la rive gauche qu'est située la zone du projet d'aménagement hydroagricole pilote; le projet intéresse une superficie globale de 5 000 ha de terres basses comprises entre Adjohoun au nord, Hozin au sud, et le plateau de Sakété à l'est.

Le climat: qualifié de "sous climat baouléen dahoméen" est caractérisé par:

- une température moyenne de 25 à 27° avec une hygrométrie élevée et une nébulosité assez forte;
- la pluviométrie irrégulière en distribution et en volume qui se répartit en deux saisons de pluies:
 - mi-mars-juillet avec 800 mm
 - mi-septembre-octobre avec 300 mm
- la crue de l'Ouémé qui, commence entre les mois de juin et août atteint son maximum en octobre, époque à laquelle son débit est de l'ordre de 1 000 m³/s puis s'achève en novembre. Durant cette période, la montée des eaux provoque l'inondation de la quasi totalité de la vallée alluvionnaire. En moyenne l'inondation des terres de la vallée alluvionnaire a une hauteur de 1 m et une durée de trois mois. La hauteur maximale, l'étendue, la durée et la cote de la submersion en ses différentes parties sont très variables.

Après la crue, l'eau subsiste pendant de longs mois encore dans certains bas-fonds dépourvus de drainage naturel vers les rivières ou les lagunes.

Les études pédologiques, réalisées dans la vallée, ont permis de définir trois grands types de sol qui sont:

- les sols limoneux, limono-sableux et limono-argileux sur les alluvions des bourrelets de berge: ce sont des sols jeunes à profil homogène. Leur acidité augmente avec leur richesse en argile. Ils subissent une inondation annuelle souvent très courte, portent une végétation de forêt secondaire ou de "bush arbustif".
- les sols argileux des dépressions centrales et latérales, subissant une submersion prolongée et possédant une nappe phréatique peu profonde, sont très marqués par cette hydromorphie semi-permanente provoquant la formation d'un horizon de gley proche de la surface. Leur bonne structure superficielle est due à leur forte teneur en matières organiques mais ils sont très compacts à faible profondeur.

- les sols de la zone basse proche du lac Nokoué qui sont des argiles marécageuses en voie de fixation. Ce sont des terres riches en matières organiques acides se décomposant lentement sur place et donnant des formations plus ou moins tourbeuses.
- les terres se situent à niveaux d'altitude décroissante réparties grosso-modo d'est en ouest
 - le bourrelet de berge en Houégbodji
 - une partie intermédiaire en Tikpa
 - la partie basse ou Tigbodji

LES HOMMES

Densité et répartition: Les hommes avec une densité de la population se situant entre 150 h/km² et 200 h/km². Le Bas-Ouémé apparaît comme l'une des régions d'Afrique les plus peuplées. Les habitants de l'Ouémé - les Ouémènou sont répartis de différentes façons:

- dans de très gros villages agglomérés souvent sur pilotis, en raison de leur situation ou alignés sur le bourrelet de berge;
- dans des agglomérations importantes mais **aérées avec des fermes intercalaires en bordure** du plateau, dominant de quelques dizaines de mètres la vallée;
- enfin des quelques fermes isolées ou hameaux familiaux au coeur de palmeraies et des forêts couvrant le secteur de plateau de Sakété.

STRUCTURES FONCIERES

Un schéma concis des règles régissant la propriété ou la jouissance du sol est difficile à donner dans l'état actuel de l'évolution des droits; l'interférence de plusieurs modes d'acquisition, depuis l'usufruit collectif de terres à caractère sacro-religieux jusqu'à la propriété individuelle acquise par achat, rendrait arbitraire toute définition simple. D'autre part, chacun des modes d'acquisition ou de jouissance pose ses problèmes.

De plus, l'existence d'un nombre croissant de mise en gage des terres, traduit d'une part les difficultés économiques rencontrées par une catégorie de cultivateurs, et d'autre part montre le souci qu'ont les intéressés de sauvegarder leurs droits de propriété ou ceux de leur famille.

Les activités agricoles traditionnelles

Basées sur les conditions écologiques, les activités agricoles de la vallée peuvent être divisées en deux:

- le bourrelet de berge, où les cultures suivent les divisions pédologiques: on y distingue: des zones à manioc, des zones à maïs et des zones à haricot.
- le Tigbodji où la seule culture principale est le maïs de décrue. On assiste également à la production de légumes. En dehors des cultures, la pêche constituait une activité fondamentale des villages de bourrelet de berge et dans une bien moindre mesure, de ceux de la bordure du plateau.

La forme de pêche la plus originale ici, en même temps que la plus intimement associée au paysage agraire, est celle pratiquée au sein du terroir cultivé, dans les trous à poissons. Au moment de la décrue, les poissons se réfugient dans les trous où ils se multiplient et grossissent et où il est facile de les capturer, tout au long de la période des basses eaux, à l'aide de différents types de pièges et de nasses.

Une autre technique de pêche, très répandue dans les villages de bourrelet de berge, est celle qui consiste à établir dans le lit mineur du fleuve, près des rives, des radeaux d'herbes et différentes plantes aquatiques, appelés "aholo" et rendus fixes par une séné de pieux plantés à leur périphérie. Ces radeaux sont des installations provisoires balayés par chaque crue et qu'il faut refaire chaque année. Quand on veut pêcher l'un de ceux-ci, on les ceinture avec des nattes de bambou ou de nervures de palmes mises bout à bout et l'on capture le poisson ainsi emprisonné à l'aide de différents types de pièges et d'épuisettes.

Agriculture et pêcheurs, les habitants de villages du bourrelet de berge sont également éleveurs. Cette activité est la troisième à marquer le paysage de la vallée - il s'agit d'une spéculation peu importante, mais riche de signification par l'organisation du paysage agraire qu'elle entraîne et d'une originalité d'autant plus remarquable que le Bas-Bénin abrite peu de bétail: en particulier l'agriculture sèche, des plateaux voisins se montre jusqu'ici non seulement indifférente, mais hostile à l'élevage.

LES AMENAGEMENTS

Un choix relatif à la conception d'ensemble des aménagements de la plaine s'imposait dès le départ. Deux possibilités s'offraient: endiguer totalement ou partiellement l'Ouémé et ce faisant, soustraire le polder ainsi créé à la crue pour y pratiquer deux cultures dans l'année ou n'envisager l'utilisation des terres que pendant la saison sèche laissant l'eau de la crue les submerger de juillet à décembre. La seconde solution a été retenue pour les raisons suivantes:

- l'endiguement total de l'Ouémé dépassait les moyens matériels et financiers du projet;
- la suppression de la crue privait du même coup les terrains des fertilisations naturelles;
- les cultures de décrue pratiquées grâce aux réserves en eau du sol n'auraient plus été possibles sans irrigation;
- le pompage de l'eau d'irrigation et le refoulement dans l'Ouémé de l'eau de drainage auraient été trop coûteux.

Une fois cette option prise les périmètres à aménager sur le plan hydroagricole ont été choisis en fonction des facteurs exposés précédemment et de leurs possibilités agromomiques.

Au nombre de neuf pour ce qui est de l'irrigation par gravité, ils sont situés dans les secteurs de Gbada, Yokon, Mitro, Dogla, Hètin Sota, Ondji, Hozin et Azaourissè.

L'eau nécessaire aux périmètres à irriguer par pompage devant être tirée des principaux canaux de drainage, les rizières devaient par conséquent être situées à proximité immédiate des drains.

Les aménagements réalisés sont finalement le résultat de l'installation de trois réseaux:

- le réseau d'irrigation qui comprend, outre les canaux primaires, secondaires et tertiaires, les ouvrages de prise, de répartition et de distribution. L'objectif en est évident.

- le réseau de drainage comprend, en plus des drains de différents ordres, les ouvrages de contrôle du niveau de la nappe. Son but est non seulement l'évacuation des eaux de la crue, de pluie et d'irrigation excédentaire, mais aussi l'amélioration foncière par abaissement de la nappe phréatique jusqu'au niveau optimal pour les cultures, de vastes zones non irrigables mais convenant parfaitement aux cultures de maïs et de haricot.

- le réseau de pistes d'accès à la plaine et de desserte des périmètres irrigués.

Les vestiges du réseau de drainage aménagé par la mission d'études de l'Ouémé ont été remis en état et complétés partout où cela s'est révélé possible. Il en a résulté une économie appréciable.

Le projet a pleinement atteint son objectif en ce qui concerne les aménagements puisque la mise en valeur de 1 800 ha est achevée et que les plans pour le développement des 1 200 ha additionnels à aménager à partir de juin 1972 ont été préparés.

En ce qui concerne les voies de communications avec la plaine d'inondation et les périmètres irrigués, leur densité trop faible et leur mauvais état on rendu indispensable l'exécution d'un programme important de réfection des pistes existantes et de création de pistes nouvelles. Dans un souci d'économie, elles ont été réalisées en terre compactée et leur tracé a été choisi de telle sorte que le nombre d'ouvrages à exécuter a été le plus réduit possible.

En résumé, le type d'aménagement retenu offre sans contexte la meilleure rentabilité et est aussi le plus rationnel en égard aux conditions générales de la zone.

LA PRODUCTION AGRICOLE

Les buts assignés à l'étude agronomique par le plan d'opération, consistaient à proposer des cultures possibles. Un accent particulier devait être mis sur les possibilités de la riziculture et son extension.

A cet effet, une station expérimentale a été implantée à Houèda. Différents essais ont été effectués:

- expérimentation au champ sur la sélection des variétés les plus productives selon les conditions de sols, de drainage et de topographie;
- multiplication des semences de riz destinées à satisfaire les besoins des nouveaux périmètres;
- expérimentation sur maïs.

Au début c'est la variété IR 8 qui a été vulgarisée au niveau des paysans. Après les essais en station ce sont les variétés IR 22 et IR 442 qui ont été retenues pour l'instant pour leur aptitude aux conditions écologiques de l'Ouémé. Les rendements moyens obtenus en vulgarisation se situent autour de 3 T/ha; tandis qu'avec l'IR 8 on avait les 4 T/ha. Cette variété a été abandonnée pour des raisons agronomiques (attaquée par les maladies) et surtout en tenant compte du goût des consommateurs.

Les paysans n'étaient pas habitués à la culture du riz dans l'Ouémé. Cependant c'est avec enthousiasme qu'ils ont manifesté une adhésion massive autour de ce projet.

Ceci s'explique surtout par la confiance qu'ont inspiré à la fois et les experts FAO et leurs homologues **Beninois**. Cette confiance était née des actions qui ont porté sur l'animation.

Il a été créé en effet, un service de formation et de vulgarisation dont les activités ont porté au départ sur l'animation; à l'intérieur des villages ont été recherchés des leaders susceptibles d'entraîner leurs propres milieux.

Près de 700 paysans dits pilotes ont subi un stage au cours de 3 campagnes agricoles. Leur formation selon des méthodes de pédagogie active a permis de leur faire assumer et rediffuser les novations techniques indispensables pour l'introduction de la riziculture irriguée.

Parallèlement, la formation pratique des encadreurs ruraux, des moniteurs d'agriculture a été entreprise.

Le regroupement des paysans a été systématiquement recherché depuis les groupes de travail à la base en passant par les associations villageoises à vocation coopérative jusqu'à l'amorce de la société régionale.

C'est sans doute cette démarche, faisant appel à la participation active des agriculteurs, qui peut expliquer le mieux leur adhésion massive et relativement rapide.

Toutes ces actions conjuguées ont eu pour conséquence de donner les résultats positifs suivants:

- 1 000 tonnes de riz de paddy environ ont été produites avec des récoltes d'un rendement moyen de 4 T/ha environ dans une région où l'on ne produisait que 9 tonnes en 1969;
- une rizerie capable de décortiquer, de blanchir et de polir 1 500 kg de riz à l'heure, mais dont l'accroissement de capacité a été prévu fonctionne avec une installation de séchage et de stockage du paddy d'une capacité de 800 tonnes;
- près de 900 ha de maïs ont été améliorés par l'introduction de variétés hybrides;
- un dispensaire pour protéger la santé des paysans a été construit;
- un programme d'éducation sanitaire a été élaboré.

CONCLUSIONS

Le projet Ouémé est un projet pilote; comme tel, il devrait déboucher sur des actions plus étendues si les résultats sont positifs; ces actions doivent être prises en charge par une société nationale de développement de la zone.

C'est ainsi qu'en juin 1972, est née la société nationale d'aménagement et de développement de la vallée de l'Ouémé (SADEVO), société d'économie mixte, qui prend la relève du projet pilote, pour poursuivre les extensions.

Le projet d'aménagement hydroagricole pilote dans la vallée de l'Ouémé, est une expérience riche de leçons; en effet il a permis de toucher du doigt les nombreuses difficultés auxquelles on peut être confronté dans un projet d'aménagement hydroagricole:

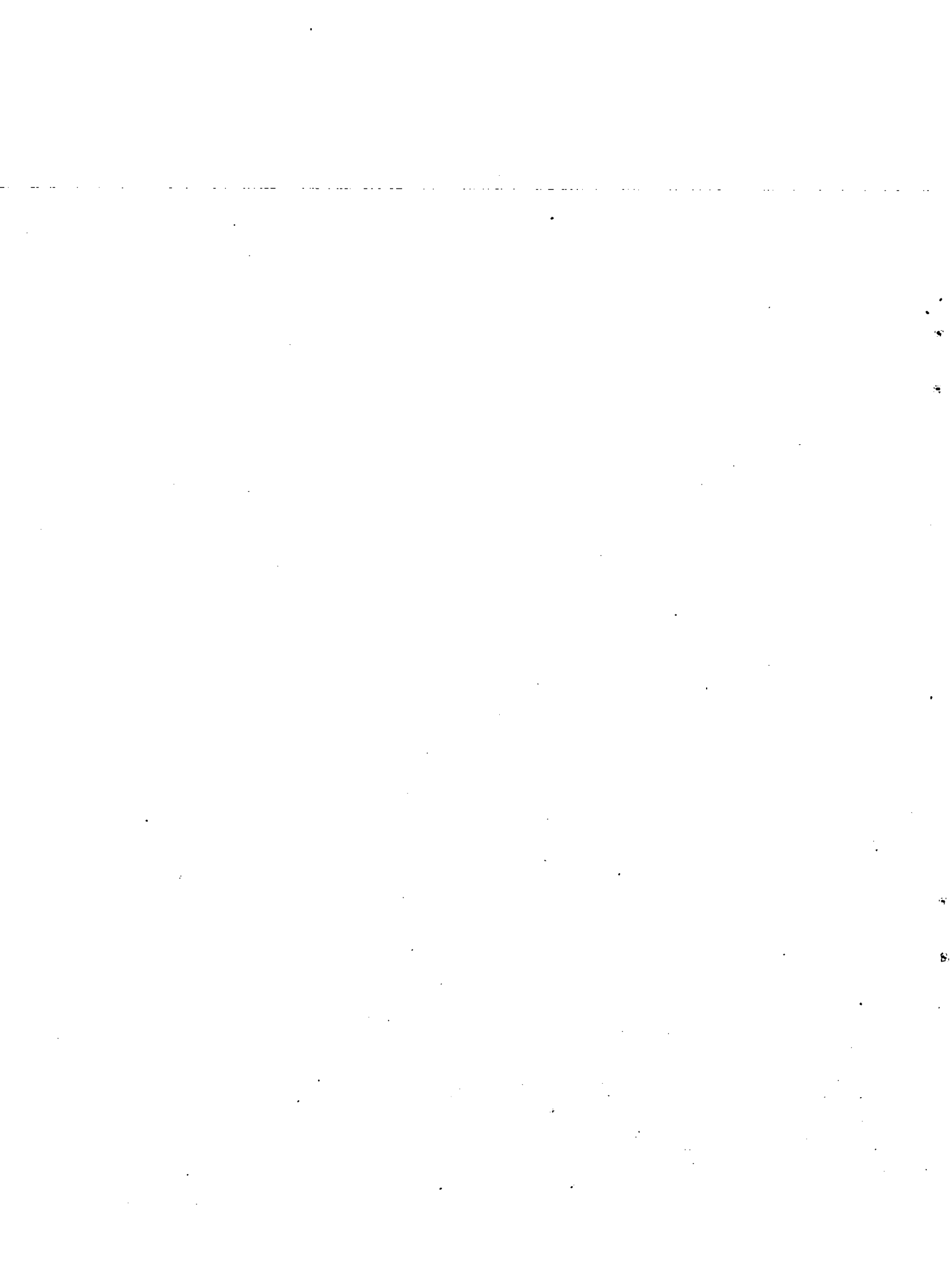
- la conduite simultanée des études et de l'exécution des travaux d'aménagement sur le terrain;
- l'application de la discipline de l'irrigation;
- l'entretien des ouvrages et des réseaux d'irrigation et d'assainissement.

De toutes ces difficultés, les problèmes humains et fonciers restent les plus importants. Dans l'Ouémé, toutes les terres sont appropriées. Pour réaliser l'aménagement, il a fallu avoir recours à une législation béninoise qui permet, lorsqu'une zone est constituée en périmètre d'aménagement rural, de regrouper les terres avant de procéder à une redistribution.

Auparavant, il faudra réaliser le cadastrage pour déterminer les propriétés. Cette restructuration des terres reste malgré les difficultés, la seule manière de réaliser ces aménagements, surtout en zone fortement peuplée.

C'est sur la base des résultats et des expériences acquis au cours du projet pilote que la SADEVO à continuer le programme de développement de la vallée sédimentaire.

Mais depuis le 23 avril 1975, est née la SONIAH (société nationale d'irrigation et d'aménagement hydroagricole), société d'état, à compétence sur tout le territoire national. Cette décision est issue de la réforme des structures au niveau national.



III. 3. QUELQUES PROBLEMES POSES PAR LA REALISATION ET L'ENTRETIEN DES PETITS BARRAGES EN TERRE EN AFRIQUE OCCIDENTALE, par J. M. GRESILLON

RESUME

L'auteur attire l'attention sur les dommages rencontrés sur les petits barrages en Afrique occidentale - réserve d'eau à vocation humaine, pastorale ou agricole. Les défauts ont des origines diverses; évacuateur de crue mal dimensionné, perméabilité du réservoir ou de la digue, glissement des talus, renards, etc.

Chacun des problèmes est analysé successivement, considérant les trois éléments principaux d'un tel ouvrage - la cuvette, l'évacuateur de crue, la digue proprement dite. Des suggestions sont faites pour pallier à de tels dommages.

* * * * *

Les réserves d'eau à vocation humaine, pastorale ou destinées à l'irrigation, sont nombreuses en Afrique occidentale; leurs dimensions, généralement petites, ne constituent pas une garantie contre les dommages, au contraire semble-t-il, car on ne dispose le plus souvent que d'informations médiocres pour entreprendre leur réalisation et, par la suite, leur entretien doit être assuré en grosse partie par les populations utilisatrices, peu habituées à ce travail.

Nous avons relevé et analysé en Haute-Volta, cinquante barrages défectueux: la moitié des dommages provient d'un défaut de l'évacuateur de crue, soit qu'il ait été mal dimensionné, soit qu'il donne lieu à des phénomènes d'érosion régressive importants. Sept barrages présentent des défauts de perméabilité: cuvette perméable ou mauvais ancrage de la digue et du déversoir. Sept autres ont subi un mauvais entretien des parements de la digue: les griffes d'érosion dues à la pluie arrivent à créer des brèches dans le corps de la digue. D'autres enfin (six), ont été atteints par des renards à la jonction bajoyer-barrage, ou bien sous le déversoir ou encore le long des racines d'un arbre. Les autres ont été mal compactés ou ont péri par glissement des talus.

Nous reviendrons sur chacun de ces types de problèmes en analysant successivement les trois éléments d'un barrage:

- la cuvette, dont le rôle est de stocker l'eau;
- l'évacuateur de crue qui doit permettre aux eaux excédentaires d'être restituées à l'aval du barrage;
- la digue servant à fermer la cuvette.

LA CUVETTE

ASPECT TOPOGRAPHIQUE

Le volume des eaux retenues dépend de la topographie du lieu: une zone aux reliefs montagneux offre des sites profonds et permet, en général, de stocker des volumes importants.

En Afrique de l'ouest, ces sites ne sont malheureusement pas fréquents et on doit exploiter des cuvettes dont la profondeur maximum n'excède pas trois mètres. Les reliefs très doux que l'on rencontre dans ces zones compensent cet inconvénient: on arrive même avec de petites profondeurs d'eau (3 mètres), à des volumes stockés de plusieurs centaines de milliers de mètres cubes.

Pour la même raison, la surface du plan d'eau sur de telles retenues est importante et l'évaporation absorbe des volumes considérables.

Si $s(t)$ est la surface du plan d'eau à l'instant t ;

- e est la valeur de la hauteur d'eau évaporée par unité de temps;

- T la durée pendant laquelle la réserve conserve de l'eau (on suppose que la réserve se vide chaque année)

$$\sqrt{\text{évaporé}} = \int_T s(t) \text{ et } dt$$

En supposant que le niveau du plan d'eau baisse linéairement en fonction du temps, on peut exprimer la relation entre dt et dh , dh étant la baisse du plan d'eau pendant l'intervalle de temps dt :

$$\frac{dh}{dt} = \frac{H}{T}$$

H étant la hauteur maximum du plan d'eau (fixée par le niveau de l'évacuateur de crue).

$$dt = \frac{T}{H} dh$$

$$\text{et } \sqrt{\text{évaporé}} = \int_{h=H}^{h=0} s(h) \times e \frac{T}{H} dh$$

$$= e \frac{T}{H} \int_{h=H}^{h=0} s(h) dh = e \frac{T}{H} \sqrt{\text{réserve}}$$

La proportion d'eau évaporée est d'autant plus petite que:

- l'évaporation par unité de temps e est faible, d'où les essais de limitation par films de protection;
- la durée pendant laquelle la réserve contient de l'eau est plus courte;
- la profondeur maximum de l'eau est plus grande.

Pour donner une idée, en supposant une région où l'évaporation est de 8 millimètres par jour (Sahel) et où les réserves sont épuisées après dix mois (saison sèche), on donne la variation du rapport

$$\frac{\sqrt{\text{évaporé}}}{\sqrt{\text{réserve}}} \quad \text{correspondant à quelques profondeurs de réserves}$$

H	3 mètres	4 mètres	5 mètres	7 mètres	10 mètres
√ évaporé					
√ réserve	80 %	60 %	50 %	35 %	25 %

Ces valeurs doivent être réduites lorsque la réserve ne s'assèche pas chaque année, ce qui ne peut être le cas que pour les hauteurs supérieures à quatre mètres. On note donc l'intérêt des barrages "hauts", du point de vue de l'efficacité du volume de stockage.

PROBLEMES DE PERMEABILITE DES SOLS DE CUVETTE:

Les renseignements qui concernent les perméabilités des sols tapissant le fond d'une retenue sont évidemment de la première importance, mais difficiles à recueillir. On se contentera d'indiquer quelques défauts de perméabilité "classiques".

- les sols qui nous concernent sont fréquemment atteints par un phénomène de latérisation, il est essentiel que cette latérite ne soit indurée en aucun point de la réserve. Les latérites indurées sont en effet très fissurées et constituent une cause fréquente d'infiltration.
- dans le cas des petites réserves, il est tentant de puiser le matériau de la digue au fond de la cuvette afin de l'approfondir de un, deux ou trois mètres, ce qui peut parfois permettre de garder de l'eau d'une saison des pluies à la suivante (l'évaporation annuelle atteint deux mètres cinquante dans les régions sahéliennes). Toutefois, dans ce cas, il faut s'assurer que la distance des ballastières à la digue est suffisante, celles-ci constituent en effet un passage privilégié pour les infiltrations sous la digue. Le problème est privilégié pour les infiltrations sous la digue. Le problème est d'autant plus sérieux que les sols de la cuvette sont plus perméables.
- en réalisant une tranchée d'ancrage, on rencontre assez fréquemment des zones sableuses ou graveleuses correspondant à d'anciens lits. Ces zones sont évidemment à récupérer totalement par un masque d'étanchéité en argile. Malheureusement, on n'est jamais sûr d'avoir réalisé une coupure suffisante, car, pour des raisons évidentes d'économie, on descend rarement une tranchée d'ancrage bien profondément.

PROBLEME D'ENVASEMENT DES CUVETTES:

Comme partout ailleurs, en Afrique occidentale, les réserves d'eau sont le siège d'un phénomène de décantation dont le résultat est un envasement progressif diminuant chaque année le volume d'eau stockable (1).

On a négligé ce problème jusqu'à ce jour dans la plupart des cas parce qu'il existe peu de méthodes simples pour y porter remède (en dehors de l'implantation systématique d'une végétation sur tout le bassin versant). Malgré son caractère un peu gratuit, l'étude de l'envasement paraît toutefois importante si l'on veut faire un calcul sérieux de l'amortissement des ouvrages. L'envasement est très lié au phénomène d'entraînement des particules solides par l'eau; on sait que les paramètres essentiels sont les suivants:

(1) Le processus est peut-être moins rapide de façon générale, en Afrique occidentale qu'en Afrique du nord par exemple; il n'empêche que nous connaissons bon nombre de réserves dont l'efficacité a été considérablement réduite depuis les vingt ou trente années de leur existence.

- nature des terrains (grosseur des particules, existence ou non d'une cohésion dans les sols; existence ou non d'une végétation);

- vitesse de l'eau: celle-ci dépend elle-même - des pentes

- du régime des pluies

- les pentes: En régime d'écoulement uniforme, on sait que les vitesses d'écoulement sont approximativement proportionnelles à la racine carrée de la pente et il est clair que la force d'arrachement de l'eau est fonction de sa vitesse. Fort heureusement, les reliefs de l'Afrique occidentale sont généralement doux, comme on l'a déjà dit, c'est l'une des raisons qui expliquent le caractère "tolérable" des phénomènes d'envasement de nos régions;

- le régime des pluies: L'importance des pluies joue évidemment un grand rôle et surtout l'intensité des pluies: les pluies très violentes ruissellent beaucoup plus vite et entraînent les sols avec elles. Fournier propose même une formule pour l'estimation des débits solides qui ne tient compte pratiquement que d'un terme traduisant la concentration de la pluie dans le temps. Cette formule donne des résultats très sévères et probablement nettement trop forts pour nos régions **où les pluies sont précisément très concentrées dans le temps.**

- pour certains auteurs, la valeur de l'envasement d'une retenue ne dépend que de la surface de son bassin versant. L'entraînement des matériaux exprimé en mètres cubes par kilomètre carré et par an est une fonction décroissante de la surface du bassin. Nous avons exprimé cette relation sous la forme:

$$D_s = 5000 S^{-1/3}$$

D_s = entraînement en mètres cubes/kilomètres carrés/an
(dégradation spécifique annuelle)

S = surface du bassin versant en kilomètres carrés

L'envasement annuel d'une réserve "E" en mètres cubes est donc de la forme:

$$E = 5000 S^{2/3}$$

Il est clair que, à volume de stockage égal, de deux réserves, la meilleure vis-à-vis de l'envasement est celle dont le bassin versant est le plus petit; les réserves d'Afrique occidentale sont souvent établies sur de petits bassins et ont un volume de stockage relativement élevé. Leur durée de vie n'est donc en général pas très courte, mais on voit qu'il n'est pas inutile de s'en assurer a priori par un calcul du type précédent particulièrement simple. Notons néanmoins, que la formule proposée correspond à une étude faite en Amérique. Elle convient en Afrique du nord mais, quoique fournissant des estimations souvent correctes, il n'est pas prouvé qu'elle soit toujours satisfaisante dans nos régions. Il semble d'ailleurs peu probable que la seule surface du bassin versant puisse représenter correctement tous les paramètres hydrauliques et pédologiques déterminants dans ce problème.

L'EVACUATEUR DE CRUE

Il n'existe que très peu de réserves en Afrique dont le volume soit supérieur à celui des apports annuels. Un évacuateur s'avère donc nécessaire pour les apports excédentaires. Cet ouvrage est de la plus haute importance: il doit protéger la digue d'une submersion qu'elle ne peut supporter et assurer à l'eau un transfert vers l'aval sans qu'elle entraîne de dégâts par sa chute.

ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE:

L'évacuateur est conçu pour pouvoir transiter un certain débit maximum que l'on choisit en général légèrement supérieur au débit de la crue décennale. Il s'agit d'estimer le plus correctement possible la valeur de cette crue décennale.

- la meilleure méthode à l'heure actuelle pour les petits bassins versants d'Afrique occidentale (< 200 km²) est probablement celle qui a été proposée par l'ORSTOM avec l'étude de Messieurs RODIER et AUVRAY; cette méthode utilise la pluie décennale de vingt quatre heures du lieu et la surface du bassin versant; elle distingue les trois type de climat: sahélien, tropical et "forestier", suivant la pluviométrie et la végétation. Les paramètres importants pour ces auteurs sont:
 - les pentes du bassin versant: elles sont classées en six catégories R1, R2, R3, R4, R5, R6, allant des pentes les plus faibles (R1 allant environ de 1 à 2 ‰/oo aux plus fortes (R6 allant environ de 5 à 20 ‰);
 - les perméabilités des sols du bassin: classées elles aussi en catégories depuis P1, bassins rigoureusement imperméables, jusqu'à P5, bassins très perméables.

Afin de simplifier l'utilisation de cette méthode, nous avons tracé des abaques qui pour les trois pentes R2, R3, et R4 donnent la valeur de la crue décennale en fonction de la surface du bassin versant pour diverses perméabilités de terrain. Ces abaques sont établies, pour les climats sahéliens, en supposant que la pluie décennale de vingt quatre heures est égale à 100 millimètres. Il faut donc corriger la valeur trouvée proportionnellement à la valeur réelle locale de cette pluie.

- l'analyse des abaques suggère les réflexions suivantes:

- le relief est le paramètre le plus important qui conditionne les valeurs des crues. Dans les cas les plus courants, la détermination de la catégorie de relief s'effectue sans grande ambiguïté;
- la perméabilité est un facteur parfois également très important; il est beaucoup plus délicat de classer un bassin dans une catégorie P du fait de la non homogénéité des sols et du caractère qualitatif de l'échelle proposée. En conséquence, il ne semble pas que l'on puisse garantir, dans les cas courants, une précision supérieure à 100 % avec cette méthode, comme on peut s'en rendre compte en passant d'une catégorie P à une autre (quand un bassin est-il "assez imperméable", quand est-il "assez perméable" ? ce sont les qualificatifs respectifs des catégories P3 et P4);
- la forme générale des courbes indique qu'il existe trois catégories de bassins versants:
 - les petits bassins, inférieurs à 20 Km², où la valeur de la crue ne dépend pas ou peu de la surface du bassin;
 - les grands, supérieurs à 50 km² ou 100 km² suivant les cas, où la valeur de la crue ne dépend pas beaucoup non plus de la surface du bassin;
 - les bassins de superficie moyenne (comprise entre les deux bornes précédentes) où la progression de la valeur de la crue décennale avec la surface du bassin est très rapide; il y a même parfois presque proportionnalité.

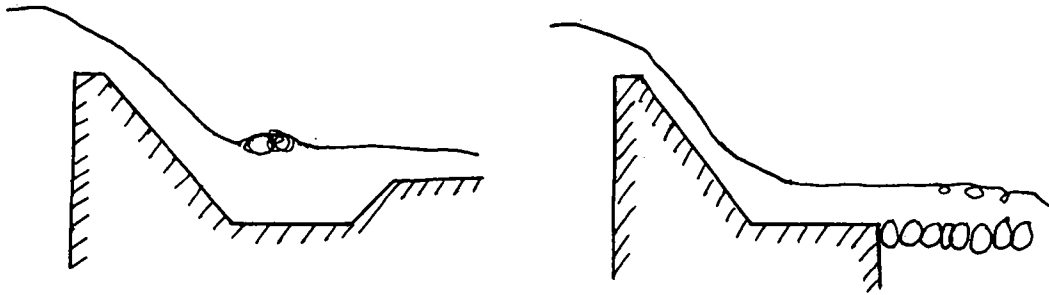
L'existence de cette stabilité aux petites surfaces en particulier est assez surprenante quoique non invraisemblable; il y a peut-être lieu de se montrer prudent dans l'utilisation de la méthode pour les bassins versants de petite surface.

DIVERS TYPES D'EVACUATEURS:

Il existe de très nombreux types d'évacuateurs possibles. Pour les petits ouvrages, toutefois, on utilise presque toujours un déversoir. Les différences, outre celles qui ont trait à la géométrie du mur déversoir, portent sur son emplacement par rapport à la digue.

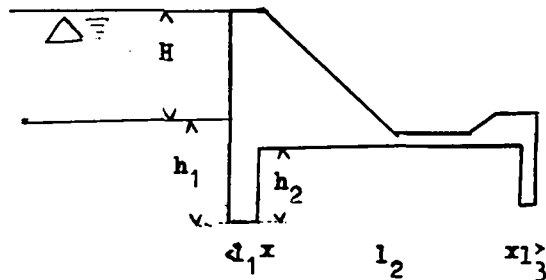
- le déversoir central: il coupe la digue en deux et restitue les eaux dans leur ancien lit, c'est-à-dire au point le plus bas du thalweg. Il s'agit donc d'un mur haut, qui, pour être en équilibre sous la poussée de l'eau, doit également être large. C'est un ouvrage en béton, volumineux et onéreux mais assez sûr, car l'eau retrouve son ancien parcours dont le profil correspond à un équilibre.

Il s'agit toutefois de dissiper sans dégâts, l'énergie cinétique qu'ont acquise les eaux en perdant de la hauteur. Une fosse de dissipation au pied du déversoir constitue probablement le moyen le plus simple et le plus efficace pour tenir ce rôle. De gros blocs très lourds placés derrière le seuil du déversoir peuvent également convenir si les hauteurs d'eau ne sont pas trop importantes.



Il s'agit d'autre part d'éviter les infiltrations sous le mur ou à sa jonction avec la digue, infiltrations qui peuvent être responsables d'un entraînement progressif de sol ("renard"); la présence d'un "parafouille" respectant la règle de Lande donne une bonne garantie contre le renard.

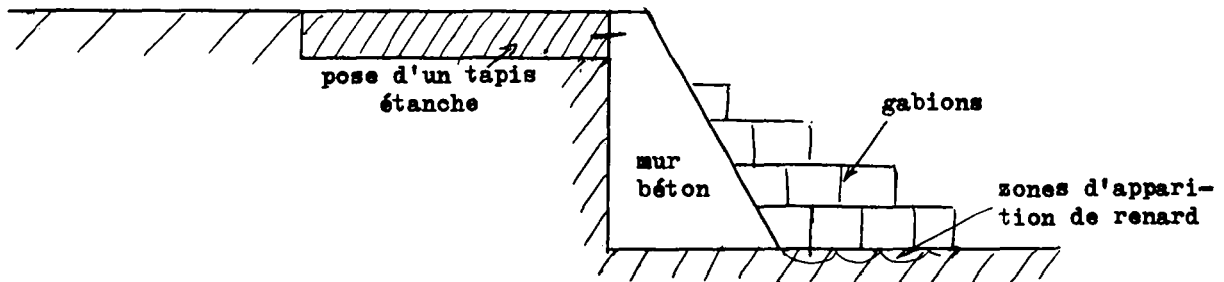
$$\frac{H}{\frac{1}{3} \sum l_i + \sum h_i} < \frac{1}{c}$$



Signalons toutefois qu'il est difficile de choisir la valeur de "C" dans l'échelle qualitative des sols qui est proposée. Cette échelle insiste sur les dangers que peuvent présenter les "silts" vis-à-vis de ce problème de boulangé; il est certainement très judicieux d'attirer l'attention sur les sols suffisamment fins pour être facilement entraînés par l'eau mais pas assez pour être "cohérents". Toutefois, il faut signaler la **difficulté d'utilisation d'une échelle qui passe brutalement d'une valeur de "C" égale à 9 (silt) à une valeur inférieure à 3 (argile)** sans que l'on puisse toujours établir bien clairement la différence (cas des sols fins à la granulométrie étendue).

La reprise d'un renard est toujours délicate. L'une des meilleures méthodes consiste à placer un tapis étanche (argileux par exemple) à l'amont de la zone concernée par le renard en soignant particulièrement la jonction de ce tapis avec l'ouvrage.

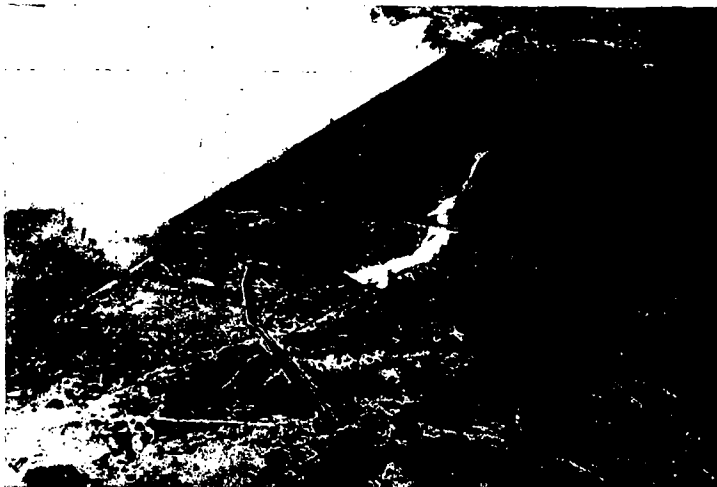
Exemple: mur déversoir de LOUDA



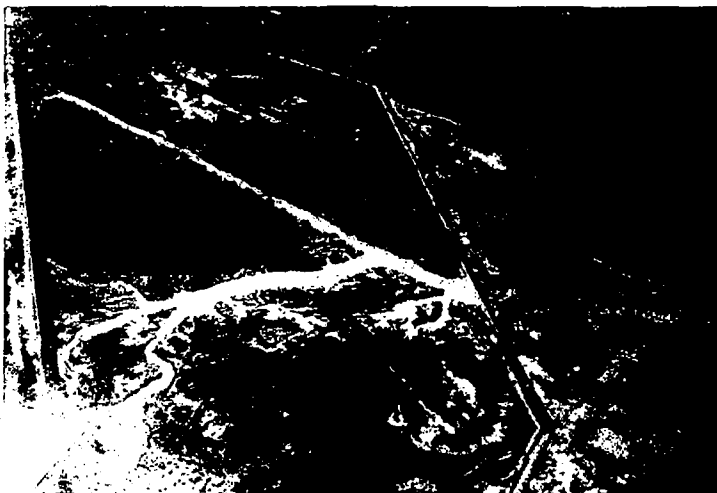
- le déversoir latéral: on réalise de sérieuses économies en effectuant un seuil déversant à l'extrémité du barrage, sur l'une des rives. Il ne s'agit alors que d'un petit mur peu élevé et qui ne subit la poussée de l'eau, d'ailleurs faible, que pendant la courte durée où la réserve est pleine. D'une part on évite les problèmes d'infiltration et de renards relatifs au déversoir central, et d'autre part, on diminue considérablement le coût de l'ouvrage. Malheureusement, après le passage du seuil, les eaux doivent rejoindre le fond du thalweg et ceci sur des pentes qui sont évidemment plus fortes que celles du bas fond lui-même, et, très souvent, incapables de supporter l'écoulement sans subir une sévère érosion. On a observé de nombreux problèmes de ce type en Haute-Volta, ainsi que l'illustrent les **photographies suivantes**:



Liptougou



Louda: noter le déversoir de reprise



Mogtedo: noter le déversoir de reprise

L'érosion se manifeste, en général, à une rupture de pente et progresse ensuite de manière irréversible vers l'amont (érosion "régressive"), jusqu'à atteindre le seuil déversant qui se trouve bientôt déchaussé. Le stade final est un lit qui contourne le barrage (cf. photo LIPTOUGOU). Pour être totalement garanti contre ces types de dommage, le chenal d'évacuation des eaux doit être en béton, ce qui réduit à néant l'avantage économique de ce type de déversoir. Un bon enherbement pourrait suffire pour lutter contre l'érosion, malheureusement, sous nos climats, il est très difficile de maintenir une **végétation** suffisamment fournie pour remplir ce rôle.

Nous avons observé plusieurs barrages à déversoir latéral en Haute-Volta de manière à mieux connaître les conditions qui doivent être remplies pour qu'un déversement latéral puisse être envisagé. Les déversements latéraux n'ayant subi aucun dommage par érosion sont ceux qui permettent la formation d'un chenal présentant des pentes inférieures à 1 % (BARKOUN - DOUBA et KOULFOU). Lorsque l'eau a creusé des griffes d'érosion, nous avons mesuré les pentes de ces griffes: elles sont voisines également de 1% (1,5 % à DONSE, 1,2 % à LINOCHIN).

Il faudra évidemment nuancer ce critère en fonction notamment des débits de crues ou des hauteurs d'eau écoulée et de la nature des terrains, mais il semble que l'on puisse déjà proposer la règle suivante:

le déversoir latéral n'est envisageable que si la pente des terrains servant de déversoir jusqu'au thalweg est inférieure à 1 %

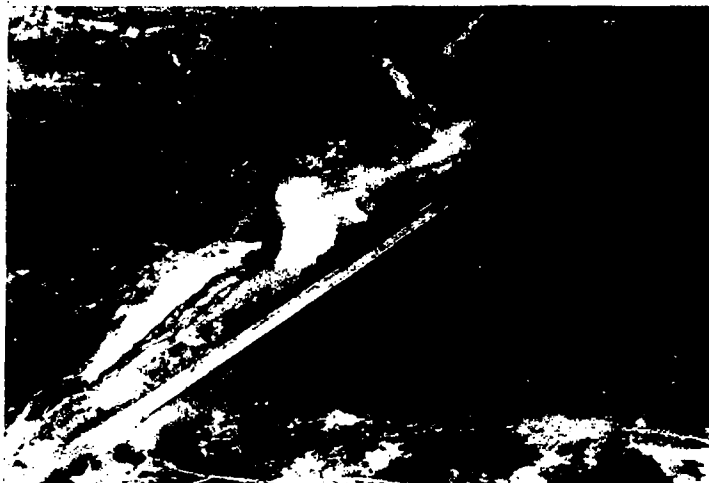
ceci n'est vrai de manière naturelle que dans des cas assez rares. Il nous semble possible toutefois de retenir ce type de déversement dans de nombreux petits ouvrages (3 mètres de hauteur et moins) à condition de réaliser une diguette servant de guide aux eaux de crue sur une distance suffisamment longue pour que la pente du chenal soit de 1 %. Cela signifie que la diguette pourra quelquefois être aussi longue que la digue elle-même. Ceci peut paraître prohibitif; en réalité, il ne s'agit pas d'un ouvrage de gros volume, il ne représente pas de gros travaux de terrassement; néanmoins il doit présenter tout au long de son **contact avec l'eau, une protection du type perré cimenté.**

Quel remède apporter à un chenal d'évacuation atteint par l'érosion ainsi que nous l'avons décrit? Il existe peu d'autres solutions que d'utiliser le chenal creusé par les eaux et d'y réaliser un seuil déversant fondé à une cote égale à celle du fond du thalweg et dont la crête est à la cote des plus hautes eaux désirées dans la retenue. Souvent il y a lieu de réaliser des diguettes obligeant toutes les eaux de crue à franchir ce seuil. Il s'agit donc en fait d'un ouvrage semblable au déversoir central dont nous avons parlé plus haut, mais dont la réalisation, souvent, s'avère plus délicate.

digues submersibles: une solution, séduisante en théorie, consiste à prévoir des digues capables d'être submergées pendant la période des crues; ceci n'est possible qu'à condition d'avoir recouvert la terre d'une protection efficace et durable. On n'y parvient que difficilement et de manière peu économique, c'est la raison pour laquelle cette solution n'est retenue que dans les cas de digues routières devant autoriser le passage de véhicules.

Le revêtement est à l'heure actuelle surtout réalisé en béton armé (dalle de 10 cm d'épaisseur) dans nos pays. Le mastic bitumineux (30 cm d'épaisseur) présente l'avantage d'être plus souple et donc de pouvoir suivre les déformations de la digue. Il se pose sous ces revêtements le problème des sous pressions capables de s'y introduire et plus difficiles à dissiper après le passage d'une crue (soulèvement de dalle ou entraînement de sol donc effondrement de dalles). On doit donc prévoir un système de filtres et de drains capables de décompresser l'intérieur de ces digues déversantes.

Se posent également les problèmes de dissipation d'énergie à l'aval de la digue; parfois aussi des problèmes d'érosion régressive: le déversement se faisant sur une grande longueur. l'eau doit longer le pied du talus aval pour rejoindre la Thalweg; il s'agit en général de pentes assez fortes susceptibles d'être érodées (photo)



Tougouri

LA DIGUE

Paradoxalement, la digue, organe essentiel de l'ouvrage, s'avère d'une réalisation généralement moins délicate que l'ouvrage évacuateur; il s'agit surtout de respecter certaines règles dans la mise en oeuvre de la terre, compte tenu du type de matériau disponible et d'assurer un entretien régulier tout au long de la vie de l'ouvrage.

LES ECOULEMENTS AU TRAVERS DE LA DIGUE

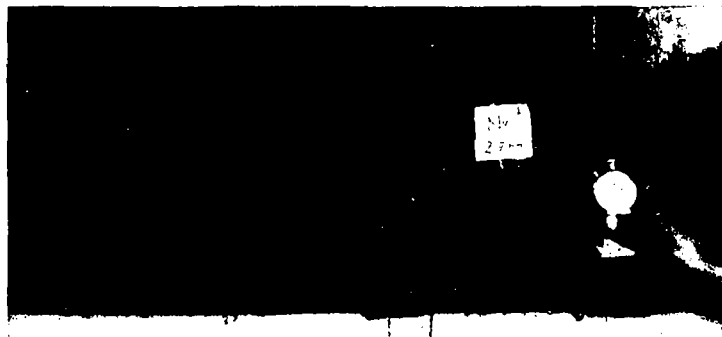
La terre ne constitue pas un matériau parfaitement imperméable, il se produit toujours un écoulement la traversant. Nous avons réalisé à l'Ecole Inter-Etats de Ouagadougou quelques essais permettant de visualiser cet écoulement; les essais consistent en une reproduction à échelle réduite de l'écoulement plan laminaire dont le milieu poreux que constitue le sol est le siège; un écoulement d'huile entre deux plaques planes parallèles respecte les conditions voulues (analogie visqueuse).

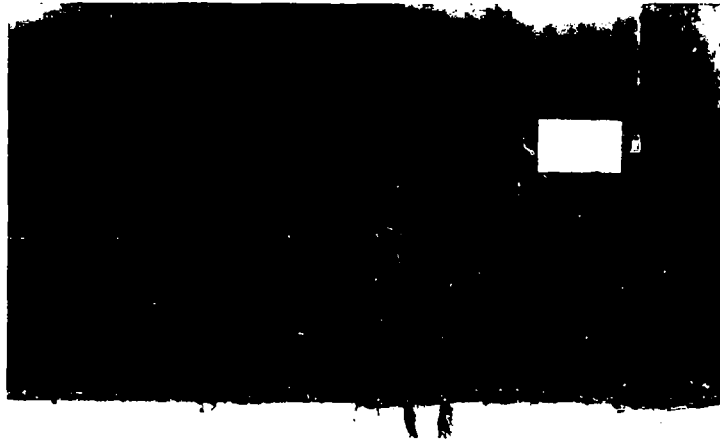
- Digue homogène (photo)



La digue homogène est réalisée chaque fois que l'on dispose d'un matériau suffisamment imperméable et toutefois ne contenant pas une trop grosse proportion d'argile. Elle est évidemment d'une réalisation particulièrement simple. On distingue sur la photographie la zone de la digue concernée par l'écoulement de l'eau; l'inconvénient de ce type d'ouvrage consiste dans le fait que le pied du parement aval est une zone de suitement; il s'agit d'une zone saturée d'eau donc fragile. On recommande dans ce cas de disposer un filtre de sable pénétrant depuis le pied aval de la digue jusqu'à quelques mètres à son intérieur pour permettre de rabattre la zone saturée; malheureusement, ces filtres sont délicats à effectuer et peu accessibles aux petits ouvrages.

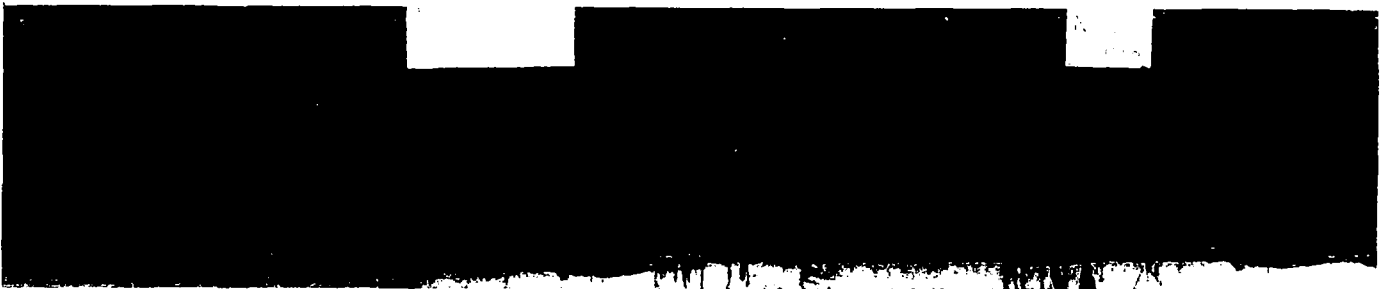
- Digue avec noyau central : (photo)





Si l'on dispose de deux matériaux, l'un très argileux, l'autre très peu argileux, on peut envisager la constitution d'une digue "à zones"; la zone imperméable étant "noyée" entre deux zones plus perméables; bien entendu, l'écoulement résultant dépend du rapport des perméabilités entre les deux types de matériaux; on a schématisé plusieurs rapports de perméabilité depuis 100 jusqu'à 4. Il est intéressant de constater que, même avec un rapport de perméabilité de 4, ce qui est très faible, le rabattement de la ligne de saturation est important. On peut en conclure qu'en réalisant un compactage plus énergique dans la zone centrale d'une digue homogène, il est possible de parvenir à un rabattement correct de l'eau sur le parement aval. En effet, on peut, par simple compactage réduire dans ces proportions la perméabilité d'une terre et le compactage est une technique plus aisée que la pose d'un filtre.

- Digue avec noyau incliné (photo)



Pour des problèmes de mise en oeuvre, il peut parfois être plus aisé de réaliser le noyau dit imperméable avec une inclinaison vers l'amont. L'efficacité de ce type de noyau en ce qui concerne les infiltrations est comparable à celle du noyau central mais il semble qu'elle soit moins bonne en ce qui concerne le rabattement de la zone concernée par l'écoulement dans la digue, tout au moins dans le domaine des faibles rapports de perméabilité.

PROBLEMES DE CHOIX ET DE MISE EN OEUVRE DES MATERIAUX:

Quels sont les matériaux susceptibles d'être utilisés pour réaliser une digue en terre? Compte tenu de la possibilité évoquée précédemment d'associer deux types de sols différents (et même trois sinon plus) pour construire une digue, on peut dire qu'il existe assez peu de matériaux inaptes. Les sables propres ou les petits graviers comptent parmi ceux-là, encore qu'ils peuvent jouer un rôle en tant que matériaux filtrants. Le matériau idéal est un sol à la granulométrie étendue à la fois des éléments fins argileux pour assurer une bonne imperméabilité et une certaine cohésion utile pour la stabilité des parements et à la fois des éléments grossiers - sables et graviers - pour que l'ensemble possède un bon "frottement interne". Bon nombre de sols latéritiques possèdent ces conditions.

Nous insistons toutefois sur le fait que ce matériau idéal n'est pas indispensable; des sols fins peuvent être utilisés, à condition qu'ils soient bien compactés et que leurs pentes soient douces et bien protégées contre l'érosion ou bien entretenues.

En ce qui concerne la mise en place, il est une chose à respecter, tout particulièrement dans le cas des petits ouvrages construits à la main, c'est l'homogénéité du compactage. Nous ne rappellerons pas les conditions de teneur en eau qu'il faut assurer pour réaliser un bon compactage; même si le contrôle de cette teneur en eau ne peut être fait régulièrement dans le cas des petits ouvrages qui nous intéressent, il est essentiel qu'un chef de chantier puisse juger au toucher de la quantité d'eau optimale pour le compactage sur son chantier. Sauf en ce qui concerne le cas voulu d'un noyau compacté particulièrement (paragraphe précédent) des hétérogénéités de compactage au cœur du barrage peuvent provoquer des dégâts tels que des renards dont la reprise est difficile.

PROBLEMES D'ENTRETIEN

L'entretien d'une digue suppose différents niveaux d'intervention; les grosses réparations du genre: reprise d'un déversoir mal dimensionné, blocage d'une érosion régressive, arrêt d'une infiltration ou d'un renard, sont du ressort des services nationaux spécialisés, nous n'y reviendrons pas.

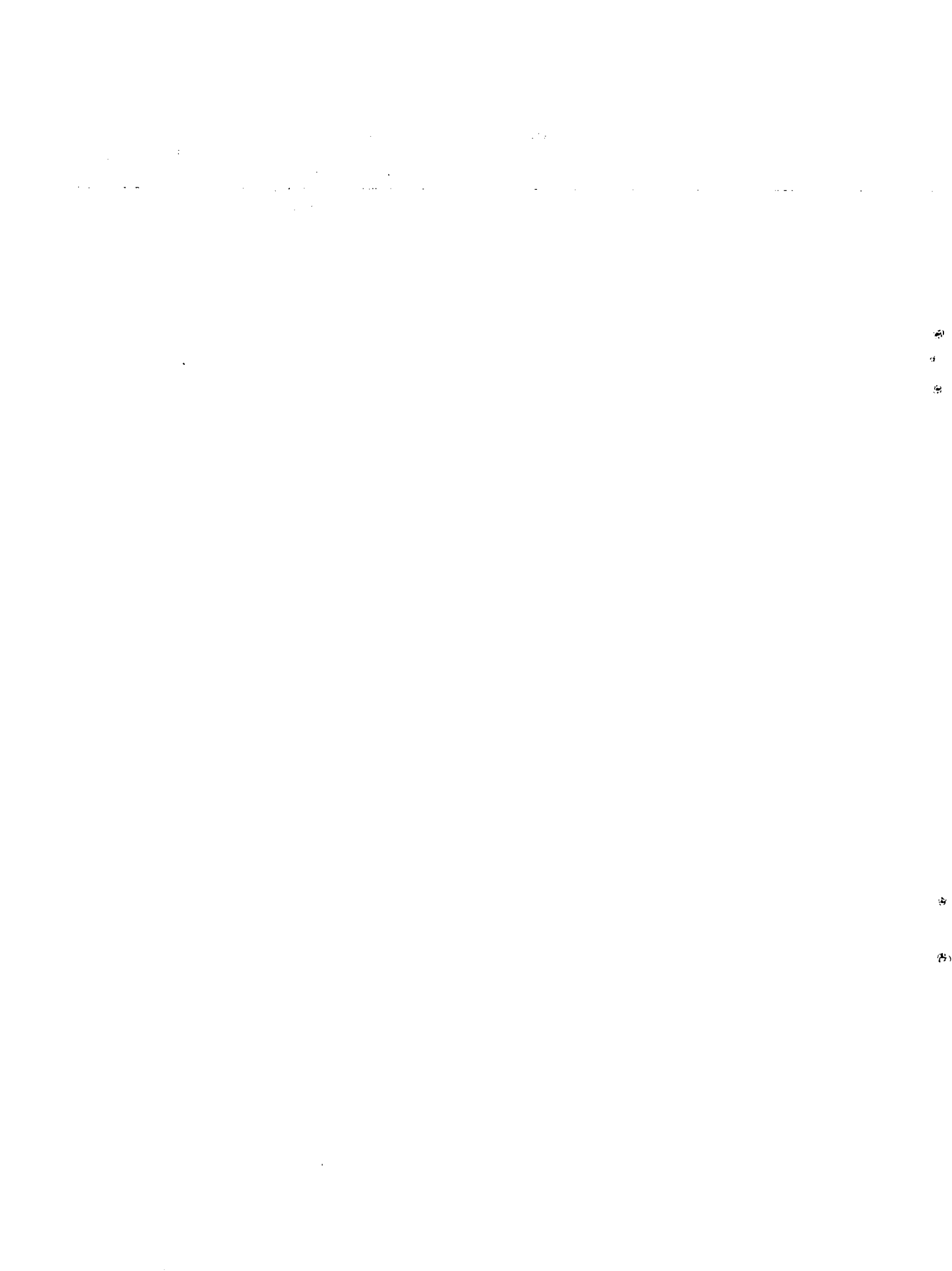
Il est par contre des interventions qui reviennent aux utilisateurs des barrages moyennant une information minimum: ce sont les entretiens des parements et de la crête des digues. La pente amont, en général recouverte d'un lit de pierres (perré) ne demande pas d'autre entretien que d'assurer le bon état de ce perré; le parement aval, par contre, sur lequel on conseille en général d'entretenir une végétation d'herbes, est assez vite atteint par l'érosion du fait de la difficulté pour la végétation d'acquiescer une densité suffisante. On voit très fréquemment de profondes griffes d'érosion parcourir les pentes aval des barrages. Il faut remédier à ces dégâts en comblant ces griffes de terres compactées. D'autre part, si les herbes poussent peu, les arbres se développent couramment sur ces pentes, ceci peut provoquer des renards le long des racines; il faut supprimer suffisamment tôt cette végétation arbustive, avant qu'elle n'ait développé trop loin ses racines. La crête doit également être entretenue: recharge de la zone centrale, si, après quelques années, il existe un affaissement, comblement des "nids de poules" dans le cas de digues routières, et surtout entretien du mur de crête c'est-à-dire du muret de pierre ou de ciment qui longe la crête sur les deux côtés et dont le rôle est d'empêcher la formation de passages privilégiés pour les eaux de pluie.

Enfin, en ce qui concerne les organes annexes tels que prises d'eau, vannes, etc., il y a lieu d'assurer à la fois un entretien minimum (peintures) et un contrôle de bon fonctionnement de la part des Services Nationaux.

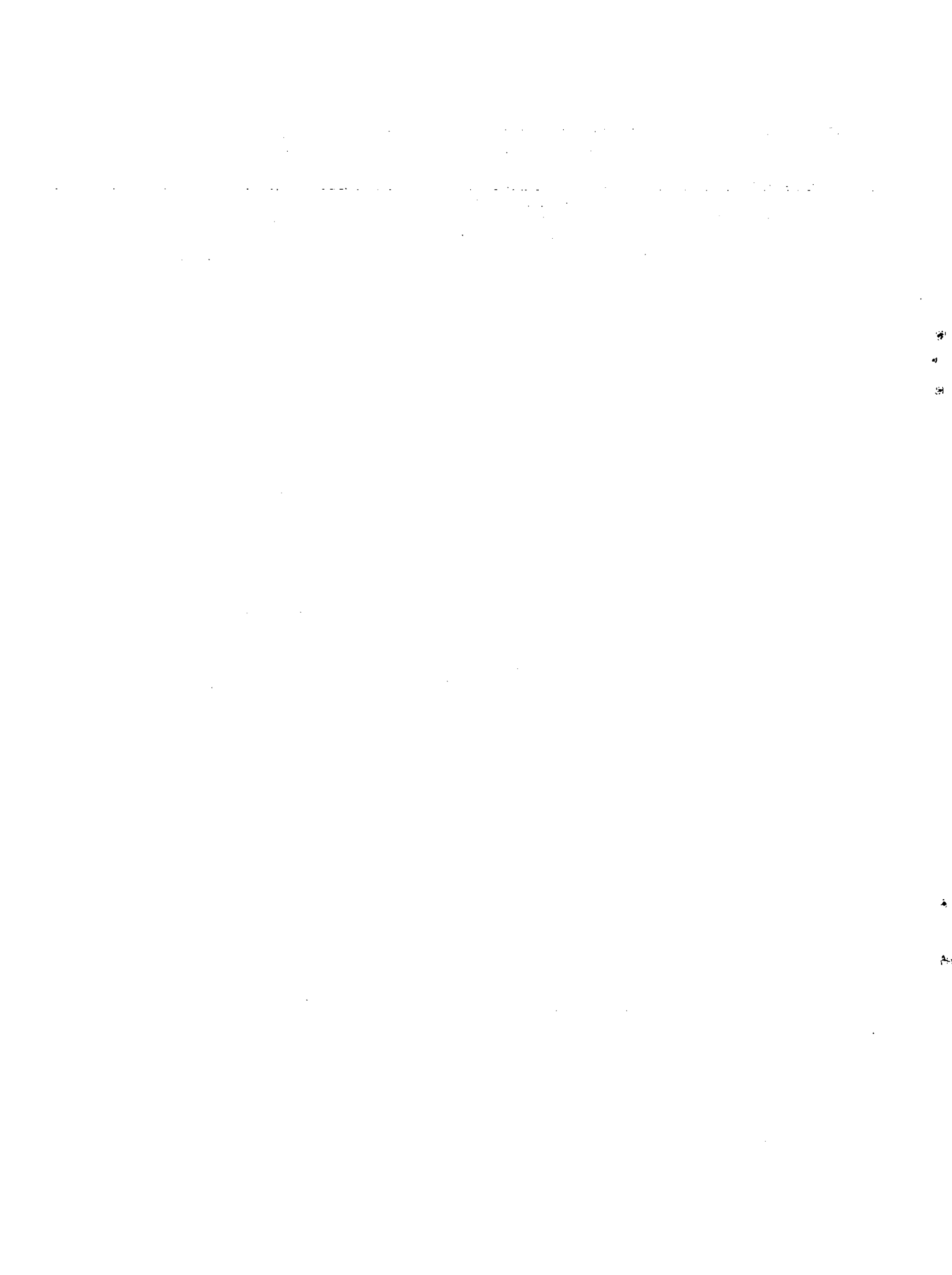
Les problèmes que nous avons analysés comptent parmi ceux que nous jugeons les plus importants en ce qui concerne les petites retenues d'eau.

Nous n'avons malheureusement pas épuisé la liste des dégâts possibles mais il est probable que la connaissance de ceux que nous avons signalés éviterait certains déboires. Il faut peut-être signaler à ce sujet que dans des pays où la contribution de la population à de tels ouvrages est importante, la formation technique de ces populations et de leur personnel d'encadrement local (encadreurs en Haute-Volta), s'avère nécessaire.

Il est en effet navrant de constater si souvent la destruction d'ouvrages ayant coûté de lourds travaux, alors qu'un minimum d'information aurait pu l'éviter.



IV - DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES
EN EAUX SOUTERRAINES



IV. 1. COMPLEMENTARITE DES EAUX DE SURFACE ET SOUTERRAINES DANS LA MISE EN VALEUR HYDROAGRICOLE, par O. RADELET.

RESUME

L'auteur présente les différents segments d'une étude assez complétée sur la complémentarité des eaux de surface et souterraines pour la mise en valeur hydroagricole. Un exemple spécifique fait l'objet de la communication. Les aspects qualitatifs et quantitatifs de l'hydrologie de surface et souterraine sont étudiés. Le choix d'une option pour le développement est offert.

1. INTRODUCTION

La République Arabe Libyenne considère le développement de la production agricole comme un objectif prioritaire. La pluviométrie étant largement insuffisante pour bâtir une augmentation substantielle de la production alimentaire, celle-ci doit être basée sur l'exploitation des eaux souterraines. Néanmoins, un effort parallèle est fait pour améliorer et optimiser l'utilisation des eaux de surface.

La plaine de la Gefara est le centre de développement socio-économique le plus important de la République Arabe Libyenne. Près de 50 % de la population totale du pays y vit. Le développement agricole et industriel dans le nord de la plaine est tel que les ressources en eau souterraine exploitable sont sollicitées au maximum et qu'il est fait appel à l'eau de mer dessalée et aux eaux résiduaires traitées.

La partie Sud de la plaine est située au pied de la montagne. A présent, des projets de développement hydroagricoles portant sur plusieurs milliers d'hectares sont en cours d'étude ou de construction. Le projet "wadi Al Hira" fait appel à des eaux souterraines de salinité différente ainsi qu'à des eaux de surface dans les proportions respectives de 24Mm³ et 6Mm³ par an.

Le projet a pour but de restaurer un périmètre d'irrigation traditionnel comprenant soixante fermes d'une dizaine d'hectares et de l'intégrer dans un ensemble de périmètres totalisant 6 000 hectares.

Une parfaite connaissance qualitative et quantitative des eaux souterraines et des eaux de surface en vue de leur utilisation dans le nouveau périmètre a été le premier et le plus important souci du directeur de projet tout au long de l'étude.

Bien que des décisions de nature politique aient donné au projet ses grandes lignes, la connaissance des données agro-économiques s'est avérée indispensable afin d'assurer une bonne optimisation du projet.

2. LES EAUX DE SURFACE

2.1 Introduction

Le volume annuel total des eaux exploitables dans la plaine de la Gefara est d'environ 600 Mm³ dont 200 Mm³ n'est pas renouvelable. Les eaux de surface ne représentent qu'environ 5 % de la partie des eaux renouvelables.

Le projet "wadi Al Hira" est situé au pied de la montagne. Il s'étend vers le Nord dans la direction de Azziziyah. En gros, il se trouve sur un axe allant de Tripoli à Mizda dans le désert (200 km), en passant par Azziziyah et Gharyan qui est à moitié-chemin.

2.2 Climatologie

Chacune des localités mentionnées ci-dessus représente une zone climatologique bien définie.

Cette définition est exprimée par la formule de Martonne qui est la mieux adaptée aux pays méditerranéens:

$$i = \frac{R}{T+10} \quad (T = \text{température annuelle}; R = \text{pluie annuelle}).$$

C'est ainsi que Tripoli appartient au climat maritime ou sub-humide; Azziziyah ("wadi Al Hira" projet) appartient au climat de type pré-désertique; Gharyan appartient au climat de type maritime ou sub-humide; Mizda appartient au climat de type désertique.

En annexe se trouvent les données climatologiques.

Localités	Nombre moyen total de jours de pluie	Nombre moyen de jours de pluie ayant une fonction hydrologique
Tripoli	48	de 6 à 13
Gharyan	34	de 6 à 12

2.3 Hydrologie de "wadi Al Hira"

2.3.1 Caractéristiques générales

Des études hydrologiques spécifiques ont été conduites pendant la saison des pluies allant de septembre 1971 à avril 1972 au cours de laquelle 14 crues furent observées. Une autre série d'observations s'est déroulée pendant la saison des pluies 1974-75.

Les crues les plus fortes sont celles qui apparaissent au printemps. Elles représentent 91 % de l'écoulement annuel total. D'une manière générale, plus de 90 % du volume d'une crue passe durant le premier jour de la pluie.

Les "wadis" à leur sortie de la montagne s'épandent après quelque parcours dans la plaine en zones d'épandage où l'eau s'évapore principalement. L'étude de l'infiltration de l'eau de crue tout au long du "wadi" et dans la plaine présente un grand intérêt en vue de la recharge possible des aquifères.

2.3.2 Caractéristiques du bassin versant du "wadi Al Hira"

Superficie:	670 km ² au droit du site du barrage 700 km ² pour le bassin versant entier
Périmètre:	135 km au droit du site du barrage 151 km pour le bassin entier
Altitude maximum:	960 mètres
Altitude minimum:	210 mètres
Longueur:	45 km au droit du barrage 60 km au pied de la montagne
Caractéristiques hydrologiques:	débit spécifique millénaire: 2,7 m ³ /s/km ² crue millénaire: 1900 m ³ /s

2.3.3 Le modèle hydrologique

Le but du modèle est de permettre la transformation de données pluviométriques qui sont généralement disponibles en données sur l'écoulement qui font généralement défaut.

Plus l'intervalle de temps considéré est court, plus précis est l'ajustement du modèle. Le modèle utilise pour la reconstitution des crues du "wadi Al Hira" des intervalles de temps journaliers. Il a permis de calculer l'évolution de la pluie vers:

- l'atmosphère (évaporation directe ou différée)
- le système hydrographique (écoulement)
- la nappe phréatique (infiltration).

Dans l'évolution des eaux de pluie vers ces trois destinations, le modèle consacre un rôle fondamental au milieu non saturé de la couche superficielle du sol dont il étudie le comportement hydraulique. L'élaboration du modèle est assurée en deux phases:

- une phase d'ajustement sur les données expérimentales;
- une phase d'exploitation ou de simulation qui permet la transformation des séries de données pluviométriques (et plus généralement de séries de facteurs climatologiques) en séries d'écoulement de surface.

Résumé des résultats de la simulation des écoulements de "wadi Al Hira"

Périodes	Bilan Hydraulique de "wadi Al Hira" (700 km ²)						
	Pluviométrie (mm)		Écoulement (mm)	Infiltration (mm)	Évaporation réelle		
	Totale	Nette	Profondeur	Équivalente	Directe	Différée	Totale
1927-71	278.3	176.8	17.68	17.10	101.4	142.1	243.5
1945-71	271.6	174.1	17.94	16.70	97.5	138.4	235.9
1957-71	291.6	196.6	22.95	19.80	95.0	151.8	246.8

2.4 Construction d'un barrage

2.4.1 Factibilité du barrage

Le bassin versant du "wadi Al Hira" au droit du site est de 670 km². La moyenne annuelle du volume d'eau qui transite à cet endroit calculé sur une période de 27 ans est de 11,8 Mm³.

L'optimisation du projet qui intègre des paramètres relatifs à des données naturelles et aux objectifs montre qu'il est recommandable d'utiliser le site choisi à son maximum en construisant un barrage de 70 mètres de haut dont la capacité utile est de 28,6 Mm³.

Suivant les hypothèses faites sur la sédimentation dans le réservoir, ce dernier devrait être rempli en 50 ans. Par conséquent, il peut assurer un rendement maximum pendant 25 ans, puis un rendement moyen pendant la seconde période de sa vie utile. Pendant cette période, le volume total d'eau exploitable est de 300 Mm³ ce qui signifie une moyenne annuelle de 6 Mm³.

2.4.2 Schéma d'exploitation de la réserve

Conserver un volume prioritaire d'eau dans un réservoir spécialement conçu à cet effet ou dans le réservoir lui-même ne constitue pas un avantage significatif dans le cas d'un réservoir de 70 mètres de haut. Un volume supérieur à 2 Mm³ est garanti dans le cas du stockage de l'eau dans le réservoir original 8 années sur 10 contre un volume de 2.3 Mm³ dans un réservoir spécial.

Une deuxième portion correspondant au quart de l'écoulement moyen annuel est assurée 5 années sur dix pour une utilisation la plus immédiate que possible. Une troisième portion plus ou moins égale au quart de l'écoulement annuel moyen est assurée 5 années sur 10. Elle sera destinée à la recharge artificielle des aquifères de surface. Enfin, une quatrième portion non contrôlable, parce que s'échappant par le déversoir de sécurité, et de fréquence rare, s'ajoute aux pertes par évaporation et infiltration dans le réservoir. Une partie cependant s'infiltré au profit de la recharge de l'aquifère supérieur.

Conclusion: dans les circonstances proposées ci-dessus, le barrage assure l'utilisation directe de 55 % de l'eau s'écoulant dans le "wadi" durant les 27 premières années de la construction.

Aperçu sur le fonctionnement du réservoir en opération

	<u>Volume (1 000 m³)</u>	<u>Pour-cent</u>
Apport de sédiments	475	4.0
Volume évaporé	875	7.4
Volume infiltré	2 270	19.2
Volume déversé (dév. sec.)	2 270	10.7
Volume déversé (dév. ord.)	820	6.9
Pertes totales	5 700	48.2
Volume utilisable	6 140	51.8

2.5 Utilisation actuelle du "wadi Al Hira"

Analyse de la situation: Les eaux du "wadi Al Hira" sont présentement utilisées dans la plaine à des fins agricoles et pour la recharge naturelle de l'aquifère. À part la superficie cultivée qui est connue approximativement, un décompte de l'infiltration et de l'évaporation a nécessité quelques études spécifiques pour lesquelles l'approche a été la suivante:

- division de la zone en aval du site du barrage en sous-zones caractérisées par le lit moyen du "wadi", les méandres, les poches d'accumulation et les surfaces d'épandage;
- des études spéciales basées sur:
 - l'observation des crues et l'établissement d'une relation entre le volume écoulé et la zone d'épandage;
 - des mesures du profil hydrique avec la sonde à neutrons;
 - l'installation et l'observation de piézomètres.

Ces investigations ont permis la détermination des conditions d'écoulement et ont confirmé qu'une partie de l'eau s'infiltré au-delà de la frange capillaire (infiltration effective) fixée plus ou moins à 5 mètres. Au sujet de la part d'eau qui s'infiltré effectivement et de celle qui s'évapore directement ou indirectement, un décompte préliminaire s'établit comme suit:

36 % d'infiltration
12 % évapotranspiré par les céréales dans les zones d'épandage
52 % évaporé et perdu.

Conclusion: En fait, les investigations ont montré que les zones d'épandage n'engendrent pas d'infiltration effective et que le transfert d'eau par voie capillaire et thermique assure la véritable évapotranspiration.

3. LES EAUX SOUTERRAINES

3.1 Recherches

Le réservoir souterrain dans la région de "wadi Al Hira" est complexe. Cette complexité est due à la lithostratigraphie qui détermine les caractéristiques hydrodynamiques des différents horizons et la structure qui fixe les conditions d'alimentation et d'écoulement dans le réservoir. Le rassemblement des données concernant le réservoir a été mené au moyen de:

- prospection géophysique;
- forage de puits destinés à l'étude des caractéristiques hydrodynamiques en utilisant les techniques géophysiques;
- inventaire et levé des points d'eau.

3.2 Construction du modèle

Le but du modèle hydrogéologique est de prévoir à long-terme l'évolution des eaux souterraines sous l'effet de l'exploitation. La méthodologie comprend deux phases: l'ajustement en régime continu jusqu'à ce que la cohérence des différentes données relatives aux caractéristiques géologiques soient atteintes (transmissivité, piézométrie, alimentation, écoulement) et puis la simulation des effets de l'exploitation.

Comme le "wadi Al Hira" est entouré par d'autres projets hydroagricoles basés sur l'exploitation des eaux souterraines appartenant aux mêmes aquifères, les conditions aux limites ont été fixées de façon à ne pas affecter l'alimentation de ces projets existants ou en cours de création. En plus de ces contraintes, on s'est fixé une période d'exploitation de 20 ans à un rythme de rabattement acceptable ainsi qu'une certaine provision pour une réserve dite stratégique lors de la définition des quantités d'eau susceptibles d'être exploitées.

3.3 Conclusions

Considérant bien entendu les eaux déjà exploitées actuellement, le modèle est arrivé à la conclusion suivante:

Volumes d'eaux souterraines annuellement exploitables

Formation géologique des aquifères	Volume d'eau annuel (Mm ³)	Salinité		Pourcentage disponible
		micromhos	g/l	
Azziziyah	16.8	2 500	1.8	70
Abu Shaybah (water bed) Upper Azziziyah (piedmont)	2.4	1 200	0.9	10
Abu Shaybah (bassin)	2.4	3 600	2.7	10
Ras Hamia	2.4	5 500	4.1	10
Total	24			100

La qualité des eaux souterraines varie comme on peut le voir, dans une certaine mesure d'un aquifère à un autre. En termes de classification de ces eaux en vue de leur usage pour l'irrigation, on peut distinguer deux classes différentes 2 et 3 avec la même sous-classe a (SAR <10).

3.4 Salinité et besoins en eau de lessivage

Les besoins en eau de lessivage varient en fonction de la qualité de l'eau, de la texture du sol et du niveau de production de la plante. Le besoin de lessivage peut affecter l'économie de l'exploitation agricole si l'on considère qu'il peut atteindre 50 % des besoins nets de la plante dans des conditions normales. La valorisation d'un mètre cube d'eau d'irrigation par les plantes est étroitement liée à la salinité de cette eau.

Les plantes fourragères qui seront transformées en viande par le bétail, donnent une valorisation moyenne à cause de leur tolérance relative au sel. Les céréales également donnent une valorisation acceptable. Celle-ci décroît toutefois rapidement parce que le niveau initial est déjà bas. Les légumes ont un niveau de valorisation comparable à celui des céréales cultivées avec de l'eau à 1 g/litre. Mais ce niveau chute sévèrement dès que la salinité augmente. Enfin, les fruits (arbres-fruiliers) donnent une très bonne valorisation de l'eau douce seulement car ils sont très sensibles au sel.

Conclusion: Parmi les facteurs conventionnels qui sont liés à la production agricole, il s'avère que la salinité de l'eau est un facteur déterminant.

4. AGRO-ECONOMIE

Ces notions relatives aux besoins en eau d'irrigation et à la valorisation de l'unité de volume d'eau nous amènent automatiquement aux aspects plus spécifiquement économiques du projet. Il n'entre pas dans nos intentions de développer tous ces aspects mais nous ne pouvons pas les ignorer.

Une des premières choses à connaître pour approcher l'économie de l'utilisation de l'eau en agriculture est la connaissance de la culture qui offre le plus haut revenu pour une qualité d'eau donnée par unité de volume. Cette notion est donnée par la différence entre la valeur ajoutée totale et le poste main-d'oeuvre par hectare de culture, divisée par la quantité d'eau d'irrigation.

Tous les éléments ou intrants (semences, labour, engrais, etc.) aussi bien que la main-d'oeuvre doivent être connus aussi bien que possible. C'est à cette condition que l'assolement, le système de rotation, la taille de l'exploitation agricole, le revenu par exploitation peuvent être définis et finalement l'optimisation générale du projet menée à bien.

5. COMBINAISON DES EAUX DE SURFACE ET DES EAUX SOUTERRAINES

5.1 L'approche d'une décision

Pour la phase finale de l'étude du projet, nous sommes donc supposés être en possession des connaissances relatives à l'eau de surface, à l'eau souterraine et aux aspects agro-économiques élémentaires. Tout d'abord, cette connaissance permettra au Gouvernement d'être en mesure de confirmer toute décision prise au départ et qui a donné les grandes lignes du projet. Par exemple: l'opportunité de restructurer ou pas les fermes existantes ou consacrer la portion d'eau la plus certaine du réservoir à la création d'un verger d'Etat ou à sa distribution à tous les exploitants.

A ce stade, le directeur du projet d'étude propose un choix d'options basées sur des données socio-techniques qui sont analysées en termes d'avantages et d'inconvénients. Dès que l'option est retenue, différentes variantes sont étudiées et une d'elles adoptée par le directeur de projet pour son intérêt technique et son coût.

5.2 Choix d'une option

Les quatre portions d'eau douce définies lors de l'étude du barrage et du réservoir sont considérées en même temps que les eaux souterraines de qualité différente présentes dans les aquifères locaux.

Portion 1: Il s'agit d'un volume annuel de 2.5 Mm^3 de fréquence 0.8 à utiliser de préférence pour l'arboriculture fruitière qui assure le revenu le plus élevé par unité de volume d'eau. Cette fréquence est jugée satisfaisante pour la raison qu'en agriculture une chute de production enregistrée une année sur cinq est statistiquement normale. Dans ce cas, en effet, l'eau douce sera remplacée par de l'eau souterraine saline. Quatre variantes doivent être considérées:

- A. Le cas d'un verger n'utilisant que de l'eau douce. Si l'on considère que les besoins en eau par hectare sont de $4\ 760 \text{ m}^3$, la portion 1 permet l'irrigation de 520 hectares.
- B. Le cas d'un verger n'utilisant l'eau douce que pour la période végétative la plus délicate et l'eau souterraine pour le restant de l'année. Cette variante permettrait d'irriguer 920 hectares.
- C. Le cas d'un verger irrigué combinant l'usage de l'eau douce du barrage et l'eau souterraine la moins saline permettant en définitive l'irrigation de 700 hectares 10 années sur 10.
- D. Le cas de la distribution de l'eau douce du réservoir à toutes les fermes pour l'irrigation de leur propre verger de 1.30 hectares (400 fermes).

Portion 2: Comme l'eau du réservoir représentée par cette fraction est de fréquence suffisante, 0.5, elle peut être utilisée à l'aval, directement dans les périmètres d'irrigation sans être stockée, soit pour l'irrigation soit pour le lessivage des sols. Deux périmètres sont en compétition pour cette portion d'eau: un de 1 300 ha, un autre de 3 000 ha. Le choix de la variante sera fonction de l'usage: lessivage ou irrigation, et du coût de la distribution.

Portion 3: Toute l'eau fournie par le barrage qui n'est pas prise en considération dans les portions 1 et 2 peut servir à la recharge artificielle des aquifères. Sa fréquence d'apparition est de l'ordre de 0.5. Comme les débits instantanés peuvent être relativement élevés durant les fortes crues, il est nécessaire de prévoir un système de transport approprié. La comparaison de diverses variantes est faite dans ce cas à deux niveaux:

- l'utilisation du barrage
- le coût du réseau.

Portion 4: A part 33 % de la fraction du volume d'eau qui n'est pas maîtrisée par le barrage lors des grandes crues, qui s'infiltré, le reste est considéré plus ou moins comme perdu par évaporation ou par infiltration dans le réservoir.

6. CONCLUSION

Dans notre exemple, la contribution respective des eaux de surface et des eaux souterraines est établie à 20 % pour une période donnée d'exploitation de l'aquifère. Cette proportion est néanmoins apparente car la qualité de ces eaux d'origine différente joue un grand rôle. Cet aspect qualitatif donne à priori l'avantage aux eaux de surface sur les eaux souterraines. Par contre, l'eau souterraine est une ressource sûre qui peut être mobilisée à tout instant pour faire face à une sévère sécheresse ou à l'absence d'écoulement. Mais son usage doit être réservé à des plantes choisies pour leur résistance à la salinité surtout en cas d'usage permanent. Pour conclure, on peut affirmer que pour construire un projet d'irrigation basé sur l'exploitation des eaux de surface et des eaux souterraines, une bonne connaissance des trois aspects développés rapidement dans cette note, à savoir: l'hydrologie des eaux de surface, l'hydrogéologie et les aspects agronomiques est indispensable.

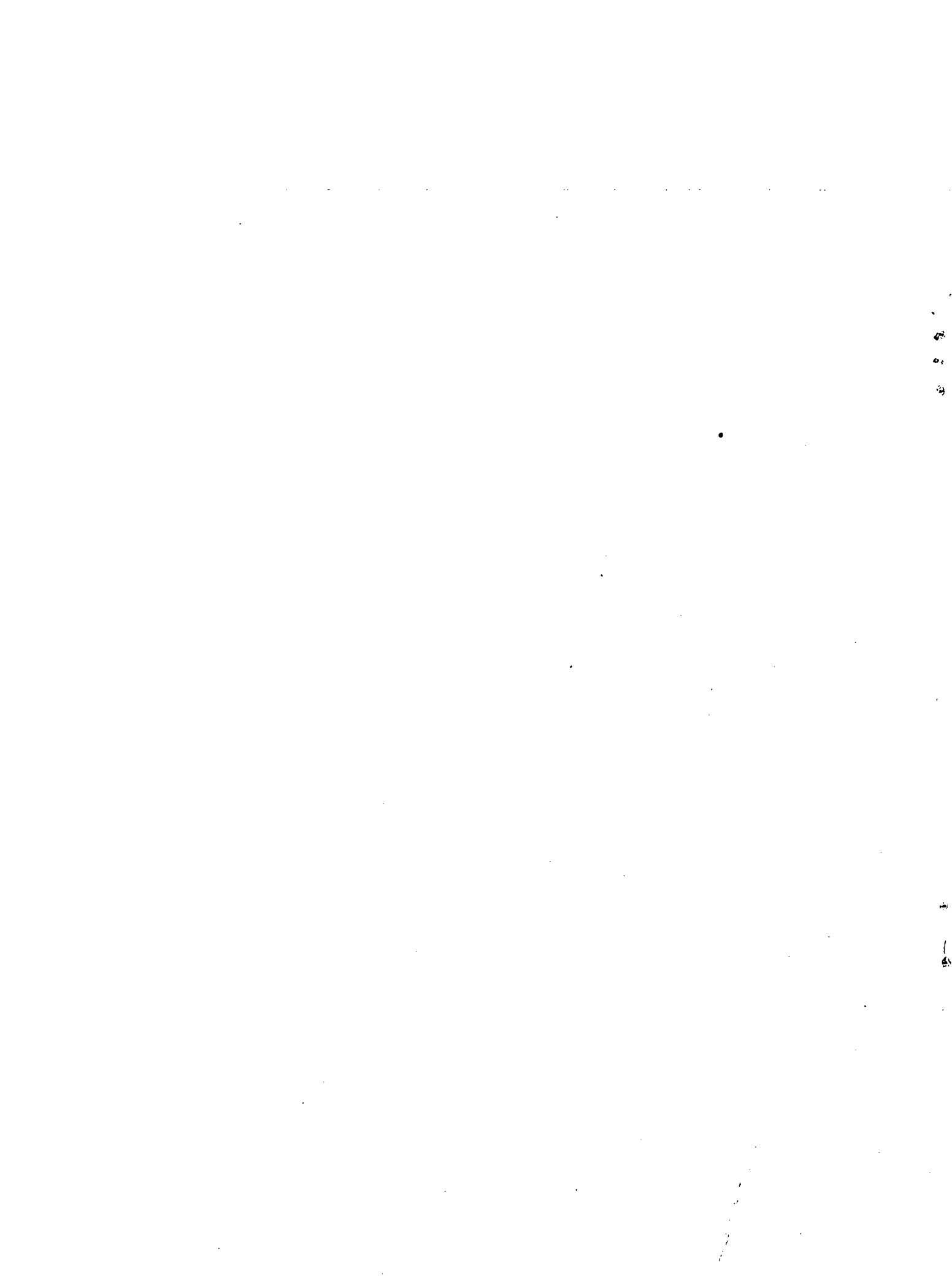
ANNEXE

TEMPERATURE - MOYENNES JOURNALIERES

Localité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Moyen
Tripoli (25 m)	13.3	14.1	15.9	18.5	21.5	25.0	26.4	27.2	25.9	22.5	18.6	14.5	20.3
Tripoli (80 m)	12.0	13.2	15.4	18.7	22.5	26.5	27.4	28.2	26.3	22.0	17.6	13.6	20.2
Azziziyah (125 m)	11.9	13.4	15.3	18.7	22.7	26.4	27.4	28.1	25.7	21.6	17.7	13.0	20.2
Gharyan (725 m)	8.9	10.5	12.7	15.9	20.6	24.9	26.5	27.0	23.6	19.3	15.2	10.2	17.9
Mizda (400 m)	10.5	12.4	15.2	18.9	23.4	27.7	28.8	28.9	25.9	21.2	16.3	11.2	20.1

PLUVIOMETRIE (MM)

Localité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
Tripoli (25 m)	62.4	28.4	20.6	17.8	5.2	1.4	0.0	0.2	19.6	41.7	28.2	63.8	289.3
Tripoli (80 m)	60.2	28.8	27.8	20.1	3.7	2.3	0.2	0.0	20.2	43.3	21.8	53.7	282.1
Azziziyah (125 m)	57.5	27.7	17.5	12.7	1.7	0.2	0.0	0.0	18.4	37.0	15.0	29.2	207.2
Gharyan (725 m)	73.3	51.2	52.3	45.5	6.6	4.5	0.1	0.6	26.5	38.5	19.9	36.8	355.8
Mizda (400 m)	4.9	3.6	5.6	8.4	4.1	1.9	0.0	0.5	9.8	8.7	2.7	10.7	60.9



IV. 2. DEVELOPPEMENT DE FORAGE PROFONDS, par M. A. BOUTON

RESUME

L'auteur justifie l'intérêt croissant de l'emploi des eaux souterraines, dont le prix du m³ livré aux cultures devient compétitif avec celui des eaux de surface. Après avoir décrit le captage pour différentes formations et les problèmes relatifs à leur recherche et développement. Il démontre que le forage, le captage et l'exhaure, doivent être organisés sur un plan industriel, national ou régional; il met de plus l'accent sur l'importance de l'intendance et de la logistique. Il quantifie les différentes composantes du coût des forages. Enfin, il recommande la formation à tous les niveaux des techniciens en la matière et la création d'une législation pour la protection des eaux souterraines.

INTRODUCTION

A mesure que progressent l'étude et l'exploitation des aquifères souterrains, et aussi leur utilisation en agriculture, les avantages qu'ils offrent par rapport aux eaux de surface se précisent: les réservoirs souterrains ne sont pas soumis aux phénomènes d'évapotranspiration, ni d'infiltration qui affectent les retenues à ciel ouvert; c'est la nature qui pourvoit à l'emmagasinement de l'eau dans le sol, alors que les barrages destinés à la stocker en surface exigent des emplacements appropriés et des investissements coûteux. L'eau du sous-sol est en général mieux protégée contre la pollution, elle est mobilisable rapidement et à proximité des lieux d'utilisation, ce qui évite l'emploi de longs canaux; l'exploitation peut se faire par étapes selon les progrès de l'irrigation et l'accroissement des besoins, ou en fonction des capitaux disponibles; enfin, l'investissement est, en général, vite rentable.

Pendant de longues années les eaux souterraines n'ont pas été souvent exploitées, sauf pour des problèmes particuliers (alimentation en eau de villages, création de points d'eau d'abreuvement pour les troupeaux en zones arides...) parce que les techniques de forage apparaissaient rudimentaires aux ingénieurs de mise en valeur, parce que le coût "réel" des forages et de leur exploitation apparaissaient élevés en raison de nombreuses malfaçons, voire même d'échecs, et que l'organisation des campagnes de forage demeurait artisanale.

Depuis une ou deux décades, sous la nécessité d'exploiter au maximum l'ensemble des ressources en eau, et devant les progrès intervenus dans la localisation et l'évaluation des ressources en eaux souterraines grâce à l'hydrogéologie, la géophysique et l'hydraulique souterraine, les foreurs ont pris conscience de l'importance du problème. Des techniques modernes de captage ont fait la preuve que le prix des forages et le coût de l'eau souterraine sont, dans la plupart des cas, compétitifs avec ceux de l'eau de surface.

Mais, pour obtenir de tels résultats, et pour les améliorer encore, l'organisation des campagnes de forage doit être du type "industriel", et accompagnée d'une formation professionnelle adéquate.

1. TECHNIQUE DE FORAGE

Autrefois, les forages d'eau exécutés généralement avec des appareils à "percussion" ou "battage" recontraient de nombreuses difficultés, et malgré l'emploi de différents équipements tubulaires retenant les parois en terrains ébouleux, ils demeuraient limités en profondeur. Qui plus est, en l'absence d'études préliminaires ces travaux demeuraient hasardeux dépendant très souvent du facteur "chance" avant tout.

La méconnaissance de techniques spéciales, l'absence de matériel dont les caractéristiques varient avec les problèmes à résoudre réduisaient automatiquement les chances de succès, et ne pouvaient assurer une longévité normale aux ouvrages réalisés.

A quelques rares exceptions près, ces travaux étaient onéreux, et dans tous les cas, limités aux captages faciles, généralement en formations consolidées.

L'utilisation d'appareils plus modernes "Rotary" a permis par la suite d'améliorer les performances de pénétration du sol, mais alors d'autres difficultés ont été rencontrées par l'emploi d'un liquide de circulation nécessaire à la remontée des échantillons de terrains traversés et à la bonne tenue des parois du forage (boue à l'argile d'abord, à la bentonite ensuite).

Or, si les premiers forages d'eau ont été à l'origine de résultats peu encourageants, de déceptions amères, ce qui pouvait expliquer pendant de nombreuses années le doute et la méfiance des ingénieurs de mise en valeur, la situation est nettement différente aujourd'hui.

Les techniques d'approche (études hydrogéologiques, travaux de reconnaissance géologique et hydrogéologique, test...) et les techniques d'exploitation, ont évolué durant les vingt dernières années, et non seulement un net progrès a été réalisé dans la "recherche" de ce précieux liquide, mais également dans le domaine de son captage, son exploitation et sa mise en valeur.

De nos jours tous les problèmes de captage des eaux souterraines peuvent être abordés avec succès, grâce aux équipements disponibles, aux méthodes de captage (crépines, massif filtrant, développement) aux techniques d'amélioration des forages, parfois même de l'environnement de la couche captée, par traitement aux phosphates de sodium, ou par acidification suivant les cas; et bien que ces méthodes et techniques puissent encore paraître longues et onéreuses pour certains esprits, ce qui est faux en réalité, elles permettent en fin de compte d'obtenir:

- un débit spécifique maximal
- une plus longue durée de vie des forages
- un prix de revient inférieur du mètre cube d'eau

donc, elles sont, à tous points de vue, bénéfiques.

De surcroît le problème de la réalimentation des nappes a été également abordé, et bien des exemples de recharge artificielle de nappes souterraines existent aujourd'hui.

Sans reprendre en détail la technique des forages, leur équipement et leur développement, il est utile de citer rapidement quelques exemples principaux de captage et d'amélioration, se rapportant aux cas les plus généralement rencontrés, et qui sont:

- le captage en formations sableuses
- le captage en alluvions à ciment argileux
- le captage dans les calcaires

1.1 Captage d'eau dans les sables

Le problème est actuellement dominé par l'utilisation de "crépines" ou "filtres" offrant un pourcentage d'ouverture réduisant la vélocité d'entrée de l'eau à travers les fentes, et la mise en place d'un massif filtrant dont la dimension des grains est choisie en fonction de la granulométrie du sable contenant l'aquifère.

C'est en fonction de la granulométrie du massif filtrant qu'est choisie l'ouverture des fentes de la crépine.

Les moyens de développement courants et connus:

- le pompage et surpompage
- le pistonnage
- le développement à l'air comprimé

peuvent être, principalement dans le cas de forages exécutés avec sondeuse "Rotary" à circulation de boue, accélérés par l'utilisation de phosphates de sodium dont le rôle est la destruction du "cake", ou pellicule de boue, déposé sur les parois du forage pendant la perforation.

Au préalable l'opération de "carottage électrique" permet de vérifier la coupe lithologique des terrains traversés par le forage, et de préciser la position exacte du toit et du mur de l'aquifère, donc la position idéale des crépines à mettre en place.

1.2 Captage dans les alluvions à ciment argileux

Selon la granulométrie des grains de la formation, l'équipement "massif filtrant et crépine" peut être choisi judicieusement.

Dans ce cas bien spécial également, le massif filtrant joue principalement le rôle de soutien entre les parois du forage et les crépines. La difficulté réside surtout dans le phénomène de "dissolution" des éléments argileux qui, s'ils ne sont pas évacués du forage, provoquent le colmatage de l'aquifère, du massif filtrant, donc de l'ouvrage.

Là encore le développement avec utilisation des phosphates de sodium permet non seulement de débarrasser les abords immédiats du forage, mais aussi de dissoudre en profondeur ces éléments argileux, dont la disparition a pour effet d'augmenter la perméabilité de la roche magasin, donc d'augmenter le débit spécifique des ouvrages.

Ce problème est en fait parfois plus délicat que celui des sables, même pour un foreur averti. Mais là encore, le responsable des travaux est éclairé par l'opération de carottage électrique qui, réalisé après le sondage de reconnaissance, précise l'importance des passées argileuses.

Quand la granulométrie des éléments de la formation le permet, et si le pourcentage d'éléments argileux n'est pas exceptionnellement élevé (ceci se vérifie par prélèvements de carottages mécaniques), le massif filtrant peut être supprimé, et l'on procède alors au développement naturel de la formation. Les seules précautions nécessaires consistent à avoir au-dessus de l'aquifère un tubage bien cimenté, et devant l'aquifère un diamètre de forage le plus rapproché possible du diamètre des crépines, de manière à éviter un espace annulaire "trou-crépine" trop grand, évitant tout mouvement massif de terrains qui risquerait d'écraser les crépines.

1.3 Captage en formations calcaires

Le captage dans les calcaires, est le type de forage le plus facile à réaliser puisque, suivant les cas, il est même possible de capter l'eau qui y circule sans avoir besoin de placer l'équipement tubulaire devant la formation (crépine) en dehors du tubage masquant les terrains supérieurs. Même en présence d'un calcaire très fissuré, dont on peut craindre des effondrements durant l'exploitation, une crépine suffit à maintenir en place les blocs qui pourraient se détacher. La seule précaution étant alors de diminuer au strict minimum nécessaire, l'espace vide entre la crépine et les parois du trou.

Les seuls problèmes rencontrés dans le captage de ces formations résident dans la dureté de la roche, et les pertes de liquide d'injection.

Pour la perforation elle-même, le sondeur possède aujourd'hui la possibilité de forer en rotary en utilisant des outils adéquats dont la fabrication permet la perforation de terrains durs, et dont l'équipement annexe permet d'assurer sur l'outil une charge réglable en fonction de la dureté de la roche. De plus, les techniques ayant constamment évoluées, il est également possible d'utiliser d'autres fluides que la boue pour la perforation, telle l'eau claire, ou l'air comprimé. Mais il faut reconnaître que ces divers procédés modernes n'assurent pas en totalité l'évacuation des éléments de terrains arrachés, et qu'il en pénètre donc dans les fissures du calcaire, venant gêner partiellement, voire même parfois totalement, la circulation de l'eau au moment de l'exploitation. Là encore, la technique utilisant les acides en présence de roches carbonatées, apporte non seulement un remède à cette situation créée par le forage lui-même, mais aussi, assure dans bien des cas une amélioration très nette des conditions de circulation, tout au moins aux abords du trou lui-même, en réduisant les différents carbonates qui se sont déposés naturellement au cours des années de circulation de l'eau dans ces fissures.

Le coût d'une opération d'acidification est évidemment fonction de l'importance des quantités d'acide employées, mais il ne majore en général le prix de revient du forage que dans des proportions très faibles allant de deux à cinq pour cent du prix normal.

Cette majoration du prix de revient, est là encore, largement compensée par les résultats possibles, et obtenus.

Ces trois techniques, rapidement abordées, sont la preuve de l'intérêt apporté par les foreurs d'eau, à résoudre les problèmes de captage des eaux souterraines.

Il n'est pas inutile de rappeler également les efforts accomplis dans la recherche de matériaux ou métaux, pour la fabrication des équipements tubulaires, et qui ont abouti à l'utilisation de tubages et crépines en bois, en plastique, en fibre de verre et en acier inoxydable, permettant de lutter contre les effets de corrosion en présence d'eaux agressives. Ces équipements prolongeant la vie des sondages, couvrent très largement les frais supplémentaires entraînés par leur fabrication.

De même doivent être signalées les améliorations constamment recherchées dans l'utilisation des produits de boue, afin de limiter voire même éviter l'envahissement des aquifères par la boue de forage (Boue chimique, Revert).

2. ECONOMIE - COUT DES FORAGES

Le coût d'un forage varie en fonction de nombreux éléments naturels, dont les principaux sont:

- la profondeur de la couche aquifère
- l'épaisseur de la couche aquifère
- la nature des terrains traversés
- la nature des terrains constituant la couche aquifère
- la qualité chimique des eaux vis-à-vis de l'équipement tubulaire
- le diamètre du forage et des tubes, fonction du débit du forage
- la situation géographique

Il varie également en fonction des conditions dans lesquelles sont exécutés les travaux, suivant qu'ils émanent d'un service officiel organisé ou d'une entreprise privée, contrôlée ou non.

Pour mettre en évidence les raisons exactes des différences de prix de revient des forages, une étude comparative serait longue d'abord, et devrait être particulièrement "fine" avant de pouvoir établir des comparaisons valables, du moins en ce qui concerne la part des chapitres principaux, qui, en général sont:

- l'équipement
- les transports
- les frais de personnel
- les frais généraux
- l'amortissement du matériel
- les bénéfices

Une étude rapide faite en 1971 sur les prix de revient de forages exécutés dans certains pays du bassin méditerranéen, a mis en évidence une diversité très grande des prix, suivant que les travaux étaient exécutés par l'administration locale, par un service officiel mis en concurrence avec l'entreprise privée, ou par l'entreprise privée, seul exécutant dans le pays.

Les prix de revient varient évidemment avec la région où sont exécutés les travaux.

Ils peuvent varier également selon qu'ils sont établis suivant le régime en régie, au forfait, au mètre, ou au litre/seconde obtenu.

L'étude ci-dessus a mis en évidence que:

- dans les pays où seul le service officiel exécute les travaux de forage, le prix de revient tend à être élevé
- dans les pays où seule l'entreprise privée exécute les travaux de forage, le prix de revient tend également à être élevé
- dans les pays où sont mis en concurrence, le service officiel et l'entreprise privée, les prix de revient sont les plus faibles

Dans certains cas les prix varient du simple au double.

En 1970 au Niger où les prix pratiqués alors par les entreprises privées travaillant pour l'administration locale étaient en moyenne de 200 à 250 US dollars le mètre, une campagne de forages exécutée dans le cadre d'un projet des Nations Unies, a abouti au prix de revient moyen de 125 à 140 US dollars.

Il faut préciser que cette campagne de forages avait été réalisée dans une région bien délimitée, et qu'elle avait ainsi pu être organisée.

Il est donc assez difficile sinon impossible d'établir une comparaison juste et valable entre ces différents prix, car les entreprises privées ont rarement l'avantage d'une campagne aussi importante et bien délimitée.

L'évaluation du prix des travaux est très variable et donc difficile à comparer.

Toutefois, à la suite d'une autre campagne de forages réalisée en Espagne, avec un appareil et du personnel d'une entreprise privée, étrangère à l'Espagne, une étude serrée des prix de revient a abouti aux mêmes résultats que ceux pratiqués pour l'administration locale, et la répartition en pourcentage des coûts pour chaque opération a pu être établie comme suit:

- Transports: 10 à 25 % du prix total. Le premier chiffre étant obtenu sur des forages exécutés dans une même zone, alors que le second chiffre correspond à un changement de région d'activité, d'où l'intérêt de prévoir, organiser les campagnes de forage pour limiter les dépenses de transport.
- Forage de reconnaissance: 15 à 20 % du prix total. Il s'agissait d'une reconnaissance hydrogéologique, au cours de laquelle le maximum de renseignements devait être obtenu.
- Essais de nappe - Tests: 10 % environ du prix d'un forage. Il consistait à l'étude des caractéristiques hydrodynamiques de chaque aquifère rencontré au cours de la reconnaissance géologique, et confirmé par le log électrique.
- Travaux d'alésage: variable suivant les cas entre 10 et 20 %, atteignant 40 % dans le cas spécial d'un forage en calcaires fissurés, et pour lequel l'équipement matériel n'était pas tout à fait adapté au problème.
- Tubages - Crépines: 6 à 10 % environ du prix du forage. (Les tubes étaient des casings acier et les crépines du type Nold généralement, à lanières repeusées, en acier ordinaire, fabriquées en Espagne).
- Mise en place des tubages et leur cimentation: 5 à 10 % du prix total, variant avec la profondeur et le diamètre.
- Développement comprenant l'amélioration par traitement aux phosphates de sodium ou par acidification: 10 % environ du prix total.
- Essai de débit: 4 à 5 %

Certains forages dont l'exécution a été retardée par des arrêts causés par les intempéries ou des difficultés d'approvisionnement, au démarrage de la campagne notamment, ont vu leur prix de revient majoré de 10 à 20 %.

On peut donc voir, dans ce qui précède, que les opérations spéciales d'essai de nappes, les frais de développement suivant les meilleures techniques, les équipements tubulaires assortis aux problèmes, pris individuellement, ne représentent pas une dépense supplémentaire exceptionnelle, alors qu'ils apportent une garantie totale des travaux tant du point de vue rendement brut, que durée de vie du forage. Ces opérations assurent donc une rentabilité maximale des études et des ouvrages.

Ainsi, pour réaliser des travaux rentables au prix de revient minimum, le budget forage doit être suffisamment large pour permettre une bonne organisation et une exécution toujours meilleure des travaux. Car, le coût de l'eau tient compte:

- du prix des forages dont on peut admettre une durée de vie variable suivant les conditions régionales, et la nappe captée (20 ans à 30 ans suivant les cas et parfois plus même).
- du volume d'eau obtenu.

3. ORGANISATION - INSTITUTION

La grande disparité des prix provient avant tout des conditions différentes dans lesquelles les travaux sont réalisés.

Ils proviennent surtout du fait principal que tous les pays ne disposent pas d'une organisation officielle chargée de la centralisation des études et projets de captage des eaux souterraines, doublée d'un service de forage compétant, et que les études et l'exécution des forages sont alors entièrement confiés à l'entreprise privée.

Si des entreprises privées, conscientes de leur rôle dans le développement du pays, qui leur confie ses travaux, existent, et partant font des efforts pour améliorer leurs techniques, renouveler leur matériel, rien, par contre, n'est prévu pour les encourager dans ce sens.

Le choix de l'entreprise, par exemple, établi sur la formule du "moins disant", ne laisse que peu de chance à celle dont les prix sont plus élevés, bien que sa technique et son matériel d'exécution soient plus modernes et plus sûrs.

Il s'ensuit des travaux dont le prix de revient est, en définitive, anormalement élevé à cause de malfaçons qui réduisent le rendement de l'ouvrage, et sa durée de vie, et la durée de vie de l'équipement pompage.

Le manque de prévisions de programme à long terme, pouvant assurer une activité régulière des équipements, et le maintien en place de personnel qualifié, est également un facteur important de l'hésitation des entreprises, même les plus sérieuses.

L'absence de contrôle de la part du maître de l'oeuvre est enfin la cause d'écarts non limités dans le coût des ouvrages.

Certains de ces phénomènes risquent de se produire également dans les pays où un service officiel, rattaché à l'administration locale, décide de réaliser la totalité des travaux prévus dans le secteur public, ne laissant aux entreprises que la possibilité de travailler pour le secteur privé.

Les prix, aussi bien que la qualité des travaux alors exécutés, échappent à toute comparaison possible.

Du côté de l'administration aussi bien que du côté des entreprises privées, la qualité des travaux risque d'être dépendante des crédits disponibles ou des bénéfices réalisables.

On retombe alors dans la situation où les forages n'offrent pas de garantie, et dont les prix réels sont anormalement élevés.

Pour maintenir à l'exploitation des eaux souterraines sa valeur compétitive avec les eaux de surface, il est urgent d'envisager, là où rien n'existe, des mesures officielles dont les principales pourraient être:

- industrialisation de l'exploitation des eaux souterraines
- création d'un organisme officiel d'Etat, ou para-étatique, de forage
- application d'une formation professionnelle
- création d'une législation des foreurs d'eau

3.1 Industrialisation

L'industrialisation pourrait se réaliser sous forme de groupement d'entreprise par exemple, aux moyens importants, qui assureraient des stocks de matériel et une intendance toujours prête à faire face aux problèmes, aussi différents soient-ils.

Cette solution éviterait les commandes de matériel de dernière heure, dont les délais ou difficultés d'importation créent souvent des problèmes tellement compliqués qu'ils rebutent le maître d'oeuvre, et l'entrepreneur. Ceux-ci en arrivent alors à réaliser les travaux en adaptant, tant bien que mal, les possibilités locales de fabrication et d'équipement. Les ouvrages ainsi exécutés n'offrent pas la garantie d'une rentabilité maximale.

Ceci impliquerait avant tout le financement par l'Etat de campagnes de forages importantes.

Et partant, pourquoi l'Etat, principal bénéficiaire de l'exploitation des eaux souterraines, ne serait-il pas le "gérant" de ces stocks de matériel? Ne serait-il pas également à même d'en assouplir le régime douanier en faveur du prix de l'eau?

3.2 Organisme officiel de forage

Cet organisme, financé entièrement ou partiellement par l'Etat, aurait pour rôle:

- la reconnaissance hydrogéologique des régions intéressées, avec application de géophysique, sondages de reconnaissance, d'étude, d'exploration et de pré-exploitation.

La réalisation de tels travaux comporte des risques qu'une entreprise privée ne peut pas prendre sans se couvrir par une marge de sécurité normale, mais difficilement chiffrable.

Le résultat de ces travaux aboutirait à la mise au point des méthodes de captage par zone, et à l'établissement d'une échelle de prix par problème et par zone.

L'effet serait alors d'inciter les entreprises privées, à qui seraient confiés les travaux d'exploitation, à améliorer leurs techniques, leur matériel et leurs prix.

Mais pour atteindre ce but, l'organisme officiel, qu'il soit partiellement ou complètement financé par l'Etat, doit s'appliquer avant tout à travailler au prix de revient le plus bas possible.

La méthode qui consiste à appliquer purement et simplement les prix connus de l'entreprise privée, diminués d'une certaine évaluation plus ou moins juste attribuée aux bénéfices de l'entreprise par exemple, permet c'est certain de récupérer des fonds pouvant améliorer le fonctionnement et l'équipement de l'organisme exécutant, mais cette pratique de facilité n'apportera absolument rien à la recherche de la diminution du prix de l'eau.

Si cette méthode permet, au lancement du service officiel, de pouvoir établir des prix de revient réels, elle ne devrait en aucune manière être maintenue après une ou deux expériences, dans l'intérêt primordial du prix de l'eau.

De même, et avec le souci toujours grand de réaliser des travaux rentables pour le pays, ceux-ci doivent être exécutés en parfaite et totale collaboration avec le service hydrogéologique officiel, ainsi que sous son contrôle permanent.

La collaboration et les interventions de ce service sont indispensables avant l'implantation des ouvrages, au moment de l'établissement des programmes de travaux et pendant leur exécution, et enfin au moment de l'interprétation des résultats.

3.3 Formation professionnelle

Conscients de l'intérêt, de la valeur du produit qu'ils recherchaient, les pétroliers n'ont pas hésité à créer des écoles de sondeurs.

Malheureusement, jusqu'à ce jour, le sondeur d'eau a été comparé à un "parent pauvre". Mais aujourd'hui, l'eau souterraine prenant toute sa valeur réelle, mérite d'être recherchée et exploitée suivant les meilleures techniques.

Ceci nécessite la formation de cadres et d'exécutants. Une formation professionnelle n'est cependant pas suffisante, elle doit être complétée d'une formation "civique" du foreur d'eau. Il faut en effet que le foreur d'eau soit informé, convaincu de la valeur réelle de l'eau, et de l'importance de son intérêt humanitaire, qu'il fasse son métier avec respect, guidé par des cadres valablement convaincus également.

L'avantage d'une formation professionnelle ne se limiterait pas seulement à fournir des cadres et des sondeurs au service officiel qui en assurerait la création, mais aussi aux entreprises privées nationales chez qui les techniciens formés trouveraient la possibilité d'un poste permanent assuré, faisant bénéficier celles-ci de leur expérience acquise.

C'est là un domaine où l'Etat doit apporter une part de contribution importante.

3.4 Législation

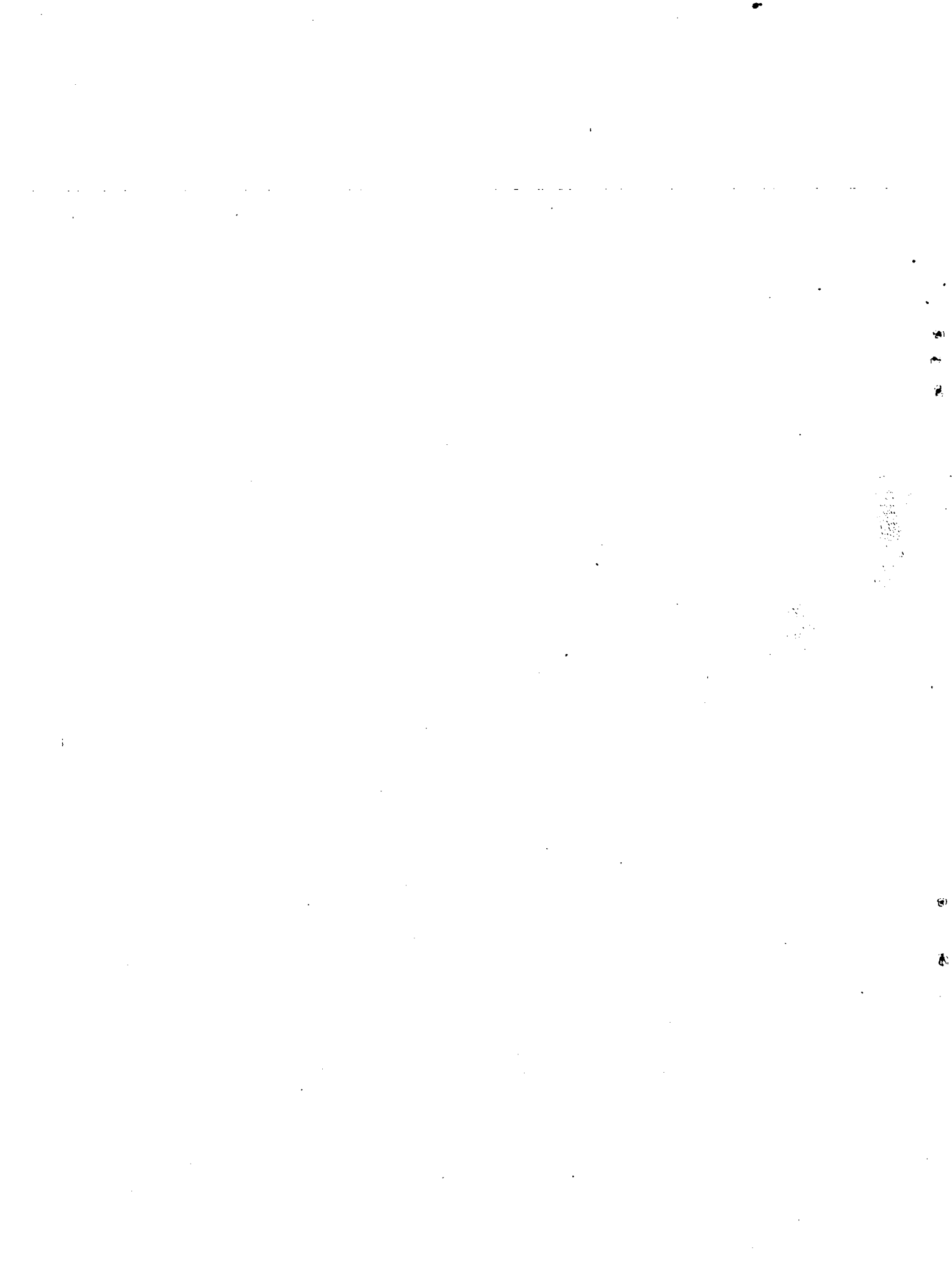
Comme il a été souligné précédemment, l'exécution des travaux de forages d'eau ne demande pas seulement du matériel adéquat et moderne, elle exige aussi et surtout une conscience professionnelle profonde.

La création d'une "éthique professionnelle" ou d'un "ordre des sondeurs" serait souhaitable pour imposer aux compagnies de forage le respect des techniques appropriées, telles que les cimentations ou les isolations de nappes par exemple, évitant la contamination des nappes entre elles, ou le gaspillage d'eau si difficilement obtenue.

Il arrive, trop souvent encore hélas, de voir des nappes d'eau de qualité médiocre, ou même mauvaise, mises en communication avec d'autres nappes de qualité propre à la consommation, par suite de malfaçons ou négligences dans l'exécution d'un forage. De même, il arrive encore de voir des nappes d'eau souterraines abondantes, artésiennes, qui, par suite de la mauvaise qualité d'exécution du forage qui les capte, ne peuvent être maîtrisées et s'écoulent librement et surtout inutilement au jour, créant une zone marécageuse impropre à la culture, contaminant de surcroît la nappe phréatique, généralement située près de la surface, et alimentant de petites agglomérations et assurant l'abreuvement des troupeaux.

A cet effet, une formation devrait également être prévue pour les agents utilisateurs des forages d'eau. Il arrive encore effectivement trop souvent de constater des détériorations d'ouvrages, ayant pour cause leur mauvaise utilisation durant leur exploitation. Or, la réparation d'un ouvrage peut poser de graves problèmes, et parfois coûter beaucoup plus.

De tels cas ne doivent plus se reproduire, et s'ils existent encore sur des travaux anciens, l'administration, par son service officiel, se doit de les neutraliser au plus vite. Car, rappelons-le, l'ETAT DOIT ETRE LE PROTECTEUR DES RESSOURCES NATURELLES.



IV. 3. LES METHODES D'APPROCHES POUR LE POMPAGE DE L'EAU EN AFRIQUE DE L'OUEST, par S.B. WATT.

RESUME

Cette note décrit les méthodes d'approche relatives à l'exhaure de l'eau qui ont été envisagées lors des travaux entrepris pour la publication d'un manuel d'information sur les techniques simples et à faible coût. Il met l'accent sur la nature variée de ces approches en considérant d'abord comment l'eau doit être utilisée avant d'envisager les différentes possibilités de pompage.

La technologie est vue aussi bien dans un contexte social que physique - cette optique est fondamentale pour la compréhension de la "technologie appropriée". Les coûts de pompage y sont brièvement mentionnés ainsi que les différentes sources d'énergie disponibles et utilisables pour le pompage.

Pour terminer, la pompe à chapelet est décrite avec des illustrations prises de l'exposition de 1958 à Pékin.

1. INTRODUCTION

Il est actuellement reconnu d'une manière générale que les moyens et les méthodes de production développés et utilisés dans les pays industrialisés sont rarement appropriés aux pays n'ayant pas les ressources financières suffisantes ni un accès aux matières premières bon marché, une main-d'oeuvre qualifiée ou un marché développé.

L'approche de base des avocats des "technologies appropriées" consiste en l'examen minutieux des différents critères qui peuvent être utilisés pour comparer les différentes techniques. Ces critères couvrent une large perspective de la vie et de l'expérience humaine et sont souvent une critique des sociétés industrielles contemporaines et leur attitude envers la science et la technologie. (1)

Etant donné que le progrès est inévitablement lié aux techniques coûteuses, à haut rendement et qui requièrent une main-d'oeuvre hautement spécialisée, on perd souvent de vue qu'un choix existe. Les techniques plus appropriées aux besoins réels de la majorité des intéressés dans le monde sont souvent sous-estimées ou négligées.

"Des techniques nécessitant de gros investissements sont bien souvent adaptées pour la production bien que des technologies efficaces à fort coefficient de main-d'oeuvre existent. Les raisons d'un tel choix sont multiples, et incluent les salaires excessifs d'une main-d'oeuvre à productivité marginale, le manque d'information quant aux alternatives possibles, le désir de minimiser les problèmes de gestion associés à l'emploi de travailleurs et la fierté que portent les ingénieurs et les dirigeants à avoir des techniques de production sophistiquées." (2)

Les thèses en faveur des "technologies appropriées" sont probablement bien connues des délégués à ce séminaire. Dans cette note nous avons tenté de décrire une approche relative au pompage de l'eau qui tient compte de toutes les contingences. Le choix final de la technique ne peut être qu'une décision politique et notre contribution principale en tant qu'ingénieur réside dans la définition de ce qui est physiquement possible et comment les solutions peuvent être réalisées.

Si nous avions à donner rapidement une définition sommaire du "technologue approprié" nous pourrions probablement le décrire comme étant une personne dont la motivation est d'atteindre les besoins réels de la majorité de l'humanité plutôt que de porter au maximum le surplus de production d'une minorité possédante. Le succès du développement doit être évalué en fonction des résultats obtenus dans la réduction de la pauvreté, le chômage et l'inégalité. (3)

2. GENERALITES SUR L'UTILISATION DE L'EAU DANS LES ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES

La présente note a été écrite afin de montrer l'approche que nous avons adoptée pour le pompage de l'eau basé sur le concept de coût faible/main-d'oeuvre peu spécialisée. Il est, dès lors, nécessaire de discuter rapidement les manières dont l'eau peut être utilisée dans les zones arides avant de considérer les meilleurs moyens de la pomper.

Les zones arides sont caractérisées par une pluviométrie très faible, un climat chaud et sec. Le régime pluviométrique, la saison, la durée, l'intensité, et la quantité varient d'une zone à l'autre. Historiquement, beaucoup de zones arides ont été le foyer de civilisations agricoles avancées qui furent florissantes et puis ont disparu. Dans des conditions aussi sévères l'état équilibre sols/plantes est fragile et est facilement perturbé par le sur-pâturage et des méthodes culturales inadéquates.

Si la végétation est sur-pâturée, elle ne se rétablit que lentement et difficilement; les variétés non comestibles prennent le dessus ou de sérieux problèmes d'érosion se développent.

Les terres arides peuvent cependant produire des rendements agricoles très élevés pour autant que l'eau soit disponible; des techniques culturales permettant une utilisation optimale des faibles précipitations sont graduellement mises en place.

Il n'est pas incertain que dans les pays arides l'utilisation de l'eau pour l'élevage le plus important mais également potentiellement le plus dangereux. Bien des autorités considèrent que les conditions de sécheresse dans les régions du Sahel sont apparues non pas à la suite d'un manque de pluies mais sont la conséquence d'un sur-pâturage ce qui a empêché la survie de la végétation essentielle.

Nous considérons, ci-dessous, l'utilisation de l'eau à des fins domestiques, d'élevage et agricole.

2.1 Utilisation domestique de l'eau

Un des besoins les plus urgents des populations des zones arides est l'amélioration de la qualité et de quantités d'eau disponibles pour leurs besoins domestiques. L'eau en quantité insuffisante ou contaminée est à l'origine de bien des maladies; et tout programme de développement doit être considéré incomplet s'il n'envisage pas un meilleur approvisionnement en eau, et des conditions d'hygiène appropriées.

L'approvisionnement traditionnel en eau domestique provient des eaux de surface ou ruissellant sur les toits et qui sont stockées dans des citernes ou réservoirs, etc. ou des eaux souterraines obtenues à partir de puits ou qanats. Toutes ces méthodes ont été utilisées depuis que l'homme existe dans les zones arides, et l'histoire est riche en innovations mises au point par l'homme dans sa recherche pour l'eau. Le besoin vital de l'approvisionnement en eau est inévitablement lié à de profondes significations culturelles et des traditions. Beaucoup d'installations d'approvisionnements installées par l'intermédiaire des agences extérieures ont été abandonnées même dans les zones d'extrême sécheresse, soit parce que les utilisateurs n'avaient que peu de confiance dans le système, soit parce qu'ils n'avaient ni les moyens ni la compétence pour les faire fonctionner. Une approche plus récente des ingénieurs et des planificateurs est l'amélioration des systèmes existants, ceci pour des coûts et des améliorations les meilleurs possible. (4) Une des considérations les plus importantes si le système doit être payé, construit et entretenu par l'utilisateur est de tenir compte de ses préférences quant aux sources d'approvisionnement.

Un exemple intéressant de cette approche est le travail de Hans Guggenheim, parmi les populations du Dogon au Mali. (5) Il suggère aux paysans de revêtir en ferro-ciment leurs silos à grains de manière à stocker durant la saison humide l'eau de pluies récoltée à partir des toits. L'eau en provenance des toits est moins sujette à conta-

mination que l'eau de surface, et le principe de ces réservoirs fut compris et accepté par les autochtones.

Ces réservoirs sont en quelque sorte le produit du savoir traditionnel et de la technologie moderne, ils sont apparus acceptables et acceptés. D'autre part, en utilisant ce système, les paysans ne peuvent stocker qu'une partie de leurs besoins annuels et le complément sera obtenu à partir des puits qui eux aussi nécessitent des améliorations.

C'est l'échec des techniques et des équipements en milieu rural qui a forcé les ingénieurs et les économistes à explorer d'une manière plus approfondie les différents choix disponibles. La pompe à main pour élever l'eau d'un puit ou d'un réservoir s'est montrée d'un fonctionnement peu sûr, et dans bien des programmes de construction de puits on a préféré les puits à large diamètre à ceux de petit diamètre, étant donné que dans le premier cas l'eau peut être puisée à partir d'un seau ou d'une corde, plutôt que par une pompe à main. La pompe à main a causé pas mal de déboires aux ingénieurs et en particulier lorsque celle-ci n'est pas réparée et que le puit est alors abandonné. Ces échecs ont démontré qu'une conception différente est nécessaire, et bon nombre de travaux sont actuellement entrepris dans beaucoup de pays pour la mise au point de systèmes de pompage pouvant être construits localement et entretenus par l'utilisateur avec peu de moyens. (6) Un problème que les constructeurs de pompe semble sous-estimer est le fait qu'une pompe est utilisée par plusieurs centaines de personnes par jour, et que généralement, si la pompe est installée par des agences gouvernementales personne n'est disposé à accepter la responsabilité de l'entretien.

La formation des populations, l'organisation, l'entretien et la confiance des gens doivent faire partie intégrale des programmes de construction ou de remise en état des puits. Les débits journaliers des systèmes d'approvisionnement en eau domestique sont généralement assez faibles et leur amélioration doit donc d'abord porter sur un accès facile et la protection avant qu'un système nouveau de pompage ne soit considéré.

2.2 Alimentation du bétail

La sécheresse tragique des zones du Sahel a amené de nombreuses personnes à penser attentivement aux causes de celle-ci. Les géographes et les climatologues pensent que les causes principales sont le sur-pâturage, la mauvaise gestion du cheptel ainsi qu'une conception incorrecte du développement plutôt que des changements majeurs dans les conditions climatiques. (7) Ils prétendent que l'accroissement du cheptel a été encouragé à des fins d'exportation mais que, compte tenu des traditions locales basées principalement sur la subsistance et une certaine forme de prestige, le plus grand nombre possible d'animaux a été gardé. L'équilibre écologique de la plupart des zones arides est très fragile et un accroissement inconsidéré des troupeaux cause une chute de la croissance végétale et des problèmes d'érosion se développent.

L'établissement de points d'eau doit être considéré dans le même contexte bien que les programmes de santé animale, la réduction des parcours et le désir des autochtones d'augmenter leurs troupeaux, etc. sont également des causes de surpopulation animale.

L'eau est un facteur limitant aussi bien pour les animaux que pour les hommes et le pompage de puits profonds doit être considéré comme faisant partie du système écologique général si la progression du Sahara doit être limitée.

Cependant, si l'exploitation de puits profonds est utilisée pour le bétail, nous n'avons d'autres choix que celui de mettre en place des équipements de pompage disponibles dans le commerce ayant les meilleures performances possibles et un entretien réduit. Il ne faut pas sous-estimer l'éolienne telle qu'elle a été utilisée en Australie et aux Etats Unis où la gestion du cheptel rationnelle a été pratiquée. Dans ces

régions l'élevage a été combiné avec la production de pâturages de "survie" afin de maintenir un équilibre écologique entre le cheptel et les pâturages disponibles; des transferts des troupeaux ont même été effectués.

Une suggestion intéressante a été avancée consistant en le remplacement des puits par des réservoirs de collecte de pluies; (8) ces réservoirs fourniraient de l'eau au cheptel en quantités qui seraient en relation directe avec les disponibilités en pâturages; en saisons sèches alors que la production végétale est faible, les animaux n'auraient pas d'eau et donc le propriétaire serait alors obligé de garder un plus petit nombre d'animaux et si nécessaire, de les transférer vers des zones plus productives.

2.3 Agriculture

Les terres arides, qui sont caractérisées par un déficit pluviométrique et un taux d'évaporation élevé, sont étonnamment fertiles si l'on peut y appliquer de l'eau. Dans les pays arides ou semi-arides, l'agriculture est pratiquée dans des conditions d'humidité des sols très variées; cela peut aller de saisons avec des précipitations inférieures à la moyenne (il est alors difficile d'éviter un échec complet) aux saisons avec des conditions d'humidité presque favorables que celles rencontrées dans les pays plus tempérés. L'approche appropriée pour la production agricole doit tendre à la fois vers une utilisation de l'eau plus efficace et une augmentation de ses disponibilités. (9)

L'amélioration du rendement de l'eau peut être obtenue en prévenant le gaspillage dans les périmètres irrigués existant, en sélectionnant les plantes appropriées, en utilisant des techniques culturales adaptées, en réduisant l'évaporation et l'infiltration, et par tout autre moyen connu des délégués participant à ce séminaire.

L'approvisionnement en eau peut être augmenté en améliorant le rendement des sources, en approfondissant les puits, en agrandissant les barrages, en réutilisant les eaux par la collecte des pluies et l'agriculture de ruissellement. Les deux dernières méthodes offrent le potentiel le plus intéressant pour les régions du Sahel. L'eau de pluie ruisselant de zones spécialement préparées est récoltée et appliquée sur des zones plus petites sur lesquelles l'eau sera utilisée de manière beaucoup plus efficace. Ce type d'agriculture appelé "l'agriculture de ruissellement" a été utilisé d'une manière extrêmement efficace il y a deux mille ans dans le désert du Negev. Les terres du lit majeur d'une rivière en sont un exemple naturel. Les eaux récoltées peuvent être utilisées pour des cultures de rapport ou des fourrages qui pourront être utilisés pour l'alimentation des animaux durant les périodes de sécheresse.

Dans les zones arides ou semi-arides les rendements obtenus ne sont généralement pas proportionnels à la pluviométrie. Les niveaux de rendement sont déterminés par les quantités précipitées au-dessus d'un minimum de base nécessaire à la plante pour arriver à maturité. Si par exemple, les besoins minimum d'une culture s'élèvent à 250 mm, une réduction aussi faible que 25 mm entraîne un échec complet dans la production alors qu'une augmentation, par exemple, de 50 mm peut doubler le rendement. (10) Les recherches sur l'irrigation en pays arides ou semi-arides s'orientent de plus en plus vers l'utilisation d'application de survie dont l'objectif est d'obtenir les meilleurs résultats possibles avec des doses les plus faibles possibles, plutôt que de tenter d'obtenir des rendements maximum sur les superficies réduites. La plupart des cultures ont dans leur cycle végétatif des périodes durant lesquelles une humidité du sol appropriée est vitale pour éviter un échec; l'utilisation de l'eau doit être concentrée durant ces périodes. Le pompage pour l'agriculture ne doit donc pas être envisagé indépendamment des optiques adoptées pour les terres arides par les agronomes. Les systèmes de pompage peuvent être du type à traction animale, ceci pour l'irrigation en agricultures de subsistance ou du type motorisé pour les pays qui peuvent se le permettre. Les éoliennes peuvent être d'une utilité importante là où l'eau de surface ou souterraine est disponible.

Tous les pompages sont coûteux; il est donc bien évident que l'irrigation de complément sera pratiquée uniquement là où un gain significatif de rendement peut être attendu.

3. SUR LE POMPAGE DE L'EAU ET SON COÛT

3.1 Quelques définitions

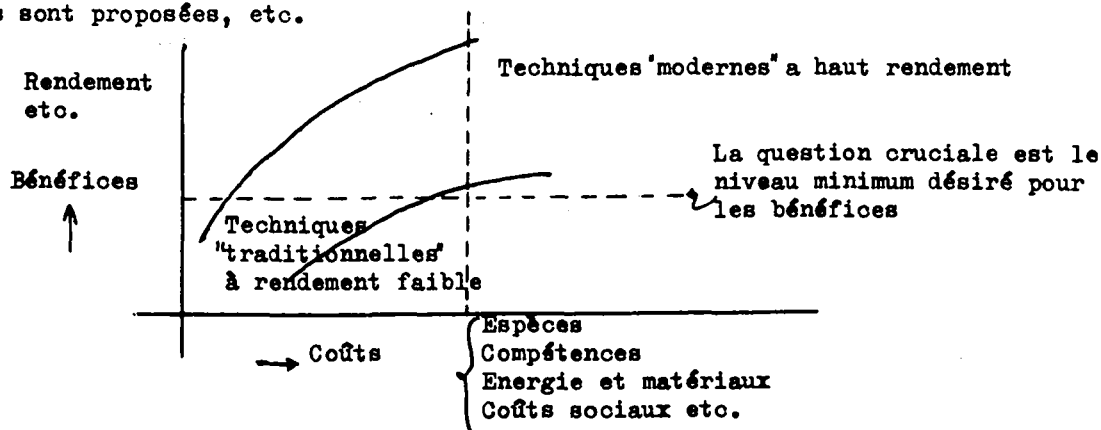
Il est de coutume d'associer la technologie aux outils et équipements employés pour la production et au moyens de les utiliser. Cependant, si l'on se pose la question de savoir quelle est la relation exacte entre la technologie et la société humaine, la confusion s'installe. Une meilleure manière pour faire comprendre le sens de la technologie serait de l'assimiler à un langage; le savoir-faire et les techniques deviennent alors l'équivalent du discours, les outils ou le matériel seraient alors l'équivalent des mots. (11) Cette définition met l'accent sur le fait que la technologie ne peut pas être dissociée de son utilisation par une société humaine et de la manière dont elle est intégrée dans les différentes cultures.

L'économie se soucie de la meilleure utilisation possible des ressources naturelles peu abondantes afin de fournir les moyens d'existence à la nature humaine. Beaucoup d'économistes se posent la question de l'à-propos des techniques à hauts rendements, de coûts élevés et nécessitant un savoir-faire important pour améliorer l'existence de la majorité des populations pauvres. Schumacher affirme qu'une stratégie de développement qui permet à la majorité des gens concernés de "s'aider eux-mêmes" a probablement plus de chances de succès. Il inventa le terme "technologie intermédiaire" afin d'insister sur la nécessité d'avoir des techniques ou quinquaille qui, soit améliorent les situations déjà existantes, soit modifient les techniques de haute performance ou réduisent les coûts ainsi que la nécessité d'avoir une main-d'oeuvre spécialisée. (12) Ce n'est pas une idée neuve, Gandhi l'a exprimée par une phrase mémorable: "Production par la masse, pas production en masse". Mao-Tsé-Toung intitule cette politique "la marche sur deux jambes", et certains économistes l'appellent "développement régional intégré". Ceci veut dire, d'une manière précise, que l'immense masse des gens pauvres et affamés de l'humanité ne doit pas être abandonnée au profit de quelques uns qui peuvent gagner le contrôle de ce que l'on appelle la technologie moderne. D'autre part, les réalisations des derniers siècles ne doivent pas pour autant être abandonnées; un programme de développement équilibré doit être planifié.

3.2 Les méthodes d'approche pour le pompage de l'eau

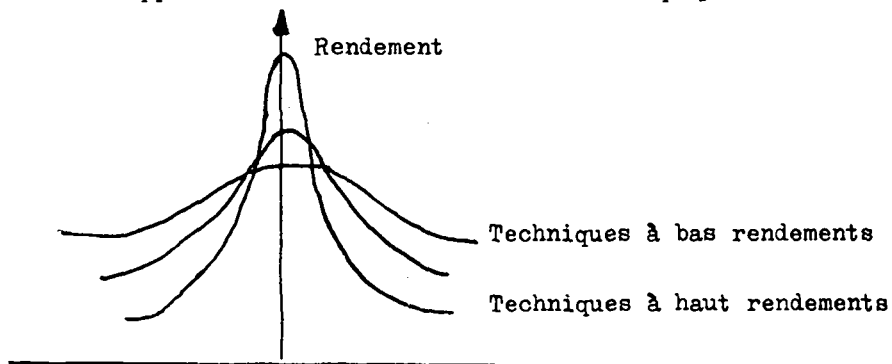
Le pompage de l'eau n'est qu'un domaine d'intérêt dans l'éventail de la technologie. Parmi les techniques de pompage, il existe une gamme riche et très variée de méthodes et d'innovations qui ont été et sont encore utilisées dans bien d'endroits du globe.

Il est tentant de décrire ce spectre à partir du critère coût/bénéfice, cependant, la gamme de modèles change constamment ainsi que les coûts, de nouvelles innovations sont proposées, etc.



Les coûts comprennent la valeur en espèces, le savoir-faire, le coût de l'énergie, et les bienfaits sociaux; et il est évident que ceci ne peut pas toujours être traduit en termes monétaires. Les bénéfices incluent le rendement, la performance, le développement social, ce qui n'est pas toujours comparable. Cependant, décrire la gamme des techniques de cette manière est intéressante étant donné que cela montre, d'une manière générale, que la technologie moderne est plus onéreuse que les techniques traditionnelles bien qu'elle ait des bénéfices plus élevés. Les techniques traditionnelles ne le deviennent réellement que lorsqu'elles ont été acceptées et comprises, et intégrées dans la culture et la tradition des sociétés qui les utilisent. La stratégie de développement qui cherche à obtenir le maximum d'améliorations au coût le plus bas doit établir un équilibre entre l'investissement, l'encouragement à l'utilisation de techniques modernes à hautes performances et ce que l'on peut appeler la technologie intermédiaire, par exemple, l'amélioration des performances des méthodes traditionnelles.

Une étude historique sur le pompage montre que la technique a évolué parallèlement au développement des sources d'énergie. Les pompes centrifuges ou les turbines sont actuellement à un stade poussé de développement, uniquement parce que les sources d'énergie, combustion interne ou moteurs électriques, peuvent actuellement fournir la puissance nécessaire à une vitesse élevée requise. Les animaux et l'énergie humaine ne sont pas capables de développer ces vitesses élevées sans les équipements coûteux.



Les ingénieurs avec l'enthousiasme pour leurs sciences concentrent leurs efforts sur l'augmentation de l'efficacité du système et sont inclinés à abandonner la partie du spectre comprenant le système à faibles performances. Les techniques à hauts rendements impliquent un contrôle opérationnel strict, du matériel plus adapté et plus cher, plus d'habileté dans la construction, plus d'entretien et des pièces de rechange coûteuses; ceci afin d'arriver à un niveau de performance désiré. Sans cela le système ne peut fonctionner et risque de se détériorer rapidement. Les techniques à basses performances ne nécessitent d'autre part que peu de contrôle, peuvent utiliser le matériau local et bon marché, peuvent être construits avec une main-d'oeuvre moins qualifiée et demandent moins d'entretien.

On pourrait prendre, comme exemple, le programme de construction de puits en milieu rural. Les forages de petits diamètres peuvent être construits rapidement et pénètrent profondément dans l'aquifère mais ils nécessitent des pompes à main, lesquelles sont coûteuses si l'on veut qu'elles résistent aux manipulations dont elles sont inévitablement l'objet. Les puits à larges diamètres sont construits à la main et, en général, ne pénètrent pas plus de 3 mètres en dessous du niveau de la nappe. L'expérience a démontré que les pompes à main ne sont généralement pas entretenues et que lorsqu'elles sont hors d'usage le puit est tout simplement abandonné. L'eau d'un puit à large diamètre peut être puisée à partir d'un seau et d'une corde; cette technique de construction est donc le plus souvent retenue en dépit des dangers de pollution.

3.3 Développement des techniques de pompage

Un des problèmes rencontrés par les planificateurs engagés dans les travaux de développement est la difficulté de décider s'il faut améliorer l'équipement existant et les techniques traditionnelles, importer des systèmes ayant fait leur preuve ou s'il faut modifier et adapter aux conditions locales des équipements disponibles dans le commerce (fig. 1). Quelle que soit la décision prise, il est essentiel de ne pas perdre de vue que la technologie n'est pas uniquement la quincaillerie - l'attitude et l'aptitude des utilisateurs a une importance aussi grande. Les facteurs principaux à considérer sont mentionnés ci-dessous.

(a) Artisanat traditionnel disponible

L'artisanat traditionnel est généralement négligé par les éducateurs en faveur de la formation lettrée. L'artisanat est cependant la base du développement; et il ne faut pas oublier que la plupart des innovations en technologie y trouvent leurs racines. Les programmes modernes industriels de recherches et de développement sont beaucoup plus intéressés par le contrôle à des fins de productivité que par l'amélioration de la qualité des produits. Mahatma Gandhi était conscient du danger d'ignorer et de sous-estimer l'artisanat et le travail manuel; son mouvement "Khadi" dont l'objectif était de persuader les chefs politiques de tisser leur propre vêtement, était en quelque sorte une tentative de revaloriser le travail physique en l'occurrence du tissage. Chaque personne a des dispositions pour une chose ou pour une autre, et une technique pouvant faire appel et utiliser ces talents a plus de chances de succès qu'un système nécessitant un savoir nouveau.

(b) Accès aux connaissances scientifiques

Beaucoup de techniques traditionnelles n'ont pas évolué, soit parce qu'elles ont satisfait les besoins de l'utilisateur, soit parce que les principes de base du fonctionnement ne lui sont pas connus. L'histoire de la technologie est un dédale de départs avortés, d'améliorations soudaines, de transfert de connaissance, etc. et ce n'est que maintenant que l'on commence à comprendre comment les fondements d'une culture d'une société déterminent le développement de sa technologie. L'accès aux connaissances scientifiques peut être envisagé par des manuels d'instruction, des conseils techniques, etc.

(c) La confiance

Une des plus grandes erreurs est d'oublier ou négliger l'utilisateur d'un système. Une technique ou un système doit être considéré comme un moyen physique mis à la disposition des gens pour défendre leur existence. Dans cette optique, l'attitude de l'utilisateur est aussi importante que l'équipement proprement dit. La confiance et l'assurance permettent la prise de décision dans le choix des outils et de l'équipement nécessaire. C'est un état vital de l'expérience humaine.

(d) Le capital

Nous avons déjà rapidement discuté de ce que l'on appelle la technologie appropriée, et il est clair que pour beaucoup d'activités, des subsides même minimes sont nécessaires pour commencer un développement, ceci peut se faire par la voie de la vulgarisation, la démonstration ou encore par des prêts à faibles intérêts. L'absence d'investissements dans le secteur rural tient au fait que les revenus sont faibles ou même inexistantes. Une masse de gens fournit les subsides aux secteurs à capital intensif. Une politique de distribution des investissements reste avec la technologie appropriée.

(e) Vulgarisation

Montrer aux gens comment utiliser et entretenir les équipements, les fournir en matériels, les superviser, leur donner des subsides, autant de facteurs qui tendent à développer les techniques parmi les populations. La vulgarisation est peut-être le secteur le plus important dans le développement bien qu'elle soit négligée dans beaucoup de pays. Une bonne démonstration vaut mille manuels.

3.4 Entretien de l'équipement

Un des critères de base pour le choix d'un équipement approprié est la facilité de son entretien; en fait, certains le considèrent comme le plus important. Beaucoup de pays en voie de développement sont encombrés avec des pièces d'équipement ayant été abandonnées par suite de pannes - conséquence d'un mauvais entretien. Il semble qu'il ne soit pas bien compris que les réseaux d'assistance (conseils, pièces, etc.) qui ont été mis en place au cours des années dans les pays industrialisés se sont faiblement développés dans d'autres parties du monde. En tant qu'ingénieurs nous avons tous eu l'expérience de matériels abandonnés par manque de pièces vitales ou tout simplement parce qu'ils n'ont pas été construits pour les conditions dans lesquelles ils sont employés.

La stratégie dans la conception de l'équipement devrait tenir compte de l'entretien incorporé ou sinon de l'utilisation de pièces, matériaux et compétences disponibles localement. Les coussinets en sont un exemple pour les pays arides; le projecteur peut, soit choisir des coussinets scellés (ils sont coûteux mais peuvent être utilisés longtemps avant que leur remplacement ne soit nécessaire) soit opter pour un type non scellé qui devrait être remplacé plus fréquemment. Etant donné que de nombreux pays ne produisent pas ce matériel, le choix se portera souvent sur le matériel scellé.

Si le projecteur opte pour un système fonctionnant à vitesse réduite, le choix du type de coussinet est plus grand, il peut par exemple, utiliser le système à bois imprégné. Le système de pompe centrifuge à haute vitesse de rotation nécessite des coussinets appropriés, ceci avec tous les problèmes que cela comporte, en particulier le scellage contre les poussières, le sable, etc. Les machines à rotation lentes, les pompes à chaîne avec palettes peuvent très bien fonctionner avec des roulements en bois imprégné à l'huile, ce dernier pouvant être remplacé à bon compte.

La solution à l'entretien incorporé est absolument essentielle si l'utilisateur n'a pas accès facile aux pièces de rechange ou ne possède pas suffisamment la technique. Nous suggérons que vu son importance ce dernier point fasse l'objet d'une discussion technique à ce séminaire.

3.5 Coût de pompage

Nous avons déjà mentionné que les techniques de pompage ne doivent pas être envisagées avant de connaître les conditions de l'utilisation de l'eau; ceci en particulier pour l'agriculture. Il n'est en effet pas rare de voir dans des zones sèches que l'eau qui a été pompée à grands frais s'infiltrer avant d'avoir atteint les cultures. Les assolements, les systèmes de mise en valeur des terres et des eaux sont donc des facteurs peut-être plus importants que les méthodes de pompage. Cette vue d'ensemble est à la base de ce que nous avons appelé la technologie intermédiaire. Certains économistes croient que les systèmes de pompage actionnés par les animaux ou les hommes ont été déclassés en quelque sorte par les pompes diesel ou électriques, excepté dans les zones où il y a surplus d'animaux ou de main-d'oeuvre. (13) Ce point de vue a déjà changé et changera encore au fur et à mesure que le pétrole se fera de plus en plus cher.

Si nous avons à considérer le pompage et les systèmes de cultures dans le Sahel on doit tenir compte des points fondamentaux suivants:

- (a) Les populations sont dispersées et la distribution de l'énergie, des carburants, des services, etc. est beaucoup plus coûteuse que dans le cas d'une population concentrée.
- (b) Les réseaux pour les pièces de rechange, les conditions de réparation, les ateliers, les conseils techniques, etc. ne sont pas encore bien installés; par exemple, il est estimé qu'un tracteur, durant sa durée de vie coûtera quelque quatre fois plus cher qu'une même machine dans son pays de manufacture.
- (c) La majorité des populations de ces régions opère en général à petite échelle et n'est pas complètement intégrées dans un système d'économie monétaire.
- (d) Des investissements effectués dans ces régions engendreraient probablement deux fois plus d'activités économiques qu'un même investissement réservé à l'importation.

Tenter d'établir un prix de revient de pompage est très difficile. Les populations des milieux ruraux ne seront probablement jamais dans une position d'utiliser du matériel coûteux et une comparaison réaliste entre les différents systèmes de pompage n'est pas aisée. Les paysans contraints à une agriculture de subsistance ont une vue totalement différente de celle des économistes du développement. De plus, peu d'économistes ont une idée précise des possibilités technologiques disponibles et c'est notre responsabilité en tant que techniciens-praticiens de nous tourner à la fois vers l'expérience et les besoins des populations rurales, et de définir comment ces besoins peuvent être satisfaits selon les conditions les mieux adaptées au milieu. Ceci veut dire que nous devons considérer soigneusement toutes les gammes de techniques de pompage et de sources d'énergie disponibles. Beaucoup d'études des coûts/bénéfices enveloppant une gamme assez large de techniques de pompes et d'irrigation surestiment plusieurs fois les coûts initiaux; ceci étant la conséquence d'une méconnaissance des alternatives qui peuvent être utilisées (14). Il y a du vrai dans le proverbe "là où il y a la volonté, il y a un chemin". Beaucoup de recherches dans l'histoire du développement de la technologie s'aperçoivent que les développements se cristallisent uniquement lorsqu'ils sont nécessaires et recherchés. Une étude de nature générale sur les coûts/bénéfices du pompage de l'eau a été publiée dans un manuel FAO - Publication No. 60 "Low Lift Water Lifting Devices for Irrigation" par A. Molenaar.

Les avantages de l'utilisation de l'eau ont été discutés sommairement à la section No. 2 de cette note, et il y a des évidences montrant que l'eau en zones arides peut être utilisée d'une manière beaucoup plus efficace qu'actuellement.

Le coût du pompage peut être subdivisé en deux; l'investissement initial, la moins value et peut-être l'intérêt d'une part et le coût de fonctionnement de l'autre. Les systèmes à haute performance correspondent généralement à des coûts initiaux élevés et des frais de fonctionnement faibles. Par contre, les équipements à faible performance, s'ils sont construits localement, sont bon marché à l'achat alors que le coût de fonctionnement est plus élevé. L'échelle à laquelle ces équipements sont utilisés est importante; en effet, un équipement coûteux ne peut pas être déclassé à moins qu'il ait été utilisé intensivement. Par contre, le système à faible performance est presque toujours utilisé sur de petites échelles. Molenaar discute les coûts généraux ainsi que les échelles d'utilisation et ses conclusions sont réalistes, à l'exception du fait que les coûts des carburants ont augmenté d'une manière disproportionnée par rapport aux coûts des techniques traditionnelles. Il n'est pas dans nos intentions de nous étendre sur la publication de M. Molenaar; nous aimerions, cependant, attirer l'attention sur le fait que le coût marginal de la main-d'oeuvre ne tient généralement pas compte des avantages obtenus si certains goulets d'étranglement peuvent être écartés des activités de la ferme ou si le paysan peut soit construire ou réparer lui-même son équipement.

4. SOURCES D'ENERGIE DISPONIBLES POUR LE POMPAGE

Les ressources en énergie de la terre tombent dans une des deux catégories suivantes: solaire et non-solaire. Les ressources dérivées du soleil incluent l'interception des radiations solaires, l'énergie éolienne, les produits de la photosynthèse, les dépôts de combustibles fossiles et l'énergie des chutes d'eau. Les ressources non-solaires sont les marées, l'énergie géothermale ainsi que la fission et fusion nucléaire. Les combustibles fossiles sous forme de pétrole fournissent les sources d'énergie les plus commodes - nous savons cependant tous que ces ressources sont limitées. L'énergie éolienne et solaire fourniront le meilleur espoir à long terme pour l'avenir. Les sources d'énergie et la puissance sont des sujets très étendus et il ne nous est possible ici que de donner une description sommaire des systèmes appropriés au pompage de l'eau dans les zones à populations dispersées.

4.1 Energie humaine

L'énergie humaine est beaucoup utilisée pour élever de petites quantités d'eau nécessaires aux besoins domestiques, l'alimentation du bétail et la petite irrigation. Pour de grands périmètres irrigués, d'autres sources d'énergie doivent être utilisées là où c'est possible.

Dans beaucoup de régions, cependant, les paysans et leurs familles sont l'unique source d'énergie disponible; ceci ne doit pas être considéré comme un esclavage; une petite quantité d'eau durant quelques semaines peut sauver une culture ou en doubler le rendement. Au Bangladesh, par exemple, les paysans irriguent une petite surface à la pompe à main afin d'obtenir une culture supplémentaire. L'exposition des pompes manufacturées localement tenue à Pékin en 1958 montrait une majorité d'équipements fonctionnant à partir de l'énergie humaine - ceci reflétait les conditions économiques difficiles de l'époque. Les pompes à énergie humaine sont généralement petites et portatives et ont une capacité convenant à de petites surfaces. L'utilisation la plus efficace de l'énergie humaine provient de ses jambes et non de ses bras. Les muscles des jambes sont plus forts que ceux de la partie supérieure du corps, et un homme peut confortablement développer une puissance de 75 Watts (0.1 c.v.) pour une longue période en pédalant, et jusqu'à 0.4 c.v. pour une période de quelques minutes. (15) Les systèmes utilisés en Asie du Sud-Est depuis des siècles fonctionnent généralement à partir des jambes. Les systèmes à énergie humaine sont petits, généralement peu coûteux et ne doivent pas être sous-estimés dans les endroits où peu de travail est susceptible d'apporter un bon revenu.

4.2 Energie animale

L'énergie animale est largement utilisée dans beaucoup de pays. Les animaux de trait, s'ils sont bien soignés et si l'équipement est bien approprié, peuvent contribuer d'une manière importante à l'irrigation. Bien souvent les animaux de trait utilisés à la ferme - labour, semis, etc... sont libres durant une longue période, en particulier durant la saison sèche; ces périodes peuvent être utilisées pour le pompage de l'eau. Les animaux de trait doivent être soignés convenablement, conduits avec affection et respect, s'il leur est demandé de travailler avec efficacité.

Les frais de vétérinaire, d'alimentation, d'achat, etc. doivent être compensés par le travail fourni et les gains secondaires, viande, peau, fumier, etc.

Le tableau suivant montre la puissance des différents animaux: (16)

<u>Animal</u>	<u>Poids kg</u>	<u>Force de traction</u> kg	<u>Vitesse moyenne</u> m/sec	<u>Puissance</u>	
				kgm/s	H.P.
Cheval	400-700	60-80	1	75	1.00
Boeuf	500-900	60-80	0.6-0.8	56	0.75
Vache	400-600	50-60	0.7	35	0.45
Mule	350-500	50-60	0.9-1	52	0.70
Ane	200-300	30-40	0.7	25	0.35

Dans les régions où les animaux ne sont pas dressés et utilisés uniquement pour les travaux généraux de la ferme, les coûts d'achat et du dressage doivent être une fonction directe des bénéfices résultant du pompage.

Les appareils de pompage actionnés par les animaux sont divers et vont du système de la corde et du récipient tirés par l'animal à la turbine à axe vertical. Le premier système mentionné ci-dessus est très inefficace étant donné qu'il y a un point mort lorsque l'animal retourne vers le puits; le second système est très onéreux et exige un entretien assez considérable. De manière à utiliser la puissance de l'animal efficacement, la pompe doit avoir une charge uniforme et une transmission est dès lors nécessaire. Celle-ci peut être simple, par exemple une roue dentée en bois, ou être plus sophistiquée du type à pignons en acier (figure 2). Ces systèmes de transmission peuvent être extrêmement coûteux; dans certains cas même plus chers qu'une petite pompe à moteur. Ces systèmes de transmission peuvent être manufacturés localement dans de petits ateliers. Le type "libération" qui sera décrit plus tard a été largement distribué en Chine afin de promouvoir et encourager la manufacture.

4.3 Energie éolienne

La puissance éolienne a été utilisée au cours des âges à différentes fins; meulage, scierie, etc. ainsi que pour le pompage de l'eau. (17) Au cours des dernières 50 années la puissance éolienne a été négligée par les ingénieurs et l'intérêt qu'on lui porte récemment reflète en quelque sorte les doutes sur l'utilisation à long terme des carburants fossiles. Le pompage de l'eau est probablement la forme la plus efficace d'utilisation de la puissance du vent étant donné que la machine peut tourner en permanence et chaque fois que le vent est suffisant.

Les éoliennes sont largement utilisées aux U.S.A., en Australie et dans de nombreux endroits en Afrique; elles ont été rendues plus robustes et plus simples (figure 3). Il y a une grande variété éolienne, et le type le plus adapté aux régimes des vents de l'Afrique de l'Ouest est probablement le système à pales multiples et la roue "Cretan Sail". Ce sont des machines à vitesse faible et à couple de torsion élevée, et peuvent aisément être manufacturées localement. La puissance disponible dépendra de la surface balayée et de la vitesse du vent. Les dispositifs utilisés ont un rendement assez faible, environ 35 % du potentiel, étant donné qu'il n'y a qu'une faible proportion de l'énergie totale du vent qui est interceptée. Nous pourrions exprimer l'énergie du vent par l'équation suivante:

$$P = 0.0006 AV^3 \text{ avec } A = \text{surface balayée en } m^2$$

V = vitesse du vent en m/s

P = puissance en kW.

Les éoliennes développées par les artisans au cours de l'histoire ainsi que les dimensions optimales des dispositifs élévatoires semblent avoir été développées intuitivement.

La puissance développée par une roue à vent varie avec le carré du diamètre - son poids et son coût sont proportionnels au cube; doubler la dimension de la roue revient à quadrupler sa puissance, son poids et son coût par huit. La plupart des éoliennes installées pour le pompage ont des diamètres inférieurs à 5 mètres. Les éoliennes sont dimensionnées pour fonctionner à des vitesses de vent faibles, et des systèmes y sont incorporés afin d'éviter sa destruction à des vents violents. Les systèmes de pompage éoliens que l'on trouve dans le commerce sont dotés d'un système de pompage permettant durant les périodes calmes le fonctionnement de la pompe, soit par traction animale, par moteur ou par énergie humaine. Un réservoir doit également être prévu pour le stockage de l'eau et son utilisation lorsque nécessaire.

4.4 Energie solaire

L'énergie solaire est probablement la source la plus importante mise à la disposition de l'homme, et des efforts importants sont enfin entrepris afin de la convertir en puissance mécanique; ceci avec des succès variables. L'énergie solaire développée sur une surface horizontale, par jour lumineux et aux basses latitudes peut atteindre l'équivalent de six à huit kwh/m². Cette valeur sera bien inférieure par jour couvert. La difficulté réside dans la conversion de l'énergie solaire en une autre forme de puissance pouvant être stockée et utilisée. Actuellement, les pompes à énergie solaire sont extrêmement coûteuses et complexes; de nouvelles découvertes dans ce domaine, ainsi que la production en masse, devraient en réduire le coût. Le système le plus prometteur est peut-être le moteur Fluidyne dans lequel il n'y a pas de pièces en mouvement et qui fonctionne sur le cycle de Sterling (18).

4.5 Energie électrique et combustibles fossiles

Les moteurs diesel ou à essence sont bien connus. L'expérience définira le type le plus approprié à la région. Les frais de transmission du courant électrique sont probablement prohibitifs pour de nombreux pays de l'Afrique de l'Ouest.

5. LES INSTALLATIONS A CHAÎNE ET DISQUES

Il y a une grande variété de systèmes utilisés dans le monde. Ceux-ci ont été décrits par Molenaar dans une publication FAO No. 60 et par d'autres auteurs (19). Leurs performances sont représentées à la figure 4.

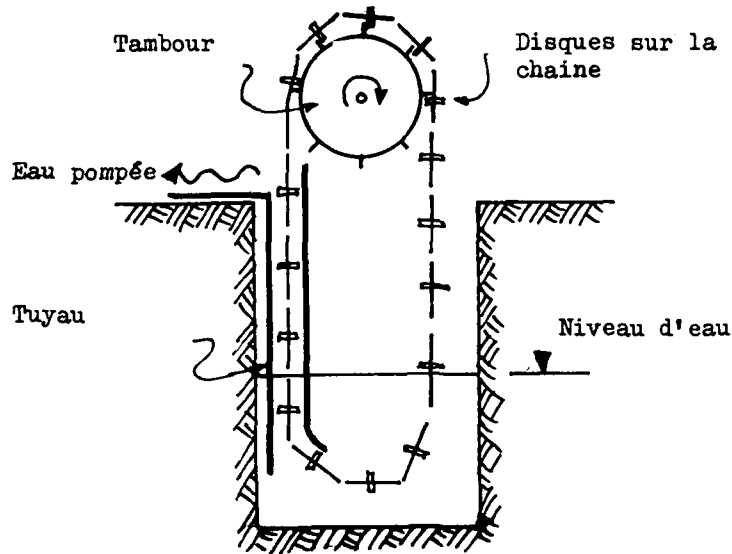
Dans cette dernière section, nous avons inclu une partie d'une publication de l'I.T.D.G. à paraître et intitulée "22 pompes à chaîne présentées à l'Exposition de Pékin en 1958".

Nous y trouverons des informations de base relatives à l'exposition ainsi que les principes de fonctionnement des différentes pompes. Nous avons préparé cette publication afin de décrire les principes de planification adoptés en Chine et qui mettent l'accent sur la nécessité d'encourager la majorité des populations rurales à mettre en valeur leur propre talent et leur habileté. Plusieurs des systèmes présentés à l'exposition sont représentés aux figures 5 et 6.

Le type de base "pompe Libération" peut être intéressant et simple, et manufacturé en Afrique de l'Ouest. La pompe à chaîne requiert une charge constante, elle est supérieure à la roue persane (chaîne et godets). Fig. 5A.

5.1 Informations générales

La pompe à chapelet que l'on nomme parfois "paternoster" est un instrument connu et utilisé depuis des siècles en Chine et en Europe. Cette machine élévatoire comporte une chaîne sans fin enroulée sur un tambour supérieur et sur laquelle sont montés des disques. Dans sa partie montante, la chaîne à disques circule dans un tube descendant dans un puit. Le diamètre des disques correspond au diamètre intérieur du tube de telle sorte que lorsque le tambour tourne chaque disque ascendant remonte un certain volume d'eau qui sera déversé dans un réservoir.



La pompe à chapelet est utilisée pour élever l'eau des puits peu profonds; la profondeur maximum est en pratique de l'ordre de 20 mètres, plusieurs chaînes à chapelet flanquées de leurs tubes peuvent être enroulées sur un même tambour. La pompe à chapelet peut être considérée comme une machine caractérisée par le rapport masse élevée/puissance faible, étant donné que l'élévation de l'eau est effectuée à partir de pièces à mouvements lents et que la charge est répartie sur l'ensemble de l'installation; autrement dit, aucune partie de la machine ne subit d'efforts élevés, dans ces conditions celle-ci peut être construite à partir de matériaux relativement peu résistants, tels que le bois.

Cette pompe était utilisée largement en Europe à partir du XVI^{ème} siècle pour le drainage des mines, et était préférée au système à piston compte tenu de son coût inférieur, sa construction aisée et sa sécurité de fonctionnement. Les tuyaux étaient généralement en bois et les disques en boules de crin recouvertes de cuir. Les boules étaient flexibles et s'ajustaient correctement aux parois du tuyau même si le diamètre de celui-ci n'était pas uniforme. Les boules en cuir sont parfois remplacées par des paquets de chiffons; ceci est meilleur marché bien que moins efficace. Les pompes dont il est question dans notre publication sur l'Exposition de 1968 à Pékin fonctionnent sur le même principe. Les boules en cuir ou tissu sont remplacées par des disques en bois ou en fer flanqués parfois d'un segment en caoutchouc pour éviter les fuites.

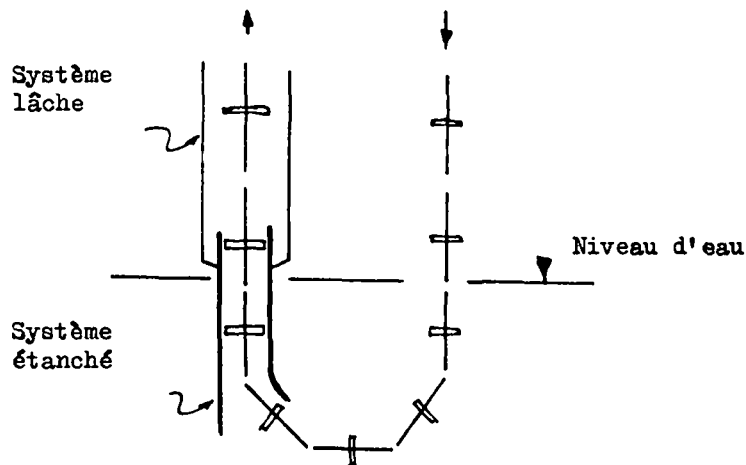
Les pompes à chaîne ont beaucoup d'avantages sur les autres types de matériel, elles sont robustes et peuvent être fabriquées à partir de matériaux disponibles localement; elles tournent lentement et l'usure des pièces est donc faible. Les charges sont réparties sur toute la masse de la machine, ce qui veut dire que la corrosion, l'usure ou même la rupture d'une pièce, à moins quelle ne soit maîtresse, n'empêchent pas son fonctionnement. Elles peuvent élever des eaux chargées et leur entretien est simple. Elles peuvent être actionnées par l'homme, les animaux, le vent ou encore par un moteur à combustion interne à faible vitesse de rotation; ceci avec un minimum d'engrenage ou de transmission complexes. Leur sécurité de fonctionnement est telle qu'elles furent en service jusque durant la seconde moitié du XIX^{ème} siècle sur les navires de la Royal Navy où elles servaient de pompes à cales.

5.2 Description technique des pompes à chaîne - les principes de fonctionnement

La pompe à chapelet, robuste et caractérisée par sa masse élevée et sa puissance faible, contraste avec la petite pompe centrifuge et moderne, caractérisée par sa

faible masse et sa puissance élevée. Avec la pompe à chaîne dès lors, l'effort de pompage est transmis par l'intermédiaire des pièces robustes et à mouvement lent qui ne nécessitent pas une construction très précise et un entretien minutieux. La pompe centrifuge, par contre, est relativement petite, et l'effort est concentré sur les parties à mouvements rapides qui doivent être construites en matériaux plus résistants et d'une manière plus précise.

Pour que le rendement d'une pompe centrifuge soit acceptable, il faut qu'elle ait une vitesse de rotation bien supérieure à celle qu'un homme ou un animal pourraient lui donner, et des systèmes de transmission coûteux doivent être utilisés. Afin de ne pas gaspiller l'énergie motrice, lors de la transmission, il est évident que les liaisons doivent être précises et entretenues couramment. Un des avantages de la pompe à chapelet, quant à son utilisation en milieu rural, est sa vitesse de rotation réduite et uniforme, ce qui est parfaitement adapté aux vitesses auxquelles l'homme ou l'animal peut se mouvoir. La boucle continue formée par la chaîne est hissée au travers du tuyau et l'eau transportée entre chaque disque. Des pertes peuvent se produire à la périphérie des disques et il est donc nécessaire que le système soit le plus étanche possible. Une alternative du système avait été montrée à l'Exposition de Pékin; elle consiste à avoir un système parfaitement étanche dans la partie submergée du tube, la partie supérieure étant plus large. Les disques élèvent l'eau dans la partie inférieure du tube et les fuites y sont réduites au minimum. Dans la partie supérieure des tubes, il n'y a pas élévation à partir des disques; ceux-ci sont lâches et dès lors ils ne s'usent pas par friction contre les parois.



La partie inférieure de ce type de pompe pourrait, par exemple, être construite dans un atelier et être par la suite distribuée et adaptée au corps des pompes existantes.

D'autres améliorations ont également été apportées, telles que l'entrée du tuyau en forme de cloche de sorte à guider les disques ou encore une roue à cliquet, ce qui évite un retour en arrière de la chaîne sous le poids de l'eau.

5.3 Les composantes

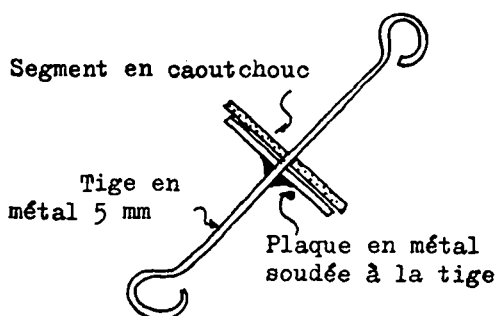
a) La canalisation principale

L'eau élevée est en fait emmagasinée entre les disques et les parois du tuyau. Le tuyau doit avoir des parois lisses pour éviter l'usure des disques. Il doit être solide, étanche, bon marché, simple à confectionner ou à remplacer. Il ne doit supporter que son propre poids et reste immobile lorsque la chaîne est actionnée. Il ne supporte en rien

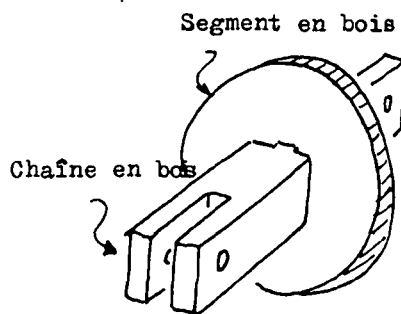
le poids de l'eau qui y circule. Plusieurs types de matériaux peuvent être utilisés pour la construction de ces tuyaux - bois, bambou, fer, plastique, asbestos, etc. et sa section peut être soit circulaire, soit carrée. La difficulté dans le cas d'une section carrée est de s'assurer une entrée correcte des disques - cette solution, généralement peu adoptée, est cependant utilisée lorsque le bois est l'unique matériel disponible pour la construction. Le diamètre interne de la canalisation ne dépasse généralement pas 10 cm. Nous avons mentionné plus avant le système étanche dans la partie submergée de la pompe; cette section peut être fabriquée en plastique, en fer, ou en bois dur. Cette partie peut être adaptée à un système plus lâche pour autant que ce dernier soit étanche. Au moins deux disques doivent passer en même temps à la section inférieure. Certains tuyaux disponibles dans le commerce ont des brides à leurs deux extrémités, ce qui permet, si nécessaire, d'augmenter la longueur totale de la canalisation. Les tuyaux en fer sont bien entendu plus lourds que ceux en bois ou en plastique, et requièrent dès lors un support plus résistant.

b) La chaîne et les disques

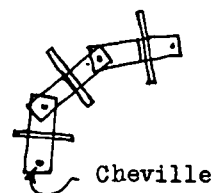
Nous avons déjà mentionné brièvement le système à disques en crin recouvert de cuir ou en chiffon. Ceux-ci se moulent aux différentes formes du tuyau, réduisant ainsi au minimum les fuites, mais l'effort de friction est élevé. Ils s'usent rapidement et ont tendance à pourrir dans l'eau après quelques mois. Les disques utilisés actuellement sont en bois ou en fer, découpés avec précision de sorte qu'ils épousent correctement les formes du tuyau. L'attache sur les deux faces du disque doit être aussi résistante que possible de manière à pouvoir supporter à la fois le poids de l'eau, dans un sens, et celui de la chaîne dans l'autre. Une construction précise des disques aura pour conséquence une réduction des fuites et une usure moins importante; mais également une augmentation du coût - un équilibre doit donc être recherché entre le coût et l'efficacité de fonctionnement. Etant donné que les parties les plus importantes du système sont les tuyaux, la chaîne et les disques, il peut être conseillé d'utiliser des segments en caoutchouc; on peut également faire appel à des boules en caoutchouc. La chaîne peut être en bois chevillé, une corde ou encore une chaîne à anneaux de fer de 5 mm de diamètre. Ces anneaux doivent être suffisamment résistants pour supporter le poids de l'eau et de la chaîne. Dans le cas d'un tuyau de 10 cm de diamètre intérieur, le poids de l'eau à supporter pour une élévation de 20 mètres est de 150 kg; avec un diamètre de 7 cm et une hauteur de 10 m ce poids s'élève à 50 kg. Des puits profonds avec des tuyaux de diamètre assez large nécessitent l'utilisation de chaîne en métal résistant; la chaîne en bois et la corde peuvent être utilisées dans leccas de puits à faible profondeur. La corde en nylon et les boules en caoutchouc sont des possibilités intéressantes.



Chaîne en métal



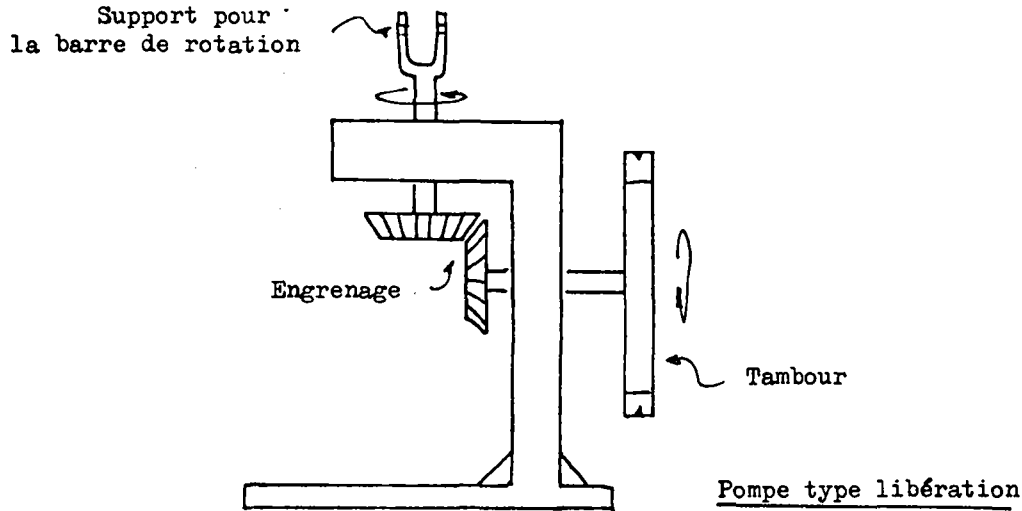
Chaîne en bois



c) L'infrastructure

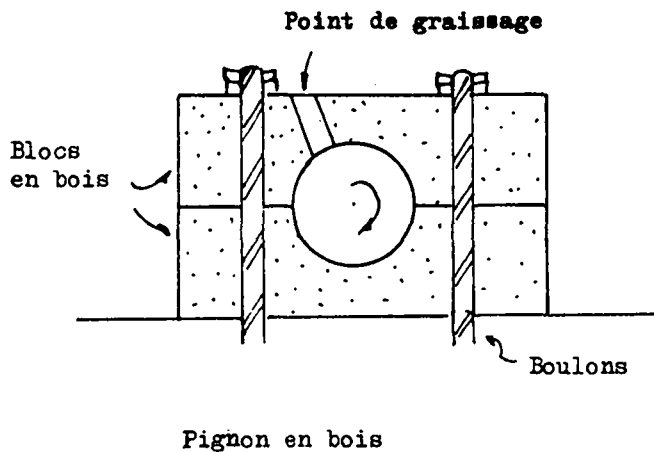
Le châssis qui supporte le système (chaîne, disques, tuyaux, tambour) doit être ancré en fonction des charges appliquées. Les châssis robustes de la plupart des exemples montrent les dimensions généralement adoptées.

Quelques pompes de ce type sont assemblées à partir d'un axe et du différentiel d'une voiture automobile pour la transmission des efforts fournis par les animaux à l'axe de la pompe. Certaines pièces moulées sont utilisées dans la pompe "Libération"; des engrenages en bois sont souvent utilisés en Asie.



d) Les pignons

Les pignons supportant le tambour sont à l'origine de pertes importantes par friction. Le choix de cette partie du système cause un dilemme pour les appareils utilisés en milieu rural; ces pièces peuvent être très coûteuses, à haut rendement et scellées. Elles seront remplacées dès qu'usées. Elles peuvent également être en bois huilé; elles ne sont alors pas conçues pour la résistance aux poussières et au sable. Ces dernières peuvent être remplacées à peu de frais. Les pignons en bois, s'ils sont construits proprement, entretenus et graissés régulièrement, peuvent être utilisés pour des machines à faible vitesse de rotation - ils ne peuvent pas servir pour des pompes rapides.



e) Le tambour

Les différents types sont illustrés. Ils sont variés et ont un rayon compris entre 20 et 30 cm. Ils doivent être solides puisqu'ils supportent à la fois la chaîne et l'eau soulevée. Leur vitesse de rotation est lente et ils ne doivent pas dès lors être équilibrés dynamiquement. Leurs dimensions sont telles qu'ils peuvent être moulés dans le petit moule, des dimensions plus grandes requièrent une certaine technique et des équipements considérables.

Le tambour est monté au centre de l'axe, lequel doit être suffisamment résistant pour supporter la machine. L'axe peut être en bois ou en métal, mais il est nécessaire que les extrémités soient circulaires puisqu'elles doivent s'insérer dans les pignons. Si un axe est utilisé les pignons en bois s'usent avant le métal.

Occasionnellement, quelque cinq tambours sont disposés sur un axe; chacun d'entre eux ayant son système de chaîne, disques, tuyau.

6. BIBLIOGRAPHIE

- (1) Reddy, A.K.N. Is Indian Science Truly Indian? Science Today, Janvier 1974.
- (2) Edwards, E.O. Employment in Developing Nations. Rapport d'une étude de la Fondation Ford, Columbia University Press, New York, 1974.
- (3) Seers, cité dans: Appropriate Technologies for Small Developing Countries. Johnson, P. 1973 University of Sussex.
- (4) Burton, I. Technology Assessment and Research Priorities for Water Supply and Sanitation in Developing Countries. IDRC, Box 8500, Ottawa, Canada. 1974
- (5) Rapport de la Fondation Wunderman, 575 Madison Ave., N.Y. 10022, U.S.A., cité dans le 1974 New York Times, Février 3, 1974.
- (6) Pour information et contribution contacter: Dr. Hans Van Damme, International Reference for Community Water Supply, WHO, La Haye, Hollande.
- (7) Environnement Africain, Vol. 1 No. 2, Avril 1975. Article spécial sur la sécheresse 1975 au Sahel, Enda, B.P. 3370, Dakar, Sénégal.
- (8) Ionides, H.G. The Use of Rain Water Harvesting Tanks in the Sahel, Appropriate 1974 Technology Journal Vol. 1 No. 3, 1974. ITDG, Londres.
- (9) More Water for Arid Lands. Cette revue excellente peut être obtenue gratuitement auprès 1974 de National Academy of Sciences, Washington D.C., U.S.A.
- (10) Cité de: Arnon, I. Crop Production in Dry Regions. Plant Science Monograph. Leonard 1972 Hill Pubs., Londres.
- (11) Dickson, D. Alternative Technologies and the Politics of Technical Change. Fontana 1974 Press.
- (12) Schumacher, E.F. Small is Beautiful. Et ses autres articles sur le sujet, 1974. 1974
- (13) Clark, C. The Economics of Irrigation. Pergamon Press, 1970. 1970

- (14) Deepak Lal. Wells and Welfare, Etude OCDE, 1972.
- (15) Wilson, S.S. Pedal Drives for Borehole Pumps. Department of Engineering Science, Oxford University, U.K.
- (16) Fhangland. Field Engineering. Government Printer of Tanganyika, Dar-Es-Salaam. 1952
- (17) Golding, E.W. The Economic Utilization of Wind Energy in Arid Areas. Symposium de l'UNESCO sur l'énergie éolienne e solaire. New Delhi, 1954.
- (18) Frankel, P. Appropriate Technology Journal Vol. 1 No. 4, article par P. Frankel. Egalement article No. 5 par G. West, AERE, Harwell. ISE Conference Paris, Juillet 1974.
- (19) Ohlemutz, R. The Hydrostatic Pump and Other Water Lifting Devices in the Context of the Intermediate Technology Approach. Thèse pour Ph.D. University of California, Berkeley, U.S.A.



Roue de charrette
utilisée comme volant,
et pignon en bois.

Figure 1: Pompe traditionnelle à pales avec moteur diesel à basse vitesse
(Photographies: N. Hudson)

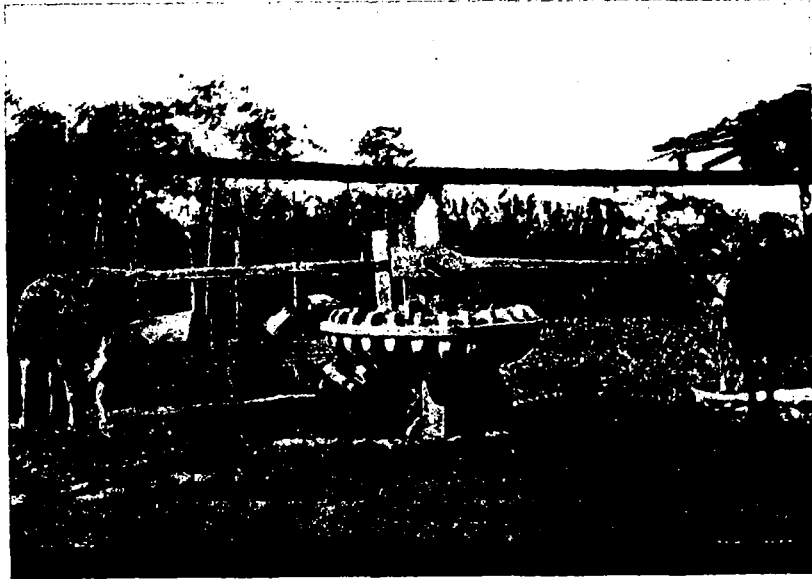


Figure 2: Engrenage en bois pour prise de force du model persan.
(1935 environ)

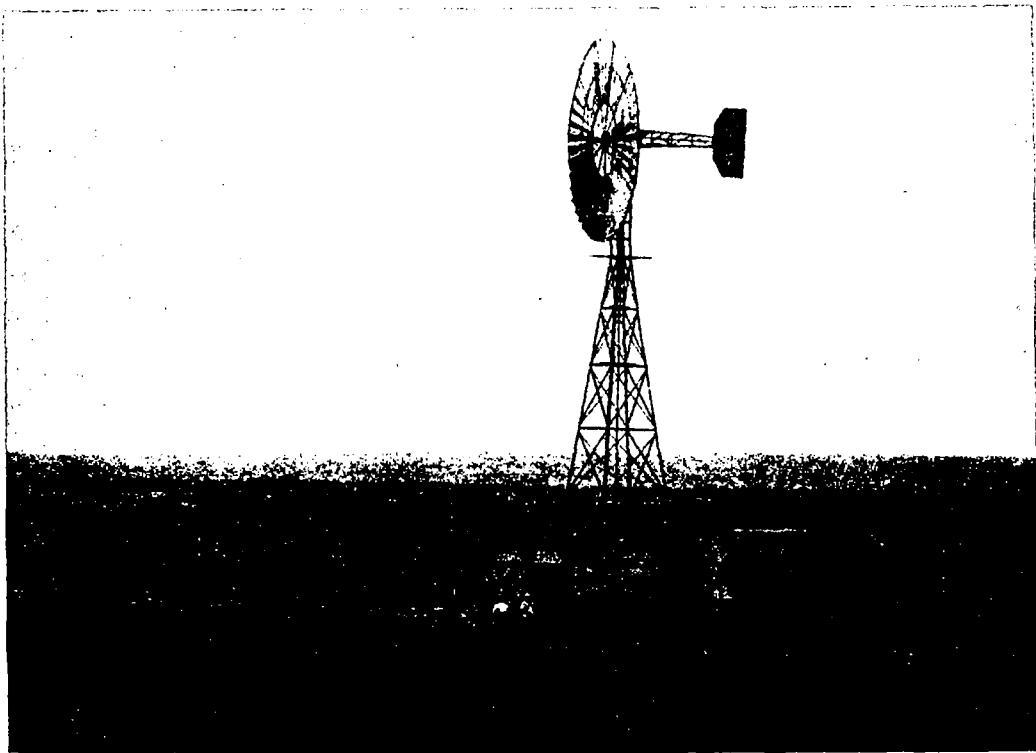


Figure 3: Eolienne à pales multiples pour pompage d'eau. Algérie.
Notez le réservoir en béton.

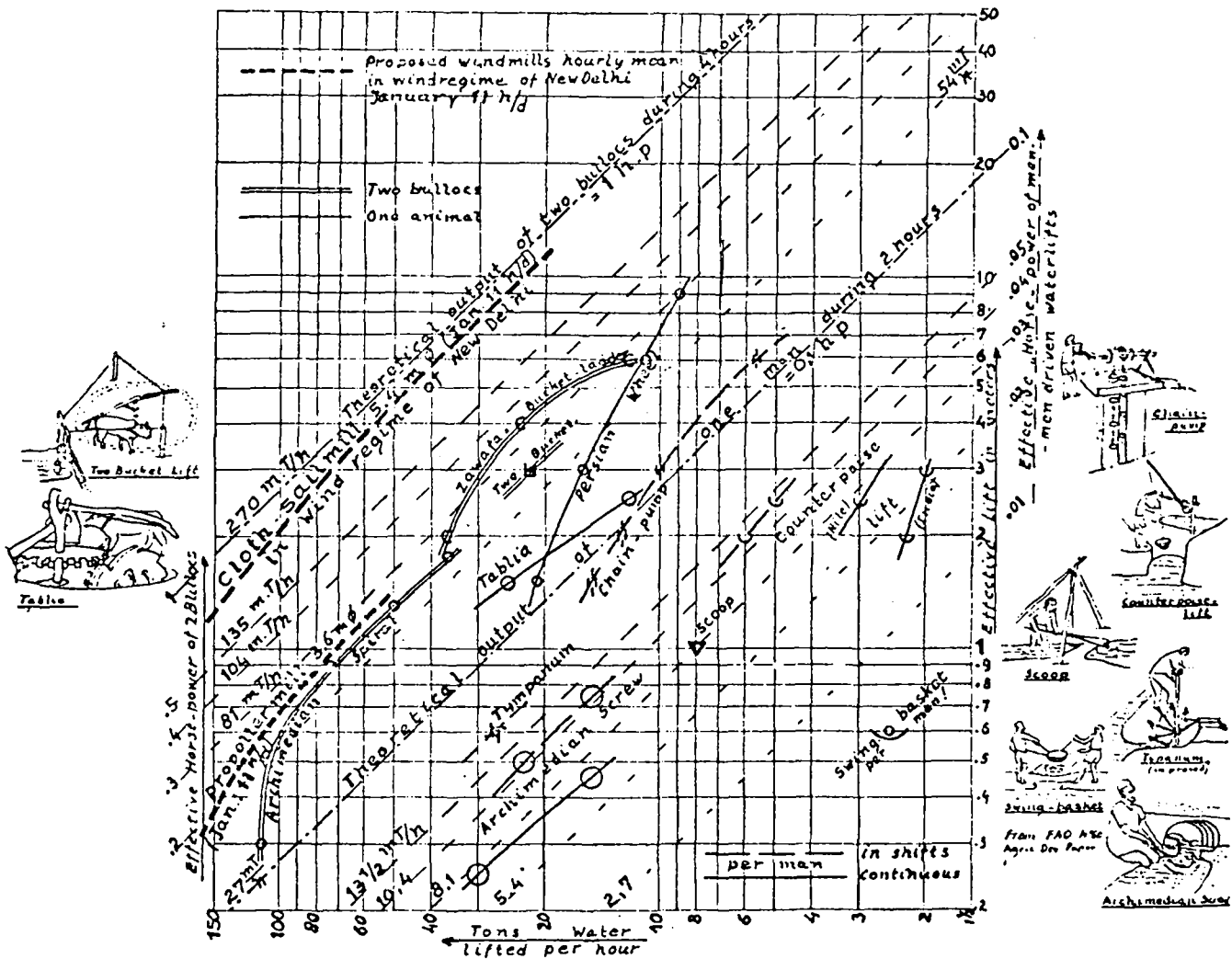
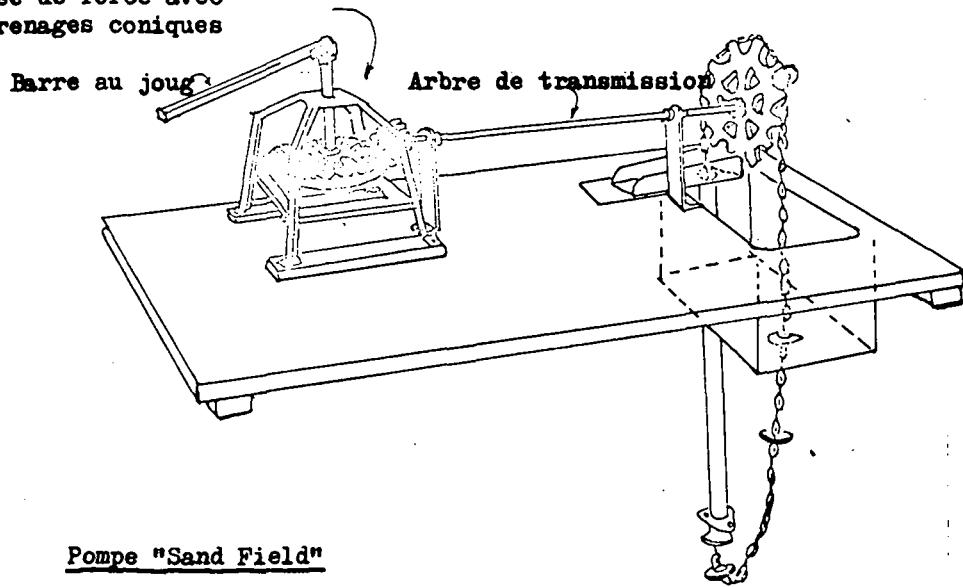


Figure 4: Performance d'exhaure d'eau des équipements traditionnels de pompage.
(Stam, Note W40 Conférence des N.U. sur les Sources Alternatives
d'Énergie, 1961)

Prise de force avec engrenages coniques



Mécanisme de pompe type 5 roues

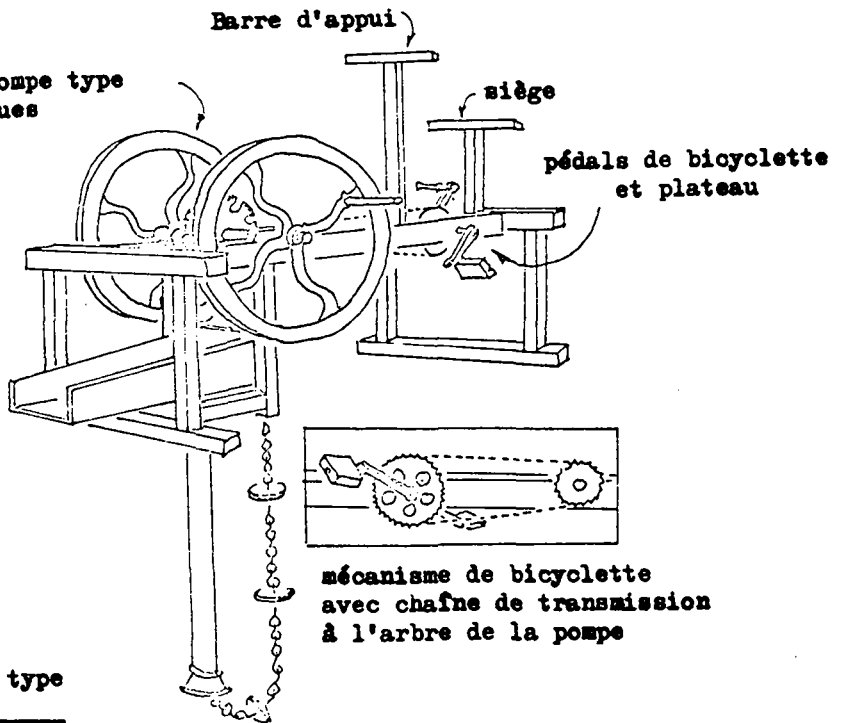


Figure 5: Exemples de pompes à chaînes et disques (chapelet).
Exposition de l'Agriculture - Pékin 1958

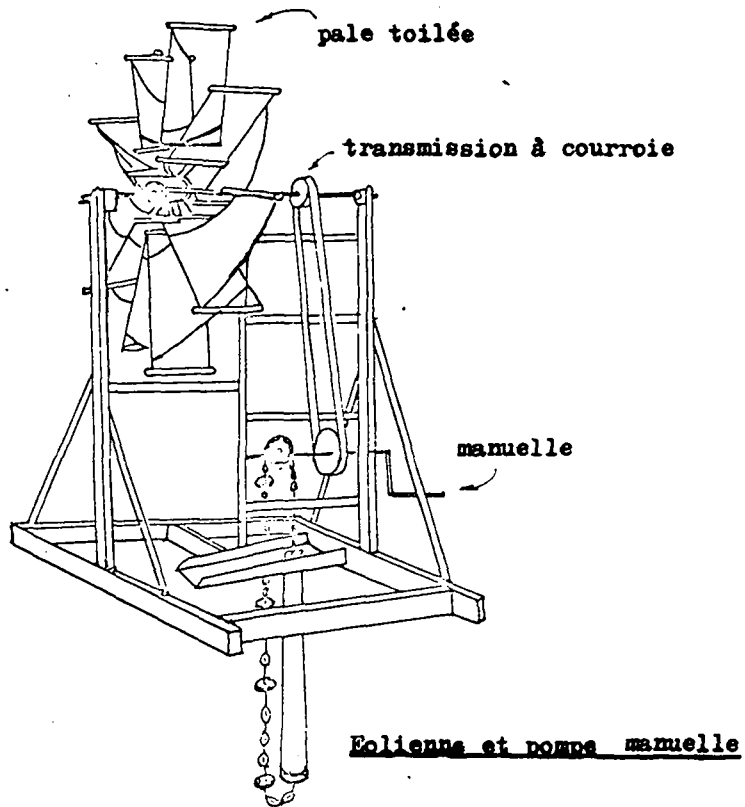
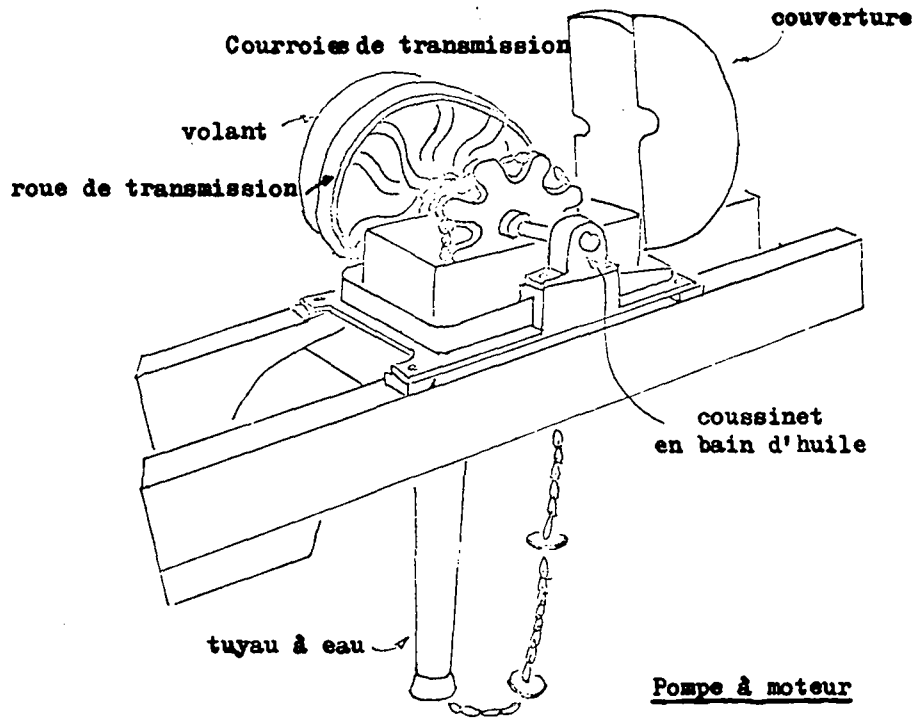
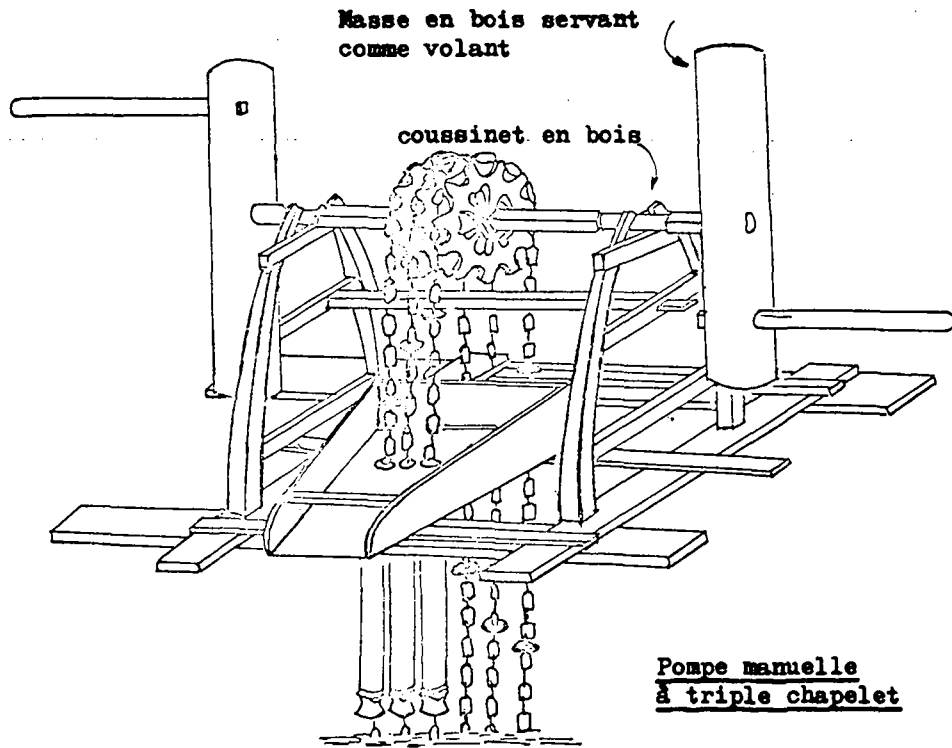


Figure 5 (continuation)



Roue en bois pour chapelet à 8 barres

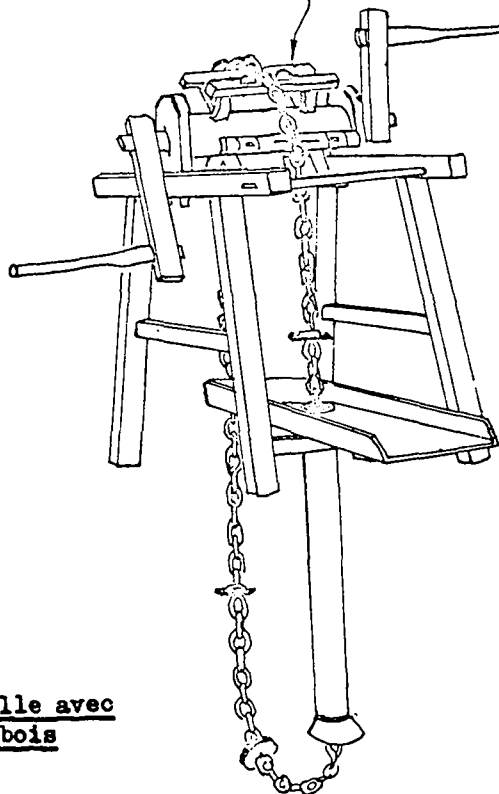


Figure 5 (continuation)



Figure 5A: Pompe à chaîne et disques (chapelet) commercial. Bihar, l'Inde.



Figure 6: Pompes à chaîne et disques (chapelet). Exposition de l'Agriculture, Pékin 1958. Tiré de Joseph Needham, Science et Civilisation en Chine.

V - PROBLEMES SPECIFIQUES EN MATIERE
DE PETITE HYDRAULIQUE

V. 1. ASPECTS SAILLANTS DES STRUCTURES DES SYSTEMES D'IRRIGATION, par D.B. KRAATZ.

RESUME

Le présent document justifie le rôle du système d'aménage et de distribution de l'eau et son influence sur la rentabilité d'un projet d'irrigation. Après avoir énoncé les buts et contraintes d'un tel réseau, l'auteur donne les principaux aspects du contrôle de la distribution par l'amont ou par l'aval. Le document énumère et décrit les principaux types d'ouvrages auxiliaires, y compris, les dispositions de mesure de l'eau.

1. INTRODUCTION

Bien que les travaux du Génie exigés pour les ouvrages hydrauliques, le revêtement des canaux, la gestion des réseaux, etc., ne constituent qu'un des secteurs que couvrent la planification, la mise en oeuvre et l'exploitation des systèmes d'irrigation, il est relativement complexe et demande l'examen d'un bon nombre de méthodes, de concepts et de problèmes économiques et autres.

Le présent document se borne à l'examen des petits systèmes d'écoulement par gravité et de distribution par rotation, laissant de côté les systèmes de distribution à la demande et de débit constant. Par ailleurs, il convient de signaler qu'il s'agit en l'occurrence d'une synthèse plutôt que d'une analyse du sujet.

2. IMPORTANCE DES ASPECTS D'INGENIEURIE

A condition de disposer d'une quantité d'eau suffisante et d'un sol adéquat et d'aménager convenablement le système, l'irrigation doit assurer le maintien d'un haut rendement des cultures par unité de superficie. Lorsque les disponibilités en eau sont insuffisantes ou onéreuses, l'irrigation doit viser au meilleur rendement possible par unité d'eau, grâce à des méthodes d'agronomie et de gestion appropriées. Le succès d'un projet d'irrigation dépend en grande partie de l'efficacité du système de transport et de répartition de l'eau, autrement dit, de son bon fonctionnement. S'il est vrai que l'exploitation d'un système d'irrigation exige un soutien organisationnel et institutionnel, il n'est pas moins vrai que son efficacité repose surtout sur la planification, la conception et la construction du réseau depuis la source d'eau jusqu'au champ de l'agriculteur. Chaque ouvrage hydraulique doit être durable et aussi efficace que simple du point de vue conception, construction et fonctionnement. Il convient de souligner que tous les petits ouvrages d'un réseau d'irrigation sont aussi importants, sinon plus, que les grands. Dans les petits systèmes d'écoulement par gravité, 90 % des ouvrages ont une capacité inférieure à 1 m³/s. Le nombre d'ouvrages par unité de surface dépend en grande partie de la taille des exploitations et des champs, du schéma de distribution et de la topographie, et varie entre plusieurs centaines et plusieurs milliers par mille hectares.

3. ASPECTS OPERATIONNELS DU RESEAU

Un réseau d'irrigation doit assurer la distribution à chaque champ d'une quantité déterminée d'eau, tout en permettant de modifier cette quantité dans le temps. Concurrentement avec la distribution de l'eau aux consommateurs, il faut en régler les niveaux afin de:

- (i) les maintenir aussi élevés qu'économiquement possible en vue d'accroître la superficie pouvant être irriguée;
- (ii) en restreindre les fluctuations et, partant, de prévenir la détérioration des canaux;

- (iii) emmagasiner l'eau dans le réseau;
- (iv) ne pas dépasser un niveau maximum pour éviter les débordements;
- (v) en restreindre les fluctuations pour faciliter la régulation du débit aux prises d'eau et aux dérivations;
- (vi) les maintenir à une cote prédéterminée s'il y a lieu pour fournir de l'eau aux cultures submergées (ex: le riz); la profondeur en l'occurrence est fonction du stade de croissance végétale.

Les principales méthodes employées pour régler le transport et la distribution de l'eau sont la régulation par l'amont, la régulation par l'aval et la combinaison des deux.

Pour la régulation par l'amont, une quantité prédéterminée d'eau est déchargée par la source d'alimentation (barrage ou cours d'eau) à la tête du canal principal. La quantité d'eau ainsi débitée est spécifiée à priori dans le programme d'irrigation. La distribution ultérieure dans le réseau s'effectue en fonction des besoins établis, ou "main d'eau". La régulation par l'amont est employée lorsque, les disponibilités étant insuffisantes pour la distribution simultanée à tous les utilisateurs (du moins pendant une partie de la campagne d'irrigation), on applique la distribution par rotation. La rotation peut se faire entre des sections du réseau, entre plusieurs canaux latéraux ou entre les exploitations individuelles de long d'un canal latéral, en tenant compte de la taille du système, de la situation de l'offre et de la demande et autres facteurs (sociologiques, etc.).

La régulation par l'aval est employée lorsque les disponibilités en eau à la tête du système sont toujours plus grandes que la demande. Cette méthode permet à chaque utilisateur de régler sa propre alimentation. L'effet de la quantité d'eau prélevée se transmet petit à petit jusqu'à la tête du système et modifie automatiquement le débit du réseau, moyennant le réglage de l'ouverture de la vanne pour satisfaire la demande cumulative totale. La régulation en aval exige des dispositifs automatiques. Celle-ci n'étant pas couramment employée dans les petits systèmes d'écoulement par gravité, nous ne nous étendons pas davantage sur ce point.

Traditionnellement, la régulation en amont des systèmes d'écoulement par gravité est effectuée manuellement. Toutefois, ces systèmes sont de plus en plus souvent dotés de dispositifs qui, grâce à un minimum de surveillance et d'entretien fonctionnent automatiquement, comme par exemple, les vannes à niveau amont constant hydro-mécaniques et les déversoirs à longue crête.

Dans les systèmes à régulation en amont, il est pratiquement impossible de régler toutes les vannes de manière que leurs débits soient exactement égaux à la somme des débits en aval plus les pertes dues aux infiltrations et à l'évaporation. C'est pourquoi il est difficile d'éviter, soit une distribution insuffisante, soit un certain gaspillage dû à un excès d'alimentation. Un autre problème est constitué par le temps de réponse inévitable dans la transmission des commandes. Lorsque la quantité d'eau à la tête du canal est accrue, le premier tronçon du canal doit se remplir jusqu'au niveau correspondant à ce débit plus élevé avant que l'eau ne passe dans le tronçon suivant (à travers un dispositif), et ainsi de suite. Inversement, la fermeture de la vanne à la tête du système n'a aucun effet sur le débit dans la partie inférieure du système, tant qu'une certaine quantité d'eau dans tous les tronçons ne s'est pas retirée. C'est pourquoi, dans un système à régulation par l'amont, le partage efficace de l'eau disponible parmi les utilisateurs demande, non seulement des ouvrages hydrauliques qui fonctionnent bien, mais aussi un personnel nombreux et hautement compétent.

Pour régler le débit grâce à la vanne de tête du système, il faut connaître non seulement les niveaux de l'eau à différents points du réseau, mais aussi la quantité d'eau qui sera fournie aux consommateurs et qui est prévue dans le programme de distribution. Ce dernier est généralement établi quotidiennement par le maître de l'eau avec ses aiguadiers. Dans certains pays, la régulation manuelle de service d'irrigation ne va pas plus bas que les vannes d'alimentation des canaux latéraux. Ces derniers transportent l'eau jusqu'aux prises de distribution qui, à leur tour, déversent l'eau "automatiquement" en parts équitables dans les rigoles des exploitations individuelles.

Dans d'autres pays et régions, on préfère les systèmes où ce service contrôle également la régulation des ouvrages de dérivation individuels. Ce système, qui permet une plus grande souplesse et une utilisation plus efficace de l'eau, est indispensable lorsque les taxes pour eau d'irrigation sont calculées à partir du volume ou du taux d'écoulement.

Pour plus de détails, voir l'ouvrage de référence no. 7 cité ci-après.

4. OUVRAGES DE REGULATION ENTRE LA PRISE D'EAU DU CANAL PRINCIPAL ET LES PRISES D'EAU DE DISTRIBUTION

Chaque réseau d'irrigation comporte au départ un ouvrage de prise d'eau qui laisse passer et règle l'eau provenant d'une source d'origine, comme un barrage ou un cours d'eau. Une prise d'eau peut aussi servir à mesurer la quantité d'eau qu'elle laisse passer. Pour un débit sous charge constante, la prise d'eau peut être un type de module ou un autre et peut fonctionner soit manuellement, soit automatiquement (hydro ou électro-mécaniquement).

En général, la dérivation d'un cours d'eau demande la pose sur ce dernier d'un dispositif régulateur ou un simple barrage fixe pour hausser le niveau de l'eau suffisamment et porter celui du canal à son maximum. Très souvent, l'eau qui provient d'un cours non régulé transporte de grandes quantités de sédiments. Alors que les sédiments en suspension ne nuisent guère au réseau proprement dit et sont même bénéfiques aux terres irriguées, il faut éviter que les charriages y pénètrent. Il existe de nombreux modèles de dessableurs, de crèpines et autres dispositifs, mais une solution pleinement satisfaisante est rarement possible; il faut donc prévoir des opérations de nettoyage des canaux.

Dans les très petits systèmes, la prise d'eau à la tête du réseau peut être une simple vanne à glissières placée de façon à dériver le débit voulu. Le canal principal doit être doté d'un évacuateur du type déversoir par lequel l'eau de surplus peut être renvoyée au fleuve. Ceci assure d'une part que le système ne reçoit pas une quantité d'eau supérieure à celle pour laquelle il a été conçu et, d'autre part, élimine la nécessité de devoir fréquemment régler manuellement la vanne de tête. L'évacuateur est généralement placé aussi près que possible de la prise d'eau à la tête du système, mais suffisamment en aval pour être au dessus du niveau maximum du cours d'eau.

L'eau du canal principal d'un système par gravité doit se déverser dans les canaux secondaires et tertiaires. Les ouvrages aux points d'embranchement sont semblables à la prise d'eau de tête. Dans les petits systèmes, on utilise généralement de simples vannes à glissières ou des poutrelles. Il convient de prévoir des dispositifs de régulation, tant pour les canaux principaux que secondaires, tertiaires, etc.

Les ouvrages les plus importants dans les canaux de distribution sont sans doute ceux qui servent à régler le niveau de l'eau du canal, de sorte que toutes les prises d'eau de distribution et autres ouvrages de dérivation puissent fonctionner avec des niveaux d'eau à peu près égaux et à peu près constants. Ces ouvrages sont généralement du type déversoir, parmi lesquels les plus simples sont des poutrelles ou des doubles vannes à glissières et des vannes à segment qui fonctionnent toutes deux manuellement. Des vannes automatiques, comme la vanne à niveau amont constant Neyrpic sont aussi couramment employées dans les projets d'irrigation. Le déversoir à longue crête, ou crête en bec de canard est encore plus répandu pour la régulation automatique des niveaux, du fait qu'il est peu coûteux et d'un fonctionnement sûr. Ces déversoirs sont généralement conçus de telle façon que la profondeur de l'eau qui franchit la crête ne dépasse pas huit cm.

Chaque dispositif règle le niveau de l'eau d'un tronçon amont. La longueur de ces tronçons est limitée par la marge de niveaux admissibles aux points de vidange pour une gamme de débits déterminée. Outre cette limite, il convient de peser le coût des remblais (et du revêtement) supplémentaires et celui d'un plus grand nombre de petits ouvrages, afin d'arriver à la solution la plus économique. Les ouvrages de vidange doivent être situés aussi près que possible des régulateurs.

Il se peut que pour des raisons d'ordre pratique, juridique ou autre il faille partager l'écoulement disponible en plusieurs fractions pré-établies pour desservir plusieurs zones d'un même projet d'irrigation. Il se peut aussi que ces fractions doivent rester constantes sur une vaste gamme de variations de débit et (ou) de niveau. Le moyen le plus simple pour diviser l'écoulement est un déversoir à longue crête et de faible hauteur, disposé perpendiculairement à l'écoulement. La crête est divisée dans les proportions voulues par un ou plusieurs murs de séparation. Ces derniers peuvent être en béton ou en tôle et doivent avoir une hauteur supérieure au niveau le plus élevé de l'eau en amont. Les écoulements ainsi divisés se déversent dans les canaux séparés. Pour d'autres détails d'ordre conceptuel, voir les références no. 3 et 7.

Les chutes sont des ouvrages de régulation placés à distances appropriées dans les canaux qui demandent une pente plus douce que celle du terrain adjacent afin de ralentir la vitesse de l'eau et prévenir les érosions. Elles servent également à dissiper en sûreté l'énergie de surplus.

Pour les canaux qui n'irriguent pas directement une superficie, on choisit l'emplacement des chutes en tenant compte du coût total des ouvrages et du canal. Pour les canaux de distribution (i.e., ceux qui alimentent directement les prises d'eau de distribution), les chutes sont disposées de façon à pouvoir desservir la superficie commandée sans devoir construire des remblais trop élevés. Aux fins d'économie et de meilleure régulation, il convient d'étudier la possibilité de combiner une chute avec une prise d'eau, un régulateur, un ouvrage de dérivation, un dispositif de mesure, un pont, etc. Les chutes sont généralement dotées d'un mur de faible hauteur, d'une bosse ou d'une contre-vanne en amont pour prévenir l'écoulement en nappe du flux de l'eau. Les chutes peuvent être verticales, inclinées et en conduite.

Le choix entre une chute verticale et une chute inclinée repose essentiellement sur la réduction de niveau désirée. Cette réduction, ainsi que la dissipation de l'énergie, peuvent être obtenue moyennant une seule chute ou plusieurs petites chutes, selon les matériaux et la main-d'oeuvre disponibles et le coût de construction total.

Les chutes verticales sont généralement adoptées pour obtenir des réductions de niveau de moins de 1 mètre. Pour les canaux revêtus en surface dure, des charges ne dépassant pas deux mètres sont admissibles; pour des charges supérieures, on a recours aux chutes inclinées, dans lesquelles la dissipation de l'énergie s'effectue en général par la création d'un ressaut au pied de la chute, complété par des blocs de dissipation. Les chutes inclinées sont fréquemment conçues pour servir de conduits jaugeurs (exemple: le "Indian standing wave flume").

La chute en conduite est en général la plus économique et la plus pratique lorsque l'emplacement de l'ouvrage coïncide avec une route ou autre voie qui traverse le canal; elle est normalement dotée d'une contre-vanne à l'entrée. Les deux principaux types de chute en conduite sont: la chute en puits et la chute inclinée. Leur utilisation dépend de la topographie, des conditions pédologiques et, surtout, du coût de leur construction. Dans la chute en puits, la plus grande partie de l'énergie se dissipe dans la partie inférieure du puits, alors que dans la chute inclinée, la dissipation se produit grâce à la formation d'un ressaut soit dans la conduite même, soit en aval de l'orifice d'écoulement, selon la conception de l'ouvrage, la vitesse de l'eau et le rapport entre le débit et les caractéristiques de la conduite.

De nombreuses versions de chutes sont décrites dans les manuels techniques; l'auteur recommande en particulier les références no. 1 et 7.

5. OUVRAGES DE CROISEMENT DE COURS D'EAU ET DE SURETE

Lorsque l'eau de drainage doit traverser un canal d'irrigation on se sert généralement d'un ponceau. Parmi les ponceaux de différentes formes et matériaux, les plus courants sont: un ou plusieurs tuyaux en béton et des conduits rectangulaires de béton monolithiques. Pour transporter l'eau de drainage à travers le canal il faut prévoir un espace suffisant entre l'ouvrage de croisement et la surface du canal sans créer une profondeur excessive de l'eau en amont du canal. Pour les petits débits, on peut se servir de tuyaux en acier ou de conduits de béton à ciel ouvert. En général, l'eau de drainage ne doit pas pénétrer dans les réseaux d'irrigation pour ne pas entraver la régulation des débits et éviter l'apport de sédiments et de débris.

Dans les réseaux à régulation par l'amont, il se produit parfois un excès d'écoulement dans la partie en aval du système. Pour éviter le débordement des remblais et les dommages qui en résulteraient, les canaux en aval doivent être dotés d'ouvrages (généralement un déversoir) pour décharger l'eau de surplus dans un coursier de drainage. Les déversoirs peuvent avoir un ouvrage de décharge pour vider le canal.

6. PRISES D'EAU DE DISTRIBUTION OU DERIVATIONS

Une prise d'eau de distribution intéresse tant l'aiguadier représentant le service d'irrigation que l'utilisateur. Il est donc logique que la conception et le fonctionnement de ce type d'ouvrage doivent satisfaire les exigences de l'un et de l'autre dans la mesure du possible. D'une part, l'agriculteur veut être sûr de recevoir ponctuellement la part d'eau qui lui revient et, d'autre part, l'aiguadier veut compter sur l'efficacité de l'ouvrage pour régler le débit et mesurer l'eau qu'il décharge.

La disposition des prises d'eau de distribution dépend en grande partie du type de système de distribution adopté. Dans les systèmes par rotation entre les exploitations individuelles, les prises d'eau doivent avoir des dispositifs d'arrêt efficaces. Dans le cas de la distribution par rotation entre les canaux latéraux, où chaque canal latéral dessert un certain nombre d'exploitations en même temps, ces dernières peuvent être alimentées à l'aide de tuyaux ou de conduits libres.

Lorsque l'eau est fournie sur une base volumétrique, on utilise des prises d'eau modulaires. Ces dernières sont pratiquement indépendantes des niveaux, tant en amont qu'en aval, mais exigent la régulation précise du niveau de l'eau du canal d'alimentation. Parmi les prises modulaires, il convient de citer les prises d'eau à orifice sous charge constante (comme par exemple les modules Neyrho) lorsqu'une charge suffisante est disponible, et les débitmètres à diaphragme. Lorsque la charge doit rester faible, la "Parshall", la "Cut-throat" ou autres conduits calibrés du même type sont appropriés.

Les prises d'eau semi-modulaires sont indépendantes du niveau de l'eau en aval, tant qu'une charge effective minimum est disponible, mais dépendent du niveau de l'eau dans le canal d'alimentation. Lorsque l'eau est débitée sur une base volumétrique, les semi-modules doivent être munis d'un dispositif auxiliaire comme un déversoir triangulaire, un conduit ou un compteur à hélice. Les semi-modules servent généralement à répartir plus ou moins équitablement et dans la limite de leur portée, les variations qui se produisent dans le canal d'alimentation. Dans la plupart des cas, ce sont des tuyaux dotés d'une vanne ou d'un déversoir réglable en aval. Il n'est pas nécessaire de mesurer l'eau qui s'écoule à travers les prises d'eau dans les systèmes où elle est distribuée en fonction de la superficie. Divers types d'orifices semi-modulaires ont été conçus pour ce genre de système.

Dans les prises d'eau non-modulaires le débit dépend de la différence entre le niveau de l'eau dans le canal principal et celui dans le canal latéral. Il est évident que ce type de prise d'eau est difficile à régler et sujet à des altérations par les utilisateurs. C'est pourquoi il est recommandé de les éviter, sauf dans les cas où la charge effective disponible est si faible que les types modulaires ou semi-modulaires ne peuvent pas être employés.

7. DISPOSITIFS DE MESURE D'EAU

Dans la plupart des cas, on mesure l'eau dans les systèmes d'irrigation pour augmenter l'efficacité de l'utilisation d'une quantité d'eau disponible. Ceci sous-entend également une exploitation adéquate du réseau et une distribution équitable, ainsi qu'une utilisation efficace de l'eau au niveau de l'exploitation; cette mesure permet aussi de régler les litiges éventuels et de calculer les taxes pour eau d'irrigation.

En général, il faut prévoir des dispositifs de mesure pour les prises d'eau principales, les ouvrages de dérivations des canaux latéraux et, comme nous l'avons déjà signalé, les prises d'eau de distribution. En outre, au niveau de l'exploitation, des dispositifs portatifs pour mesurer l'eau peuvent être fort utiles.

Tout obstacle qui rétrécit partiellement l'écoulement peut servir de dispositif de mesure, pourvu qu'il puisse être calibré. Toutefois, le calibrage nécessaire pour établir une courbe de débits est coûteux et demande beaucoup de temps. Ils ne valent donc la peine que lorsqu'ils sont utilisés en grand nombre ou lorsqu'il s'agit de grands ouvrages non traités dans le cadre de la présente étude. Pour les débits de moins de 1 000 l/s, il est presque toujours préférable d'utiliser des dispositifs courants ou des courbes de débit déjà établies.

Le déversoir constitue le dispositif le plus pratique et le plus économique, pourvu que la charge effective disponible soit suffisante. Parmi les déversoirs employés couramment pour mesurer l'eau, il convient de citer: le déversoir à mince paroi, rectangulaire ou trapézoïdal, le déversoir triangulaire et, moins souvent, le déversoir "Romijn".

Le conduit jaugeur est employé couramment et peut être utilisé dans presque toutes les conditions d'écoulement. Il présente les avantages suivants: pertes de charge minimum; degré de précision acceptable sur une grande variation de débit; insensibilité à la vitesse du flux d'eau; et insensibilité aux effets des sédiments et des débris. Les conduits jaugeurs les plus courants sont décrits dans la plupart des manuels techniques. Le modèle le plus récent est le "Cutthroat" qui présente plusieurs avantages par rapport aux modèles plus anciens, comme le "Parshall" ou le "Venturi". Pour plus de détails à ce sujet, voir la référence no. 8.

La prise d'eau à orifice sous charge constante est un dispositif mixte pour régler l'eau et mesurer le débit grâce à deux orifices d'écoulement submergés. Cet ouvrage, dont l'utilisation est très répandue, se trouve couramment en plusieurs grandeurs et sert, soit de prise d'eau, soit d'ouvrage de dérivation.

Le compteur à hélice présente des avantages dans le cas des systèmes qui ne permettent pas de pertes de charge pour les mesures de l'eau et où celle-ci est vendue sur une base volumétrique. Pour plus de détails, voir les références 1, 4 et 7.

8. OUVRAGES D'IRRIGATION AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION

Le bon fonctionnement d'un réseau d'irrigation au niveau de l'exploitation, et en particulier d'une grande exploitation, exige un certain nombre d'ouvrages plus ou moins du même type que ceux qui se trouvent dans la partie du projet contrôlée par le service d'irrigation. Bien entendu, leur capacité est moindre et les matériaux employés pour leur construction ne sont pas aussi durables. De plus, ils sont souvent du type portatif. Une description plus détaillée de ces ouvrages dépasserait la portée de la présente étude. Néanmoins, il convient de souligner que le succès d'un projet d'irrigation dépend en grande partie de l'aménagement efficace de l'eau au niveau de l'exploitation, où la disposition et la construction du réseau sont au moins aussi importantes que celles du projet. Pour plus de détails, voir les références no. 5 et 7.

9. QUELQUES REMARQUES SUR LE REVÊTEMENT DES CANAUX

Même pour les petits projets d'irrigation, il faut toujours examiner avec soin la question du revêtement des canaux.

Presque tous les matériaux ou combinaisons de matériaux ont été essayés pour le revêtement des canaux d'irrigation aux fins de réduire les pertes d'eau et de minimiser ou éliminer les autres inconvénients des canaux sans revêtement. Il existe dans ce domaine une vaste documentation. Toutefois, quel que soit le projet, ou la remise en état d'un projet, ce sera par des méthodes de raisonnement identiques que l'on parviendra à décider si les canaux, ou une partie des canaux doivent être revêtus ou non. Il est presque toujours valable d'entreprendre des études et des évaluations à ce sujet, et les efforts et dépenses qu'elles entraînent sont plus que bien fondés si l'on considère les dépenses inutiles encourues par le revêtement des canaux lorsqu'il n'est pas justifié et, inversement, les avantages considérables que l'on perd lorsqu'il se justifie et que l'on n'y recourt pas.

Dans une analyse préliminaire, il suffit de tenir compte des avantages tangibles. C'est-à-dire d'évaluer avec circonspection la quantité d'eau qui pourra être épargnée et les économies qui pourront être réalisées sur l'exploitation, l'entretien et la superficie occupée grâce aux dimensions réduites des canaux. Si l'on n'obtient pas un résultat nettement en faveur d'un certain type de revêtement, il faudra en étudier d'autres, en tenant compte cette fois d'avantages beaucoup moins tangibles. Les coûts devront être calculés sur une base annuelle pour refléter la durée de vie économique spécifique et le coût actualisé des différents types de revêtements.

10. OUVRAGES DE REFERENCE RECOMMANDÉS

- (1) Canaux et ouvrages connexes. Département de l'Intérieur, E.U. 1967.
- (2) Pratiques du dimensionnement des canaux d'irrigation dans le monde. Commission Internationale de l'Irrigation et du Drainage. Delhi. 1972.
- (3) Techniques rurales en Afrique. 4 des ouvrages d'un petit réseau d'irrigation. Département des Affaires Etrangères, Gouvernement français. 1970.
- (4) Manuel de jaugeage. USDI Bureau of Reclamation, Denver, Col. E.U. 1967.
- (5) Guide pour les conseillers en irrigation. USDI Bureau of Reclamation, Washington D.C. 1951.
- (6) Revêtement des canaux d'irrigation. Kraatz, D. Bulletin d'irrigation et de drainage No. 16, FAO. 1971.
- (7) Petits ouvrages d'hydraulique. Kraatz, D. et Mahajan, I.K. Bulletin d'irrigation et de drainage No. 26/2, FAO. 1974.
- (8) Installation et utilisation des venturi pour la gestion des eaux. Skogerboe, G.V. et al. Université de Colorado, Fort Collins, Col. E.U. 1972.

V.2. L'EAU ET LA SANTE DE L'HOMME, par Dr. F. MARTIN-SAMOS

RESUME

Dans sa communication, l'auteur expose l'urgence de la nécessité et le rôle de l'eau dans l'organisme humain - son importance dans et pour la vie.

Il développe le thème de l'eau en tant que vecteur de maladies et les problèmes de contamination et de pollution. Il traite du sujet de la "mise en contact" de l'homme avec l'agent pathogène pouvant intervenir selon différents mécanismes. Ceux-ci sont étudiés en détail. Il définit enfin une stratégie de lutte contre les maladies transmissibles par l'eau.

* * * * *

Tous les processus biologiques se réalisent dans un milieu aqueux et la vie même peut être considérée comme une réaction des éléments dans une matrice aqueuse.

On pourrait établir un parallèle entre l'eau dans notre planète et l'eau dans notre organisme. Dans tous les deux, l'eau est le composant principal: l'eau est aliment, milieu de vie, et le véhicule des déchets. L'eau est une nécessité physiologique. Elle est nécessaire à la vie animale aussi bien aux grands mammifères qu'aux petits oiseaux et aux bactéries microscopiques. Elle est essentielle à la croissance de végétaux et nécessaire au développement agricole et industriel. Puisque toute la vie dépend de l'eau, elle s'organise en fonction de ce besoin.

En tant qu'élément de l'environnement humain, l'eau se rencontre principalement sous quatre formes: eaux souterraines, eaux douces de surface, vapeurs atmosphériques et eau de mer.

En tant qu'élément d'utilisation, l'eau est utilisée pour l'alimentation, pour l'hygiène, à des fins agricoles, pastorales, industrielles et récréatives.

Depuis toujours, l'homme a utilisé l'eau. Il la prenait telle qu'il la trouvait.

Avec le progrès scientifique de toutes sortes, l'homme a appris, d'une part, à la rendre plus saine et d'autre part, à la polluer. D'autres peuples moins favorisés continuent, encore aujourd'hui, d'accepter l'eau telle qu'ils la trouvent.

L'humanité a pris conscience depuis relativement peu de temps du rôle que l'eau joue dans la transmission de maladies infectieuses. Un effrayant ensemble d'agents qui peuvent se trouver dans l'eau ou en relation avec elle menace les individus et les attaque lorsque l'occasion se présente.

Les progrès d'assainissement dans le monde et les progrès d'amélioration de la santé publique ont été associés aux possibilités d'approvisionnement en eau; plus l'eau est abondante et meilleure est sa qualité, plus rapide et complète a été l'amélioration de la santé publique. Les populations qui disposent d'eau facilement accessible ont tendance à l'utiliser abondamment ce qui favorise la propreté individuelle.

L'eau est le véhicule idéal pour éliminer les substances qui peuvent pénétrer ou rester en contact avec le corps, et emporter les détritiques de toutes sortes. C'est le solvant le meilleur pour éliminer les souillures sur les personnes et dans l'environnement. Les enfants qui frottent leurs yeux avec des doigts sales ne se doutent pas qu'ils peuvent y faire entrer le virus du trachome. Si on leur donne la possibilité et l'habitude de se laver les mains, le trachome au Sahel cessera d'être un problème. Le nettoyage des objets d'usage courant, des maisons et d'établissements publics éloignera aussi les possibilités des maladies transmissibles.

Le problème de l'eau se présente de bien différentes manières dans les pays d'après les conditions climatiques et le degré du développement car la consommation d'eau, tant pour l'hygiène que pour l'agriculture et l'industrie, croît avec le standard de vie.

Théoriquement, l'homme peut subsister en n'utilisant que 5 litres d'eau par jour ou même moins. Les populations nomades se contentent de cette quantité minime et encore moins pendant des longues périodes. On doit cependant compter une moyenne de 40 à 50 litres par jour pour l'hygiène personnelle et domestique, et davantage encore lorsque l'homme vit dans un milieu plus complexe où il pratique l'élevage et l'agriculture; c'est ainsi que l'habitant d'un village doit disposer d'au moins 100 litres. On peut arriver à consommer 400 à 500 litres par personne et par jour chez les pays industrialisés ou dans les régions de cultures irriguées.

L'eau dans l'organisme

L'eau est une nécessité impérieuse pour l'homme. L'urgence de sa nécessité chez les êtres humains seulement est dépassée par leur nécessité en oxygène. Ainsi l'absence d'eau dans la diète ne permet pas la vie au-delà de deux jours. Il doit en consommer une moyenne de 2 600 centimètres cubes par jour.

On peut perdre les 40 % de son poids corporel, tout le glicogène, toute la graisse, la moitié des protéines et survivre encore; mais la perte de 10 % d'eau corporelle est cause de graves conséquences et la perte de 20 % ou 22 % occasionnera la mort.

De là que beaucoup d'hommes soient obligés d'accepter l'eau telle qu'ils la trouvent. Nous avons eu de très clairs exemples pendant nos séjours au Sahel.

L'eau est un composant de la structure des cellules et fournit le milieu dans lequel se réalisent les échanges intercellulaires.

L'eau est le véhicule par lequel sont apportés aux cellules les différents éléments nutritifs et sont éliminés les produits de déchets de leur métabolisme.

L'eau est spécialement adéquate pour ces fonctions grâce à son action dissolvante sur la plupart des substances, sa très haute constance diélectrique et son efficacité comme milieu d'ionisation.

Une autre fonction importante de l'eau est son rôle dans la régulation de la température corporelle; cette fonction repose sur la capacité calorifique, sa très haute conductibilité thermique et sa capacité d'évaporation.

Les principales sources d'eau pour l'organisme humain sont les boissons que nous prenons telles et les aliments solides; on peut aussi obtenir une certaine quantité d'eau par l'oxydation des aliments et les tissus organiques.

Absorption d'eau: en moyenne 2 600 cc, dont:

- eau ingérée sous forme des boissons	1 300 cc
- eau contenue dans les aliments solides	1 000 cc
- eau métabolique provenant des oxydations dans l'organisme	<u>300 cc</u>
Total	2 600 cc

L'eau bue passe rapidement dans le tube digestif. Une quantité insignifiante ou nulle est absorbée par l'estomac, la totalité est absorbée tout le long de l'intestin.

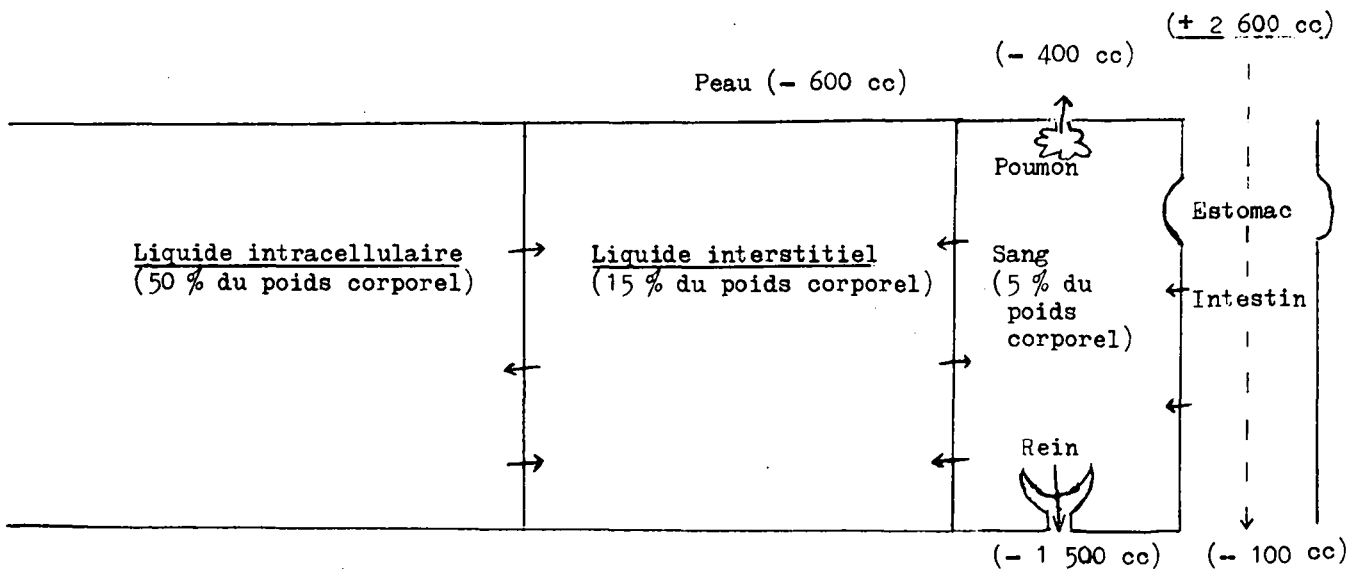
L'eau dans l'organisme humain représente chez l'adulte 70 % du poids corporel. Chez l'enfant, 80 %. Elle est distribuée comme suit:

- 5 % sous forme de plasma sanguin, lymphe, etc.
- 15 % de liquide interstitiel, et
- 50 % à l'intérieur des cellules

La plus grande partie de l'eau absorbée est incorporée au courant sanguin. Une autre partie passe directement dans la lymphe à travers les villosités intestinales. L'eau est rapidement distribuée par le système vasculaire au liquide interstitiel.

Les conditions physico-chimiques de l'organisme sont maintenues dans des oscillations très étroites de variabilité par l'intégration de nombreux processus physiologiques, chargés de l'apport de matériel nutritif et de l'excrétion de produits de déchets, et l'équilibre entre toutes les réactions chimiques, à travers lesquelles s'effectuent les échanges de matériel métabolique entre les cellules et le liquide extracellulaire du corps.

Dans tous ces échanges, il est indispensable de maintenir relativement fixe le volume d'eau du compartiment intercellulaire (50 %) et du compartiment vasculaire (5 %). C'est le compartiment interstitiel (15 %) qui change le plus et qui joue le rôle de dépôt de l'organisme pour maintenir la stabilité des deux autres compartiments. Nous pouvons voir, tout de suite, la vulnérabilité du manque d'eau de l'organisme humain, car il ne dispose que du 15 % de liquide de dépôt pour alimenter les 55 % de liquide nécessaire aux deux autres compartiments, pendant les périodes de flux et de reflux auxquelles le corps humain peut être soumis.



La constance du contenu aqueux des deux compartiments vasculaires et intracellulaires est dépendant, dans un haut degré, de protéines que fonctionnent en état colloïdale dans ces compartiments; tandis que la variabilité du contenu aqueux du compartiment interstitiel est associée de façon inextricable avec les échanges des électrolytes: chlorure sodique et potassique principalement.

Normalement, la concentration des électrolytes dans les compartiments aqueux oscille entre des limites très étroites; si le corps humain se voit soumis à des conditions anormales dues à l'ambiance ou à la maladie, des changements de concentrations se produisent dans le liquide interstitiel, lesquels rendront possible le maintien d'une constance dans les autres compartiments. De là aussi les besoins des sels pour l'organisme humain.

Dans ses fonctions de véhicule de déchets de l'organisme, l'eau consommée est éliminée, dans des conditions normales, comme suit:

a) Evaporation (pertes insensibles)	
- poumons (respiration).....	400 cc
- peau (transpiration).....	600 cc
b) Urines.....	1 500 cc
c) Selles.....	<u>100 cc</u>
Total.....	2 600 cc

que nous avons plus haut dit nécessaire d'absorber par l'homme dans des conditions normales.

De ces voies d'excrétion seul le rein est en relation avec le maintien du volume et composition chimique adéquat des liquides organiques. Les autres organes (poumons, peau et appareil digestif) éliminent les quantités requises pour leurs propres fonctions spécialisées et épuisent très souvent jusqu'à de graves extrêmes, les réserves des liquides et des électrolytes, comme c'est le cas de sudations, vomissements et diarrhées extrêmes, ainsi que dans les cas d'augmentation de la fréquence respiratoire dans les maladies fébriles aiguës.

Le rein est chargé d'éliminer l'excès d'eau et les produits cataboliques accumulés; il est aussi chargé de conserver l'équilibre adéquat de liquides et électrolytes dans l'organisme. Pour réaliser sa fonction, le rein est capable d'élaborer une solution avec une pression osmotique supérieure à celle du milieu interne. On calcule que chez l'adulte passent 1 250 cc du sang total par les reins par minute, et qu'ils filtrent 125 cc par minute. Néanmoins, les 99 % de cette filtration sont réabsorbés dans le tubulus rénale et seulement 1 % arrive à la vessie urinaire.

Si bien le rein est capable de concentrer son excrétion à un degré notable, il doit néanmoins excréter une quantité minimale d'eau avec les produits de désintégration. Chez l'adulte, cette quantité serait de 600 cc chaque 24 heures. Cette quantité serait puisée dans le corps même au détriment des tissus organiques.

On entend par pertes minimales obligatoires la quantité de liquide qu'un homme au repos, et à une température normale (sudation non visible), perd par différentes voies malgré la suppression de toute absorption de liquides. On évalue ces pertes à 1 500 cc par 24 heures, dont 900 cc sous forme de "pertes insensibles" (transpiration, respiration) et 600 cc d'urine, nécessaire pour éliminer les déchets du métabolisme.

Un sujet à jeun complet, doit recevoir au moins 1 500 cc de liquide pour remplacer ses pertes minimales obligatoires et cette quantité n'est suffisante que si sa fonction rénale est bonne et s'il n'y a pas d'autres circonstances qui augmenterait leurs pertes, comme:

- température extérieure (une transpiration visible signifie qu'un, deux ou plusieurs litres par jour sont perdus par voie souscutanée)
- activité physique (augmente les pertes insensibles qu'en cas de lourds travaux sous la chaleur, pouvant atteindre 10 litres par 24 h.)
- fièvre (elle augmente les pertes insensibles surtout si elle cause une transpiration et aussi, par l'augmentation de la fréquence respiratoire qui fait que l'évaporation par la respiration est plus grande).
- en outre, les pertes insensibles sont proportionnelles au poids corporel et aux calories absorbées. On a besoin de 3 grammes d'eau pour chaque gramme de protéines retenues et pour chaque gramme de glucose emmagasiné.

Le fait que chez les nourrissons le pourcentage d'eau dans l'organisme est plus élevé que chez les adultes (80 % pour le nourrisson et 70 % pour l'adulte) explique pourquoi leur besoin en eau est plus grand que chez l'adulte; mais ces besoins sont plus importants encore parce que le métabolisme de l'enfant est plus actif que chez l'adulte, et l'ingestion relativement plus grande des aliments et minéraux ont besoin d'une quantité plus grande d'eau. La quantité d'eau réellement retenue chez les enfants varie entre 0,5 et 3 % de l'apport d'eau, en accord avec la vitesse de croissance.

Le symptôme caractéristique du manque d'eau est la soif. Les enfants spécialement les nourrissons ont tendance à présenter la fièvre comme conséquence d'une déshydratation même légère.

Si l'homme et l'enfant reçoivent la quantité nécessaire d'eau, la soif s'éteint chez l'adulte et la fièvre disparaît chez l'enfant. C'est le signe évident que l'équilibre d'eau dans l'organisme est rétabli.

Si l'homme et l'enfant ne reçoivent pas la quantité nécessaire, les compartiments vasculaires et intracellulaires absorbent l'eau du compartiment interstitiel qui diminue de volume, et l'organisme diminue aussi de volume en maigrissant.

La même chose arrive si l'homme et l'enfant reçoivent l'eau nécessaire mais, par des maladies diarrhéiques, par exemple, ou par sudation excessive, perdent plus d'eau qu'ils ingèrent.

L'eau est nécessaire pour maintenir la vie et l'équilibre hydrique sans lequel l'homme périrait.

Il faut boire. Boire! Boire n'importe quelle sorte d'eau pour maintenir la vie.

Mais si cette eau n'est pas saine, le maintien de la vie n'est qu'un retard de la mort. Il faut fournir aux hommes, partout où ils se trouvent, de l'eau saine. L'eau saine qui peut être définie comme "celle dont la consommation ne produit aucun effet nuisible".

L'eau et la maladie

Fair et Geyer décrivent l'eau saine comme:

- n'étant pas contaminée, donc incapable d'infecter quiconque en consomme d'une maladie à transport hydrique
- exempte de substances toxiques
- exempte de quantités excessives de matières minérales et organiques

De nombreux éléments peuvent contaminer l'homme du fait de l'utilisation d'eau: les parasites qui vivent sur ou dans d'autres organismes vivants et s'en nourrissent. Certains utilisent l'eau comme habitat, tandis que d'autres n'ont besoin d'elle que pour fermer leur cycle vital ou comme véhicule.

L'eau consommée par l'homme peut contenir aussi une grande quantité de matières chimiques. Certains éléments chimiques qui peuvent se trouver dans l'eau, comme l'arsenic, le plomb, le chrome, le selenium, le cadmium, ne sont pas bénéfiques et à certaines doses, peuvent causer des intoxications; d'autres: cuivre, fer, zinc, peuvent être métabolisés et favorisent les besoins nutritionnels normaux.

Les agents pathogènes qui peuvent se trouver dans l'eau sont de nature très variés:

- bactéries:

- vibrio cholerae (y compris le biotype El Tor)
- shigellas
- salmonellas (typhi paratyphi A, B, C) et autres types
- proteus
- types enteropathogènes d'escherichia coli
- leptospiras
- pasteurellas (brucella ou francisella) tularensi

- helminthes:

- dracunculus medinensis, ver de Guinée filaire de Medina
- schistosomes (hematobium, mansoni, japonisum, intercalatum, bovis etc.)
- trematodes, douves ou distomas, fasciola hepatica
- echinococcus granulosus
- ankylostome doudenalis
- enterobius vermicularis
- strangiloides stercolaris

- protozoaires:

- entamoeba histolytica
- lamblia intestinalis
- trichomona intestinalis

- virus:

- virus de l'hépatite infectieuse
- enterovirus (poliovirus, virus coxackie et virus echo)
- adenovirus
- reovirus

- corps chimiques:

- cyanures
- fluorures
- arsenic
- nitrates
- iode, etc.

Tous ces éléments qui rendent l'eau nuisible pour l'organisme humain peuvent se trouver en elle par:

- contamination, due aux excréments fécaux ou urinaires d'origine humaine ou animale, de malades ou de porteurs de germes (sujets présentant une atteinte bénigne ou asymptomatique qui n'a pas été reconnue ou identifiée ou des malades guéris qui continuent à héberger l'agent infectant sans en être incommodés)
- pollution, imputable à des eaux usées provenant de: l'eau de ruissellement de villes et de villages, déchets liquides d'utilisation ménagère, effluents agricoles provenant des eaux d'irrigation (utilisation des engrais, fongicides, herbicides, pesticides et insecticides), déchets industriels et même la pollution due à la constitution chimique du terrain que l'eau traverse.

Ces contaminations et pollutions peuvent se produire à proximité des zones de captage aussi bien que survenir durant le transport entre le point de captage de l'eau et le consommateur.

Cependant, même si l'eau est contaminée ou polluée, la maladie ne se présentera pas tant qu'il n'y aura pas de contact et pénétration du germe ou de l'agent chimique avec l'organisme. Cette pénétration se fait par:

- voie digestive (par ingestion)
- voie transcutanée (à travers la peau)
- voie aérienne (par la respiration)

Dans cette "mise en contact" de l'homme avec l'agent pathogène, l'eau peut intervenir par les mécanismes suivants:

1. En véhiculant directement l'agent pathogène:

a) Quand il s'agit des organismes vivants:

Lors de l'utilisation de l'eau pour la boisson, ou pour le lavage ou refroidissement des aliments, les germes pathogènes entrent dans l'organisme humain par ingestion. Si l'on absorbe une quantité suffisante de germes pathogènes pour faire "craquer" les défenses, la maladie se produira. Il semble qu'il est nécessaire d'ingérer 10^3 ou 10^4 de bactéries pour avoir une infection par ingestion.

Dans certains cas les agents pathogènes sont sensibles à l'acidité du suc gastrique et ils peuvent mourir dans l'estomac sans produire la maladie. Au moment des anémies, malnutrition etc., le suc gastrique peut ne pas être acide et les germes passent dans l'intestin, où ils colonisent et se reproduiront, et même pénétreront dans les tissus et dans le sang, produisant la maladie. Cet homme devient à son tour un foyer de contagion et le cycle recommence. C'est le cas des maladies suivantes:

- maladies produites par des bactéries:

- choléra
- dysenterie bacillaire
- fièvre typhoïde et paratyphoïde
- gastroentérites et enterocolites
- diarrhées diverses
- leptospiroses
- tularémie

- maladies produites par helminthes:

- equinococose - kyste hydatidique (rarement)
- oxyurases
- schistosomiase intestinale (S. Intercalatum)

- maladies produites par protozoaires:

- dysenterie amibienne, amibiase
- lambliaise (enterocolites)
- trichomoniasis (enterocolites)

- maladies produites par virus:

- polyomyélite
- hépatite infectieuse
- autres viroses

b) Ankylostomiase. L'homme peut aussi être infesté d'ankylostomiase en pataugeant, sans la protection adéquate des pieds ou avec les pieds nus, autour des points d'eau, où l'humidité est favorable à la vie de larves d'ankylostome.

Avec des conditions favorables (température élevée et humidité) l'oeuf d'ankylostome mûrit et donne naissance à une larve qui, après une transformation, devient larve infectante.

La contamination se fait par voie transcutanée. Les larves traversent activement la peau et par voie sanguine ou lymphatique, arrivent au poumon. Par voie aérienne passent des bronches et trachée à la gorge, pénètrent dans le tube digestif et dans le duodénum, arrivent à maturité. La femelle pond des oeufs qui sont expulsés avec les selles.

Les larves infectantes peuvent aussi être ingérés avec des aliments et avec les boissons contaminées.

c) Quand il s'agit des corps chimiques:

Le résultat pour l'organisme, lors de l'ingestion des corps chimiques, peut être les maladies par intoxication, aiguës ou chroniques, dépendant de la toxicité du corps chimique et de la quantité ingérée.

D'innombrables corps chimiques peuvent polluer l'eau. Les plus courants sont les nitrates, cyanures, arsenic, etc. D'autres constituants de l'eau, comme les fluorures, sont utiles et même indispensables à la santé des faibles concentrations, mais ils deviennent toxiques si on les absorbe en plus grandes doses.

Lorsque la concentration de fluorures dans l'eau est inférieure à 0,5 milligrammes par litre, il est à prévoir que l'incidence de la carie dentaire sera élevée. Si par contre la concentration est beaucoup plus élevée, elle peut être à l'origine d'une fluorose endémique qui risque d'entraîner des lésions osseuses. On a donc recommandé que la teneur de l'eau en fluorures soit maintenue dans des limites très précises.

L'homme peut aussi entrer en contact direct avec les polluants chimiques aquatiques à diverses occasions, par exemple, lors des activités récréatives ou lors de l'utilisation de l'eau pour l'hygiène corporelle. Les risques de ce genre sont moins connus que ceux qui sont liés à l'eau de boissons, et il n'existe pas actuellement des normes pour le contrôle de ce type d'exposition.

Les effets des polluants chimiques peuvent aussi agir directement sur la santé de l'homme en perturbant les éco-systèmes aquatiques ou en s'accumulant dans certains organismes aquatiques servant à l'alimentation humaine. Aujourd'hui, plusieurs de ces polluants atteignent des concentrations si hautes que leur présence constitue un problème majeur de santé publique.

En général, les dangers des pollutions chimiques sont illimités et les polluants très variés.

Je vais vous raconter le cas d'une intoxication aigüe massive, en pleine forêt tropicale, loin de toute activité industrielle, vécue pendant mon séjour à Bolomba, dans la province de l'Equateur, de l'actuel Zaïre.

J'étais dans la salle d'opération. Je faisais une césarienne. Un infirmier est venu m'avertir de l'arrivée à l'hôpital d'un cas de tétanos. Sans sortir j'ai donné des instructions pour commencer le traitement. Quelques secondes plus tard, un autre cas de tétanos est arrivé, et tout de suite, d'autres, et d'autres jusqu'à dépasser une vingtaine.

Dès le troisième cas, la coïncidence m'a semblé bien étrange..... J'ai demandé d'où venaient-ils?. Tous étaient du même village. On n'a pas fait le traitement de tétanos. Je suis sorti de la salle d'opération. Par les symptômes, j'ai pensé à une intoxication par l'acide cyanhydrique. Une enquête rapide et immédiate nous a permis de confirmer le diagnostic. En effet, toutes les personnes atteintes buvaient de l'eau d'un ruisseau, en aval de l'endroit où une grande quantité de manioc fermentait.

Il est bien connu que le tubercule frais du manioc (*manihot esculenta* Crantz) contient 1,66 % de glucoside cyanogénétique et l'acide cyanhydrique lui-même existe dans les organes aériens. Les variétés amères de manioc sont plus riches en acide cyanhydrique.

Cette intoxication était due à l'absorption de cyanure provenant de l'hydrolyse des glucosides cyanogénétiques et de l'acide cyanhydrique lui-même, dissous dans l'eau du ruisseau.

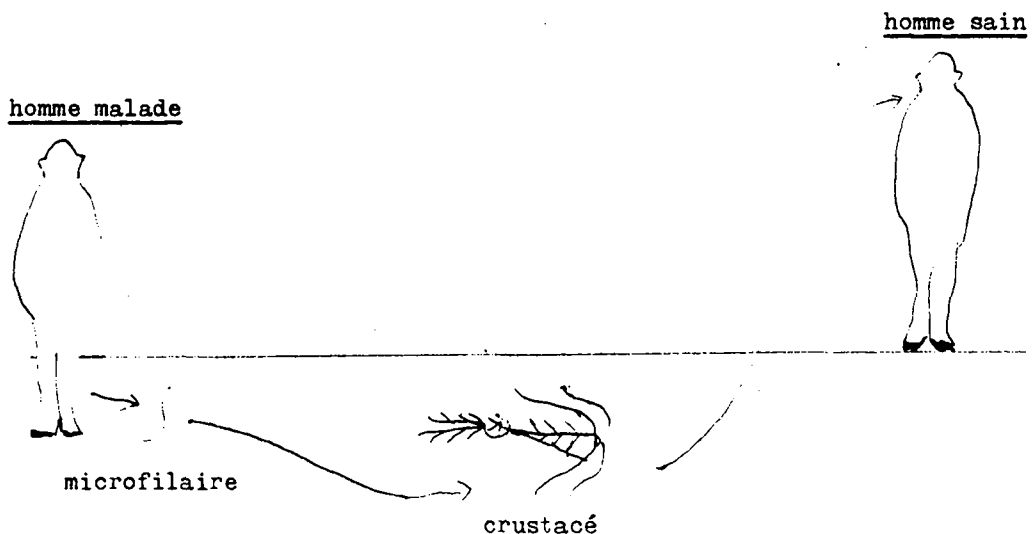
A Bolomba, le traitement avec le nitrite de sodium et thiosulfate de sodium intraveineux a réussi à sauver la totalité des intoxiqués.

En Afrique est connue l'intoxication alimentaire chronique produite par le manioc, comme la "neuropathie ataxique nutritionnelle nigérienne".

2. En contenant l'hôte intermédiaire, pour lequel l'eau est l'environnement immédiat:

- a) L'eau véhicule l'hôte intermédiaire avec lequel l'agent pathogène atteint l'organisme par ingestion:

Exemple: la dracunculose, ver de Guinée, filaire de Medina. L'homme se contamine en buvant de l'eau contenant les crustacés "cyclops", petit dans la limite du microscopique, hôte de la filaire dracunculose. La digestion de ce crustacé libère les larves qui donneront chacune un ver adulte. La femelle émigre vers les régions déclives du corps. Parvenue à maturité (en 9 ou 12 mois) elle gagne la peau, fore un orifice et au contact de l'eau (lors d'une baignade) elle émet ses embryons. Ces microfilaries sont absorbés par un cyclops et nous sommes à nouveau au début de la chaîne.

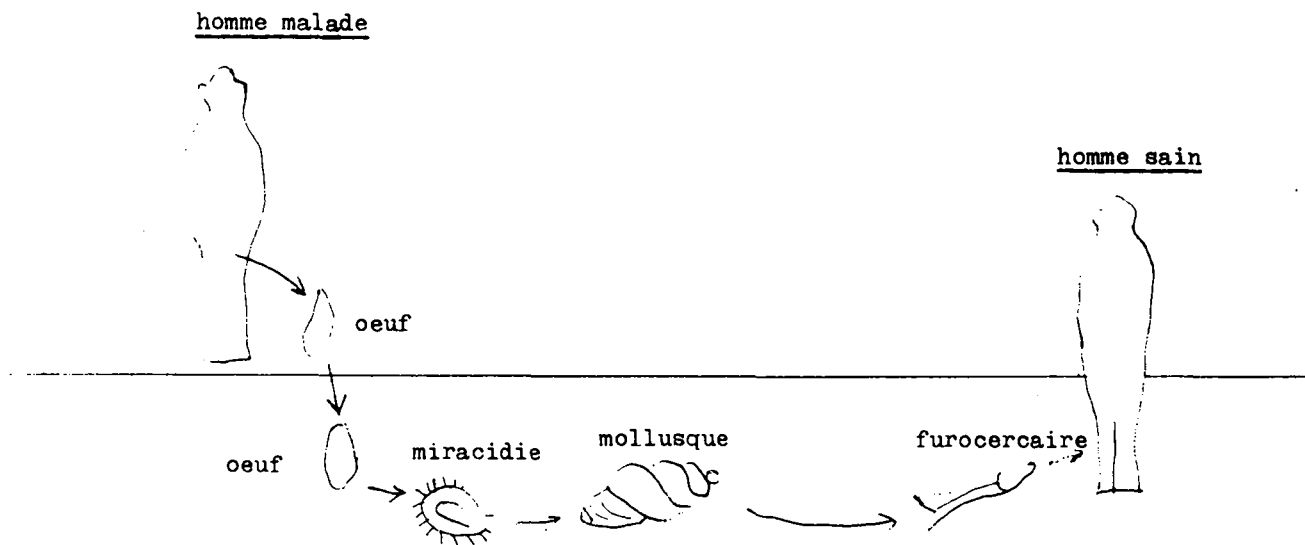


b) L'eau est le milieu vital de l'hôte intermédiaire où le parasite réalise la phase asexuée de son cycle. Les larves atteignent l'organisme:

- par voie transcutanée (schistosoma hematobium, mansoni et japonicum)
- par voie digestive, ingestion (schistosoma intercalatum et distomas)

Les parasitoses à Schistosoma (schistosomiase ou bilharziose) sont très répandues dans le monde et posent un des plus importants problèmes de santé publique dans les pays tropicaux et sous-tropicaux. Comme cause de morbidité, elle n'est probablement surpassée que par la tuberculose et le paludisme. En Haute-Volta, pour une population d'environ six millions, on estime qu'il y a deux millions de parasites, et on peut estimer à 200 millions les individus atteints à travers le monde. L'importance de ce parasitose mérite que nous nous attardions un peu dans la description de la maladie: la bilharziose.

Dans la maladie, les formes adultes parasitent l'homme. Les femelles pondent les oeufs qui sont éliminés avec les selles ou les urines.



C'est au contact de l'eau, qui leur est nécessaire, que les oeufs éclosent et donnent naissance à une larve ciliée ou miracidie, d'existence brève (24 heures au plus). Le miracidie se déplace et s'il rencontre le mollusque qui sera son hôte intermédiaire (bulins pour les schistosoma hematobium, planorbe pour les schistosoma mansoni, onchmelania pour les schistosoma japonicum) pénètre et subit un certain nombre de transformations. Ce stade intermédiaire du parasite dans un mollusque est obligatoire pour la fermeture de son cycle vital.

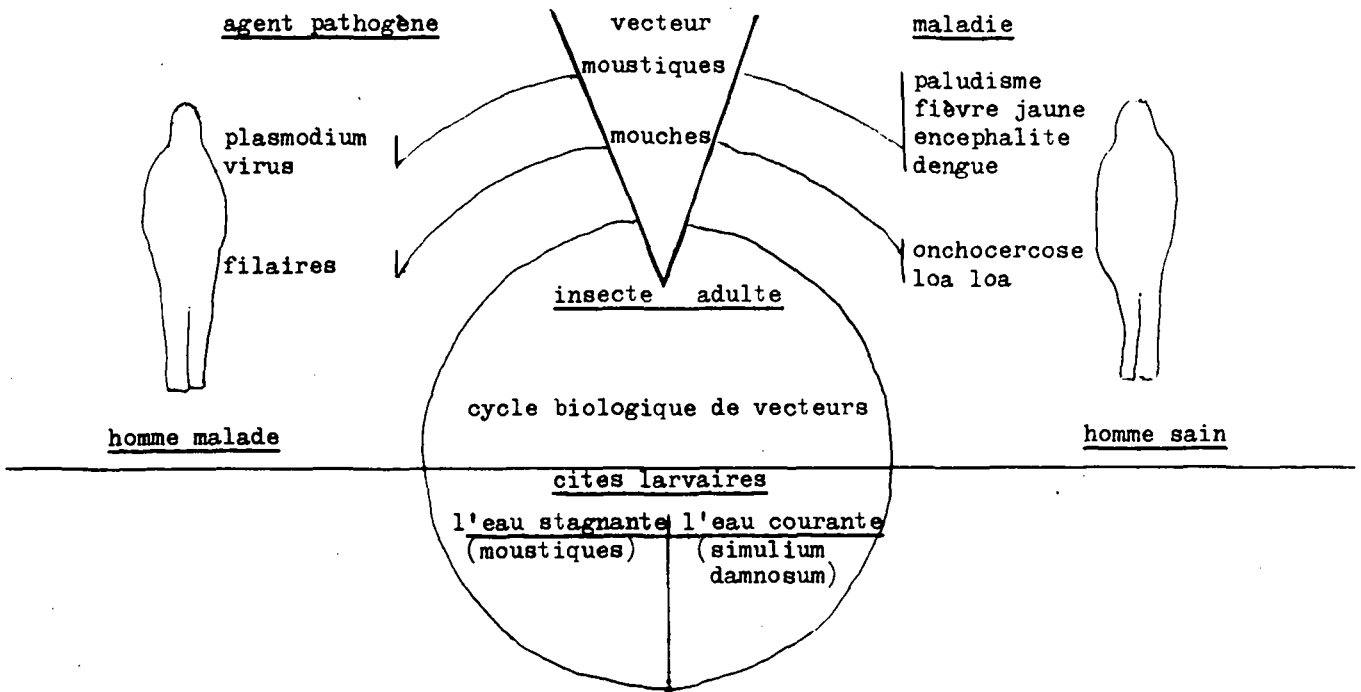
Au bout de trois ou quatre semaines, après s'être reproduit activement et transformé dans son hôte, celui-ci émettra dans l'eau des cercaires.

Cette larve secondaire, à queue bifide ou furcocercaire, circule dans l'eau et peut, en quelques minutes, pénétrer par voie transcutanée, toute partie du corps immergée. En 24 heures, elle passe au système circulatoire et gagne le coeur, passant après au poumon où elle peut demeurer pendant une semaine. Après un nouveau passage par le coeur et par l'intermédiaire de la circulation abdominale et le système veineux, les parasites atteignent le foie, où la maturation s'effectue au bout de deux mois et où ils s'accouplent. Puis parasitent le système porta, occupent la veine mesentrique inférieure et ses troncs d'origine et finalement le plexus veineux du bassin et spécialement les veines vesi-prostatiques et uterines et hémorroïdales - pour le schistosoma hematobium - et les veines hépatiques et spléniques pour les schistosoma mansoni et japonicum.

Une fois en place, les femelles pondent leurs oeufs qui, par effraction, pénètrent dans l'organe creux dont ils sont voisins (intestin ou vessie) et sont éliminés avec les selles ou les urines. Les oeufs éclosent. Nous sommes au début d'une nouvelle chaîne.

3. L'eau participe à la transmission d'autres maladies, étant l'environnement immédiat pendant une phase du cycle biologique de l'insecte vecteur

C'est le cas des maladies transmises par les moustiques et mouches, où l'eau est le milieu de vie de leurs phases larvaires: l'eau stagnante pour les larves de moustiques et l'eau courante pour les larves de mouches (de 50 à 200 cm/s pour les larves du simulium damnosum).



L'insecte vecteur (mouche, moustique) transmet l'agent pathogène d'un sujet infectant à un sujet sensible, par piqure.

Sont transmises par moustique les maladies suivantes:

- Paludisme..... Anopheles gambiae
Anopheles funestus
Anopheles moucheti
- Filarioses..... Anopheles gambiae
(buchereria bancrofti) Culex pipiens fatigans
Aedes et mansonina
- Fièvre jaune..... Aedes aegypti
Aedes simpsoni
- Dengue..... Aedes aegypti
Aedes simpsoni
Aedes africanus
- Fièvre de la Vallée du Rift..... Aedes casabiancae
Aedes africanus
Aedes circumluteolus
- Encephalites..... Culex (plusieurs)

Sont transmises par des mouches:

- Filarioses:

Loa loa..... Chrysops dimidiata
Chrysops silacea

Onchocercoses..... Simulium damnosum

4. L'eau intervient encore, indirectement, dans la transmission des maladies par contact interhumain, surtout dans les zones rurales où les points d'eau sont des points obligés de rassemblement:

- Maladies de transmission directe manuportée: trachome, salmonellose (fièvre typhoïde et paratyphoïde) dysenterie bacillaire, choléra, etc. Le choléra a été manuporté pendant l'épidémie 1970 et 1973 au Sahel.

- Maladies de transmission aérienne: grippe, tuberculose, etc.

L'importance de ces maladies à travers le monde peut être mesurée - bien que les statistiques soient incomplètes - par l'ordre de grandeur des estimations suivantes: plus d'un milliard d'hommes sont exposés au paludisme; dix pour cent de la population mondiale serait infectée d'amibiases; deux cent millions d'hommes souffrent de schistosomiase; un tiers de la population mondiale serait infectée d'ankylostomes; deux cent cinquante millions de filarioses, et ainsi de suite.

En général, l'on peut dire que la prévalence des maladies transmissibles, spécialement les parasitoses, est inversement proportionnelle au niveau de l'assainissement.

Ces maladies peuvent être prévenues et même maîtrisées, en élevant des barrières dans les points spécialement choisis du cycle de transmission.

Stratégie de lutte

En lignes générales, une stratégie de lutte contre les maladies transmissibles par l'eau doit tenir compte des éléments qui y interviennent:

- Agent causal et réservoir (homme ou animal malade ou porteur)
- Moyens de transmission
- Terrain réceptif (homme sain)

et des facteurs qui conditionnent les relations entre ces trois éléments:

- facteurs biologiques
- facteurs écologiques
- facteurs étiologiques

Dans n'importe quelle maladie, des mesures de lutte peuvent être prises sur:

- L'agent causal et réservoir:

- par traitement spécifique des malades et des porteurs asymptomatiques, avec destruction de l'agent causal
- par l'éducation sanitaire, de l'homme pour qu'il sache:
 - utiliser l'eau en bonnes conditions
 - empêcher la contamination à partir de ses excréta et celles des animaux
 - prévenir la pollution par les eaux usées

- Les moyens de transmission

a) au niveau de l'eau-véhicule:

- par l'approvisionnement en eau saine et la prévention de la contamination et de la pollution par des systèmes hygiéniques d'évacuation d'excréta et des eaux usées
- par le traitement des eaux déjà polluées ou contaminées: filtration ébullition, méthodes chimiques ou industrielles, et autres mesures d'après le contexte épidémiologique spécifique.

b) au niveau des hotes intermédiaires, en les éliminant radicalement ou de façon suffisante pour que la transmission soit réduite à un degré tel que le taux d'infections nouvelles soit sensiblement abaissé ou même réduit à zéro:

- par des actions d'agents naturels, y compris les agents biologiques: prédateurs (canard et autres contre les mollusques, poissons larvicides contre les larves de moustiques, etc.)
- par des actions physiques: réduction de gites larvaires et des habitats de mollusques et des crustacés par modifications du milieu ambiant et des conditions écologiques (défrichement, drainage, aménagement des terres, rectifications, transformations des déclivités etc.

- par des actions chimiques: applications de larvicides, de molluscicides, des insecticides contre les insectes adultes, etc.

- Le terrain réceptif, homme sain

- par protection adéquate dans l'habitat et dans l'habillement (moustiquaires, chaussures, etc.)
- par l'augmentation de défenses immunitaires (nutrition adéquate, vaccinations)
- par l'éducation sanitaire, pour stimuler à l'usage des mesures individuelles, domestiques et collectives d'hygiène, pour la prévention de la maladie et la conservation de la santé

Une stratégie logique doit choisir, dans la chaîne de transmission d'une maladie donnée, les points d'actions les plus vulnérables, d'après les connaissances actuelles et devra tenir compte des facteurs suivants:

- Connaissances scientifiques: étio-pathogéniques, pharmacologiques, chimiques, et biologiques, c'est-à-dire, connaissances de l'agent causal et mécanisme de production de la maladie, biologie des agents vecteurs intermédiaires et disponibilité de produits réellement efficaces contre eux. Dans le cas du paludisme, on connaît l'agent causal et on dispose aussi des produits actifs; on peut donc le traiter avec antimalariens (quinine, chloroquine etc.) qui agissent sur le plasmodium. Dans certaines maladies à virus, on ne connaît pas le virus causal et on ne peut pas agir contre lui-même, et on est limité à traiter les symptômes des malades.

La lutte contre les bactéries était très difficile avant l'apparition des sulfamides, bien qu'on connaisse les bactéries depuis longtemps. La lutte chimique contre certains vecteurs, connus depuis toujours, n'a pas été possible avant l'apparition des insecticides. La variole est sur le point de disparaître grâce à la vaccination. Malheureusement, pour beaucoup d'autres maladies, nous ne disposons pas encore de vaccin

- Possibilités techniques et logistiques, c'est-à-dire, disponibilité en personnel qualifié, matériaux, outils, moyens de transports et ravitaillement pour les programmes.

Les matériaux et outils modernes ont permis que les puits creusés manuellement, simple trou dans le sol, foyer de maladies bactériennes et parasitaires, soient transformés en des constructions salubres, stables, qui fournissent en permanence une eau saine.

Le programme de lutte contre l'onchocercose dans le Bassin de la Volta, basé sur la lutte contre les larves du simulium damnosum - par épandages des insecticides - ne pourrait pas atteindre certains gîtes, ni les traiter tous sur une grande étendue et dans un temps donné, si on ne disposait pas des hélicoptères, entre autres moyens

- Rapport coût/efficacité. C'est-à-dire, par l'utilisation rationnelle des moyens disponibles au maximum des résultats pour atteindre les objectifs fixés

Situation créée par la sécheresse au Sahel

Les conséquences générales de la sécheresse qui a sévi pendant cinq ans dans le Sahel se traduisaient principalement par:

- Le manque d'eau par:

- l'abaissement considérable du niveau des nappes phréatiques dû aux déficits pluviométriques entraînant les tarissements précoces de certains puits

- La famine par:

- la diminution des réserves alimentaires locales
- la diminution du rendement des cultures vivrières
- la disparition saisonnière de plus en plus accentuée des pâturages

Dans le domaine de la santé, ces incidences ont été principalement:

- Dues au manque d'eau:

- déshydratation foudroyante chez les enfants
- augmentation des dangers d'infections contagieuses, par hyperconcentration autour des points d'eau raréfiés
- création de conditions favorables à l'explosion d'épidémies latentes ou nouvelles (promiscuité, affaiblissement des résistances et transhumance)

- Dues à la famine:

- carences nutritionnelles
- démantèlement des défenses immunitaires, affaiblissement qui conditionnent eux-mêmes une augmentation de la morbidité et de la mortalité par moindre résistance aux maladies endémiques et aux poussées épidémiques saisonnières

Les mesures prises tout au moins dans leurs grandes lignes, découlent de l'énumération de ce qui précède.

- Fourniture d'eau
- Lutte curative et préventive contre la dénutrition et la malnutrition
- Surveillance épidémiologique, prévention et lutte contre les maladies transmissibles
- Etablissement d'une infrastructure sanitaire renforcée pour pallier la déficience actuelle des moyens dont disposent les services sanitaires pour éviter ces conséquences tant immédiates qu'à moyen et long terme.

Toute action technique pour la fourniture d'eau en zone sahélienne devrait avoir trois objectifs à moyen et long terme:

- Augmenter les disponibilités en eau
- Etendre ces disponibilités dans l'espace et dans le temps
- Assurer une exploitation optimale de ces disponibilités

Quelles que soient les techniques mises en oeuvre, elles devraient tendre à:

- Retenir sur place le maximum d'eau disponible
- Eviter une surexploitation des ressources actuelles

En particulier, il faudrait songer à maintenir sur place le maximum d'eau pluviale que ce soit pour la stocker ou pour renforcer les nappes existantes. Il est indispensable qu'une telle action soit menée bassin par bassin. Ceux-ci ayant été reconnus au préalable.

On dispose actuellement d'un certain nombre de techniques appropriées et en particulier de la "défense et restauration des sols". Celle-ci réduisant le ruissellement de l'eau pluviale permet son infiltration dans le sol. Cette eau infiltrée pourra alors servir soit superficiellement pour la production agro-pastorale, réduisant ainsi l'énergie d'exhaure nécessaire soit en profondeur au niveau des moyens exploitables.

Il paraît en effet très dangereux de vouloir accroître la densité des puits et forages sans prendre en considération le problème de l'équipement de la nappe. D'autre part, la vocation finale est bien de pouvoir mettre en place une structure socio-économique viable. Le sol est également indispensable à la mise en place d'une telle structure.

Actuellement, pour l'exploitation des nappes souterraines peu profondes, on choisit de préférence le puits. Or, le puits coûte cher à la construction et l'entretien, sa mise en oeuvre est lente. Il se pollue facilement et son débit est limité par sa faible surface de captage. Mais ce choix est cependant pleinement justifié par le fait que l'on ne dispose pas jusqu'à ce jour, d'un matériel d'exhaure suffisamment sûr et rentable.

Le problème de l'exploitation des nappes souterraines doit être abordé en s'attaquant à l'ensemble indissociable: forage-pompe. Le forage sous certaines conditions coûte beaucoup moins cher et il est plus productif. L'utilisation du tubage en plastique réduit sensiblement le prix du forage tout en permettant un bien meilleur captage de la nappe.

L'énergie solaire offre maintenant de grandes possibilités jusqu'à des puissances de quelques kilowatts.

L'énergie éolienne qui, trop souvent, a été mal exploitée, peu aussi aider à la solution des problèmes énergétiques de mécanisation.

Il ne faut pas oublier non plus que les modifications écologiques comporteront des incidences sanitaires de l'ordre que nous venons de signaler.

En résumé, lors de l'utilisation de l'eau, l'homme a comme ressources d'approvisionnement principales l'eau souterraine et l'eau superficielle.

L'homme parvient à l'eau souterraine par:

- sources naturelles
- forages
- puits

et il utilise l'eau superficielle à partir de:

- eaux stagnantes (barrages, lacs, lagunes)
- eaux courantes (fleuves, rivières, canaux d'irrigations)

Les unes et les autres pouvant être permanentes et intermittentes (saisonnnières etc.).

Toutes ces sources d'approvisionnement sont exposées à:

- la contamination microbienne
- la contamination parasitaire
- la pollution chimique
- être à l'origine de la création de gîtes larvaires
- la prolifération des hotes intermédiaires (mollusques, crustacés, etc.)

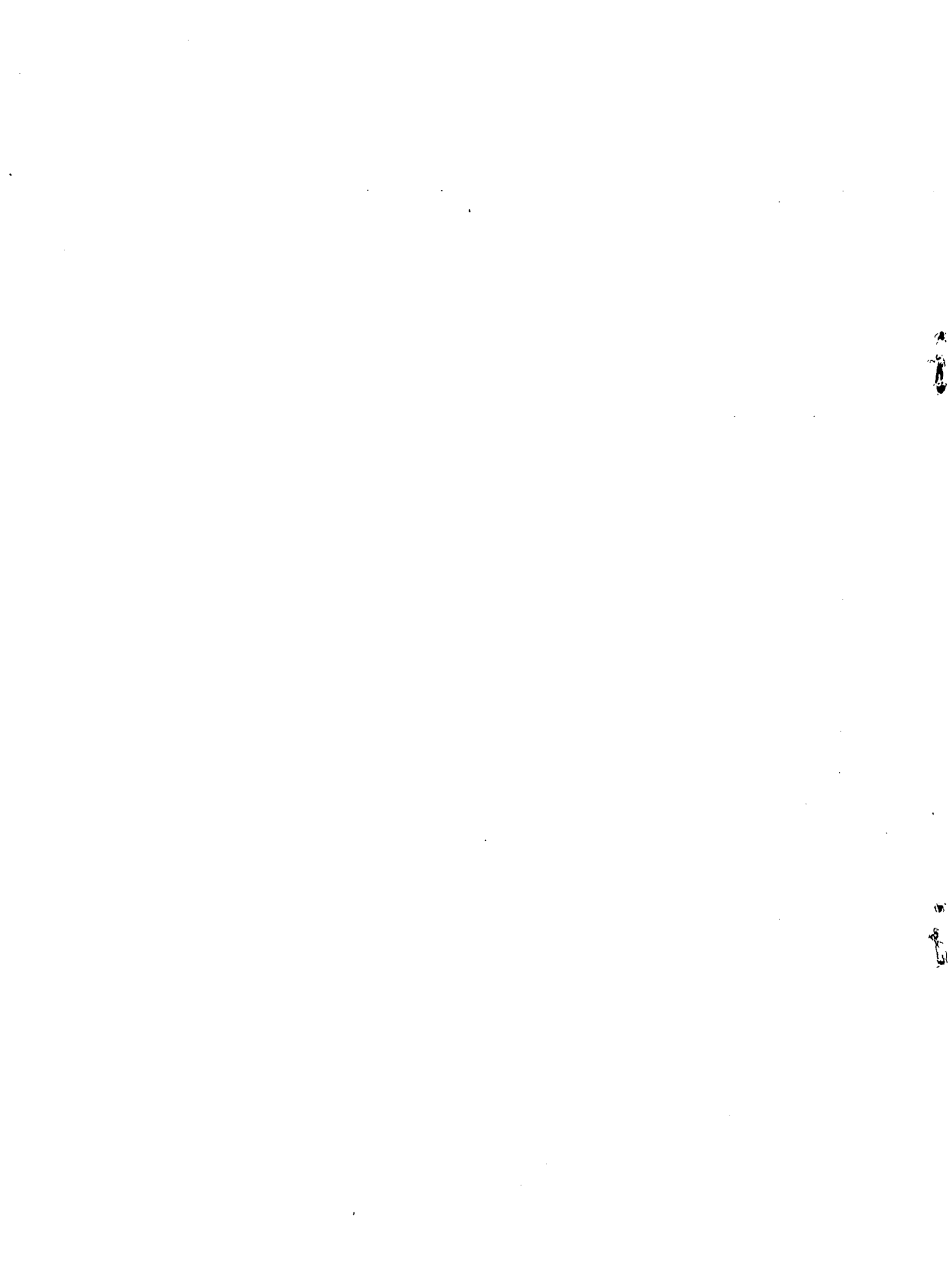
La réalisation de tout projet d'approvisionnement en eau, d'aménagement hydro-agricole industriel ou autres, entraîne une modification de l'environnement qui a des implications sanitaires sur la population dans la zone d'implantation. Ces implications peuvent être bénéfiques pour la population - implications positives - ou augmenter encore les problèmes sanitaires - implications négatives -, par la création de conditions écologiques idoines à l'éclosion d'épidémies latentes ou nouvelles.

Cela dépend de l'homme, de nous tous, et de là, l'importance - et j'y insiste - de l'éducation sanitaire, à tous les niveaux.

Les services de santé des pays en voie de développement, avec les moyens actuels, ne peuvent pas faire face aux problèmes auxquels ils sont actuellement confrontés. On ne peut espérer que la couverture, quant aux besoins propres aux problèmes sanitaires actuels, étant donné la progression annuelle de l'augmentation des moyens sanitaires.

Chaque projet additif par les besoins nouveaux qu'il crée dans le domaine sanitaire, recule d'autant l'espérance d'une couverture totale de besoins sanitaires par les services de santé.

Il est donc indispensable que l'étude de chaque projet - de n'importe quelle sorte - soit faite d'une façon multidisciplinaire, et que les incidences sanitaires de l'adoption de tout projet fassent partie de l'étude pour avoir son financement et la solution simultanée avec son exécution. Ainsi, le retard actuel dont la limite ne sera plus éloignée au fur et à mesure de l'adoption de nouveaux projets, pourra être rattrapé dans les délais en fonction du taux de développement des services sanitaires des pays, et le développement ne sera pas seulement économique - croissance économique - mais un véritable développement harmonieux, socio-économique, au service de l'épanouissement humain.



V. 3. CONTRIBUTION DE L'UNICEF DANS LES PROGRAMMES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE
AU MILIEU RURAL, par Martin G. BEYER.

RESUME

L'auteur expose tout d'abord rapidement ce qu'est l'UNICEF, ses moyens, ses objectifs et priorités, et montre l'intérêt apporté à l'eau potable dans ses programmes d'actions. Il énumère par la suite les domaines dans lesquels l'UNICEF peut apporter son assistance et les moyens pouvant être mis en oeuvre selon les problèmes rencontrés.

* * * * *

Dans le cadre des aménagements de petites ressources d'eau, la potabilité de l'eau est d'une grande importance pour la santé, le bien-être et, ultérieurement, le développement des communautés rurales. C'est à ce but, en visant surtout les enfants des groupes d'âges des plus jeunes et plus vulnérables que l'UNICEF (FISE) proportionne à peu près 15 % de ses allocations annuelles de plus de 110 millions de dollars aux programmes d'approvisionnement en eau potable et l'assainissement de l'environnement.

L'UNICEF, le Fonds des Nations Unies pour l'Enfance fut créé en 1946 comme organisme autonome des Nations Unies. Ses fonds sont basés sur des contributions volontaires des gouvernements, des organisations non-gouvernementales et des personnes privées.

Les activités de l'UNICEF se déroulent dans quelque 110 pays dans le monde entier et consistent en l'assistance matérielle et en financement d'expertise pour améliorer la vie des enfants, de la jeunesse et des familles. L'on essaie de faire parvenir l'apport de l'UNICEF en forme intégrée aux programmes des gouvernements avec des éléments de santé, éducation, nutrition et le bien-être social.

Le volant d'approvisionnement en eau potable et l'assainissement de la part de l'UNICEF est redistribué dans 70 différents pays, dont certains reçoivent une assistance limitée, plutôt pour des projets pilotes, tandis que les autres pays reçoivent un apport relativement substantiel. Tel est le cas par exemple en Inde (15 000 forages dans 4 ans pour l'hydraulique villageoise) et le Bangladesh (310 000 pompes à main à être installées en 1972-80).

Politiques et priorités

A l'UNICEF les politiques et priorités concernant l'eau potable, approuvées par le Conseil Exécutif, sont basées sur des actions conjointes OMS/UNICEF. Le but principal est de fournir de l'eau saine surtout aux populations des zones rurales les plus marginales. Parmi les priorités signalées à l'UNICEF par les gouvernements, la question d'eau potable figure maintenant dans la liste. En effet, la résolution prise par les représentants des gouvernements d'Afrique Occidentale et Centrale à la Conférence sur l'Enfance de la Jeunesse à Lomé en 1972, met l'approvisionnement en eau potable en premier lieu.

Dans tous les cas, l'UNICEF cherche à intégrer ses programmes en matière d'eau à ses programmes de développement dans d'autres secteurs. Donc, dans beaucoup de cas, les écoles et les centres de santé maternité ou PMI sont les premiers à être approvisionnés. Cette intégration s'étend à la fourniture d'eau, quand cela est possible, aux jardins des écoles, dans le but d'améliorer la situation nutritionnelle.

L'aménagement de petites ressources d'eau

Le type de projet varie selon les besoins et conditions locales: les installations peuvent être constituées par des puits, forages, sources protégées, stockage et simple adductions d'eau ou le captage d'eau de pluies. L'apport de l'UNICEF sert donc à approvisionner ces projets avec une gamme d'équipement et matériaux: foreuses, treuils, bennes moules pour des buses, tuyaux, robinets et autres accessoires, outils, véhicules.

Bien entendu, l'UNICEF apporte en fonds et matériel, une aide nécessaire à la formation des techniciens et des puisatiers ainsi qu'à l'éducation des villageois.

Quant à l'apport matériel il est cherché à la mesure possible d'achever une certaine standardisation d'équipement, tout en prenant en considération la nécessité d'adaptation aux équipements existants et leur entretien sur le plan national. Afin de fournir une liste des différents types d'équipement pour l'hydraulique villageoise, l'UNICEF a récemment publié la "Guidelist Olga", qui peut rendre bon service à tous planificateurs de projets, et qui peut être demandée au Siège de l'UNICEF à New York.*

En ce qui concerne les équipements et matériaux, les politiques de l'UNICEF prévoient aussi la promotion d'une manufacture locale, nationale, dans les pays assistés. Ainsi, au Bangladesh et en Inde, l'exemple d'une manufacture de pompes à main démontre bien la participation active et multiple de l'UNICEF.

Les villageois et l'approvisionnement en eau potable

Pour les communautés rurales les programmes intégrés ont été mentionnés. Pour la propre compréhension des villageois de l'importance d'une bonne utilisation, opération et entretien des installations, il faut donner beaucoup d'importance à l'éducation sanitaire des villageois, et là où possible, achever une forme ou autre de participation communautaire. A cet égard l'on peut se servir par des services des écoles, de la santé, l'animation rurale, la promotion humaine et la promotion des femmes.

Outre les bénéfices de santé, sociales et économiques, un autre point à élaborer, soit sur échelle nationale et régionale, est celui des effets sur l'environnement, y compris la conservation des ressources.

Coopération internationale

L'assistance de l'UNICEF en matière d'eau potable aux programmes des gouvernements commence le plus souvent aux premiers stades de planification et se poursuit en étroite collaboration avec les agences des Nations Unies, surtout l'OMS, le PNUD et FAO, dans certains cas le BIT et l'UNESCO. Il y a aussi beaucoup de programmes, dirigés sur une coopération directe avec des agences bilatérales et non-gouvernementales, volontaires.

Dans la plupart des pays il y a une coordination sur le plan national par des organisations pour l'approvisionnement en eau rurale (génie rural, comités nationaux, etc.) des apports internationaux à l'effort national, ce qui est bien nécessaire pour une meilleure assistance aux pays. Souvent les administrateurs de programmes techniques affectés aux bureaux de l'UNICEF dans plusieurs pays, contribuent essentiellement à ce type de travaux de coordination.

* UNICEF
Catalogue Section
Supply Division
United Nations, NY 10017

Aspects techniques

Les aspects sanitaires avec les données de l'OMS déterminent beaucoup la sélection des techniques pour l'exploitation et l'exhaure des ressources en eau potable pour chaque programme et projet. La tendance est de favoriser les forages avant des puits, pourvu que la fonction et l'entretien des pompes et d'autres installations soient raisonnablement assurés.

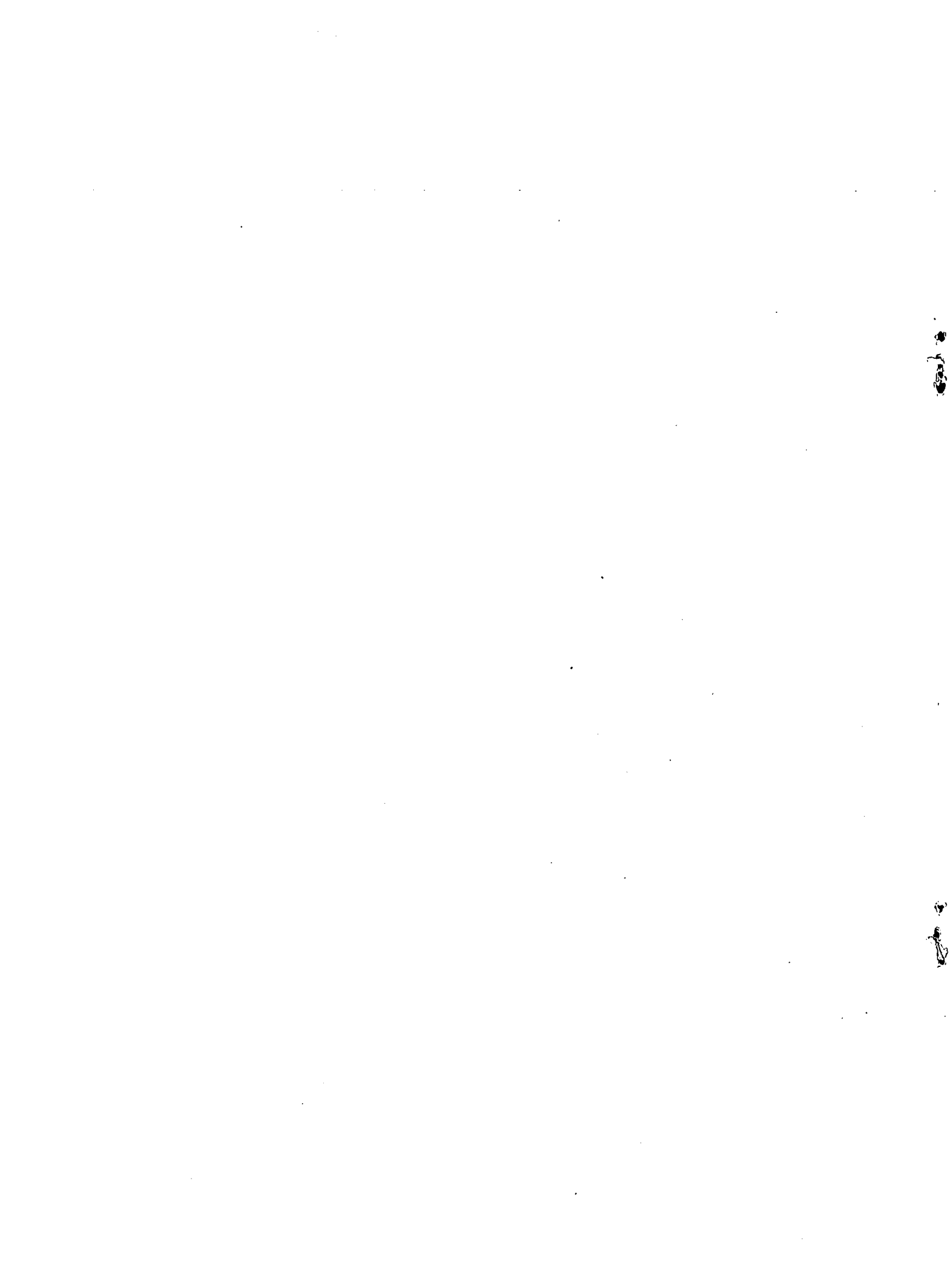
Un des grands problèmes est la sélection de pompe à main, pédales ou traction animale d'où l'UNICEF activement est en train de suivre et d'appuyer pour une éventuelle utilisation, le développement de nouveaux types de pompes et d'autre matériel pour l'exhaure, la collection, le stockage et la distribution de l'eau. Ainsi l'UNICEF aussi tient un oeil intéressé sur des développements techniques encore relativement exotiques comme ceux de l'utilisation de l'énergie solaire et du vent. Y compris le développement de techniques moins coûteuses pour la prospection de l'eau souterraine (par exemple, interprétation simplifiée des images satellite ERTS-1).

UNICEF, l'eau potable et le futur

L'apport de l'UNICEF pour l'approvisionnement en eau potable est très modeste, étant donné le cadre limité de la capacité financière de l'organisation. Il y a d'autres organisations avec des apports très importants, et c'est surtout les gouvernements eux-mêmes qui portent la partie dominante des programmes, l'apport en personnel et la responsabilité pour la planification et exécution des programmes.

Néanmoins, l'apport de l'UNICEF ne peut être que substantiel, dans le cas où les gouvernements ne contribueraient que partiellement, faute d'équipement approprié. L'assistance de l'UNICEF est, en règle intentionnée, de passer entièrement la responsabilité de l'apport matériel dans les mains des gouvernements, ou de chercher des possibilités de financement continu et élargi par d'autres organisations internationales, une fois que les programmes sont effectivement mis en marche. Le but principal est de montrer ce qui peut être achevé pour les grands groupes des populations les moins privilégiés et en même temps chercher d'étendre l'approvisionnement de cette matière de base de la vie humaine au nombre maximum possible de communautés.

A l'avenir, il est probable que l'UNICEF continuera à participer à l'effort mondial d'approvisionnement en eau potable et saine, des deux tiers de la population rurale. Souhaitons seulement que les fonds nécessaires à cette entreprise soient augmentés de manière suffisante, afin de combattre efficacement les maladies et famines. En plus de l'approvisionnement en eau potable, l'UNICEF s'engage d'une manière tout de même encore très limitée à promouvoir la micro-irrigation afin d'améliorer la situation nutritionnelle. Si la générosité des pays donateurs nous permettait de disposer de moyens plus importants ce type d'utilisation de petites ressources d'eau pourrait être répandu et s'adapter aux différents problèmes du surpeuplement et aux besoins du développement des zones rurales.



V. 4. POSSIBILITES POUR UNE COOPERATION INTERNATIONALE ET REGIONALE DANS LE DOMAINE DU DEVELOPPEMENT DES RESSOURCES EN EAU A PETITE ECHELLE ET LA RECHERCHE EN AFRIQUE DE L'OUEST, par C. DES BOUVRIE.

RESUME

L'auteur décrit rapidement l'organisation de la FAO et des bureaux régionaux. Il développe par la suite le thème de l'approche régionale et suggère des solutions. Il insiste également sur la nécessité d'un échange permanent d'informations entre les différentes régions ou sous-régions et sur le poids que doivent avoir les institutions aux services nationaux.

1. GENERALITES

Il est peut être utile de rappeler brièvement comment la FAO est organisée, et comment elle est équipée pour coopérer avec d'autres institutions ou organisations internationales. L'organigramme présenté en annexe illustre la situation.

La FAO s'articule sur deux programmes:

- 1) le programme régulier financé par le budget propre de l'organisation
- 2) le programme des projets sur le terrain financé en majeure partie par le PNUD.

Les deux programmes sont liés, l'un sert l'autre et vice-versa. Le programme régulier est géré par les services techniques du siège de la FAO à Rome et par les bureaux régionaux des quatre régions principales, l'Afrique, le Proche-Orient, l'Extrême-Orient et l'Amérique Latine. Les techniciens du siège traitent principalement des questions et problèmes d'une nature globale alors que le personnel des bureaux régionaux se concentre sur des sujets type des régions respectives. Il est bien entendu que les deux groupes se complètent.

Dans le cadre de notre discussion d'aujourd'hui, j'aimerais m'étendre un peu plus sur l'aspect régional de nos activités. Il existe plusieurs mécanismes permettant de promouvoir l'approche régionale.

Tout d'abord, nous avons les conférences régionales, consultations bi-annuelles, entre les Ministres de l'agriculture des pays concernés, au cours desquels les problèmes et priorités sont identifiés de sorte qu'ils puissent en être tenu compte dans le programme de travail et le budget de la FAO, et une révision des moyens permettant aux régions de résoudre leurs problèmes propres est effectuée. Ces conférences sont préparées avec soin au cours d'une réunion de hauts fonctionnaires à la fois de l'Organisation et de la région. Cette réunion précède immédiatement la délibération au niveau ministériel. Je le répète, nous considérons comme extrêmement important que les conclusions et les recommandations issues de ces conférences relèvent de la région et soient établies en pleine consultation avec vous, les techniciens responsables des Etats Membres. Vous admettez, qu'une consultation bi-annuelle, de nature plutôt générale, ne peut pas pas traiter en profondeur des multiples problèmes techniques auxquels nous sommes confrontés. Beaucoup plus peut être achevé par simple correspondance ou mieux encore par contacts personnels directs avec vous de préférence sur le terrain. Le bureau régional pour l'Afrique sert environ 40 pays avec, il faut en convenir, un personnel limité. Durant une période de 5 ans il n'a pas été possible de tous vous rencontrer, c'est la raison pour laquelle nous attachons tant d'importance aux réunions du type que nous tenons aujourd'hui. Nous nous rendons compte de problèmes spécifiques, nous entendons parler de succès et nous tentons de trouver un dénominateur commun aux solutions techniques en jeu. Avec ces informations nous pouvons penser avec un certain degré de certitude, que les propositions qui seront soumises à la prochaine conférence régionale refléteront vos besoins spécifiques et sont en accord avec votre pensée.

Mais un séminaire ne doit pas être une fin en soi. Un certain nombre de problèmes spécifiques ont été identifiés devant ce séminaire, qui, chacun justifie des consultations supplémentaires. Il existe donc un champ pour l'organisation de groupes de travail entre les pays ayant des problèmes aux solutions communes. J'espère que des recommandations seront faites dans ce sens devant la session finale de notre séminaire.

Considérons maintenant l'autre aspect du programme régulier, les techniciens du siège, comme je l'ai déjà indiqué, sont principalement concernés par les problèmes d'une nature globale. Des problèmes techniques spécifiques font l'objet d'études, tels que les besoins en eau des plantes, les modèles mathématiques, l'irrigation au goutte à goutte etc, ceci dans le but de mettre les techniques de pointe à la disposition de tous pour une application ou une adaptation éventuelle. Pour des sujets très spécialisés des réunions d'experts mondiaux sont organisées. Les résultats de ces études sont publiés sous forme de bulletins dont certains exemplaires sont visibles dans cette salle (vous pouvez facilement vous procurer ces documents si vous le désirez).

Le personnel du siège entretient également les liaisons avec nos collègues des autres agences des Nations Unies tels OMM, UNESCO, UNICEF, OMS etc. qui ont un système régional fort développé en liaison directe avec le bureau régional de la FAO. Ils sont également en contact régulier avec de nombreux programmes de développement internationaux ou régionaux et de programmes de recherche dans le domaine de la mise en valeur des terres et des eaux et les disciplines connectées.

Enfin, les services techniques du siège sont supposés fournir l'appui technique aux programmes sur le terrain que j'ai déjà mentionné.

Le programme sur le terrain constitue de loin la composante la plus importante au niveau du pays; par l'intermédiaire d'une expertise technique de consultations, de bourses de formation.

Ceci est, en bref, les services que nous pouvons offrir. Nous ne perdons pas de vue l'intérêt considérable que l'on peut trouver dans la mobilisation et l'utilisation des institutions et services régionaux et nationaux. C'est là que se trouve le potentiel réel pour le développement d'un programme régional de développement des terres et des eaux.

Nous, du bureau régional, avec le support du siège avons travaillé dans ce sens ces récentes années.

Les exemples suivant illustrant cette situation:

- en décembre 1970, un séminaire sur l'évolution des sols et la classification des terres pour l'Afrique de l'ouest a été organisé. Les recommandations formulées par les délégués ont abouti à l'établissement d'un comité Ouest Africain pour l'évaluation, la corrélation et la gestion des sols.

Des méthodes et techniques standards pour les prospections, l'évolution et les analyses de laboratoires sont actuellement adaptées; des consultations régulières sont tenues, une assistance est fournie pour l'établissement d'une institution nationale dans le domaine de la science du sol là où elle n'existait pas.

Le Bureau régional a fourni le secrétariat pour ses actions sous-régionales. Plus tard, un comité simulaire a été organisé pour l'Afrique de l'est et un troisième est en préparation pour l'Afrique centrale.

- Les avantages d'une telle approche peuvent être résumés comme suit:

- 1) les problèmes techniques d'un intérêt commun aux États Membres sont identifiés
- 2) possibilité pour des experts nationaux de collaborer dans la recherche des solutions à ces problèmes

- 3) un forum est possible où les experts internationaux des institutions nationales ou de l'aide bilatérale pourraient échanger leurs vues et coordonner leurs programmes
- 4) des programmes spécifiques pourraient être identifiés qui au niveau national ou au niveau régional sont considérés comme importants pour le développement agricole
- 5) l'utilisation optimale de l'expertise technique de la région
- 6) une approche flexible peut être adoptée, débutant modestement par des problèmes spécifiques d'un programme plus large, l'échelle des opérations peut être amplifiée selon les besoins

Notre intention est d'aider à promouvoir une collaboration étroite dans la région dans le domaine du développement des eaux. Heureusement, nous ne débutons pas ici sans rien; nous pouvons profiter de la collaboration de la CIEH. En ce qui concerne notre séminaire, nous nous sommes beaucoup inspirés de l'enquête sur le développement de l'irrigation en Afrique au sud du Sahara, une entreprise conjointe de la FAO, de l'Université de Southampton et du Bureau Régional pour l'Afrique. Cette étude progresse depuis plusieurs années. Le CIEH nous a apporté son concours dans cette entreprise.

Une liste assez complète des projets d'irrigation existant ou en vue de construction a été préparée, les données de base ont été mises sur ordinateur. Le but principal de cette enquête est, pour tous ceux intéressés, de voir qu'elle est la relation entre différents projets opérant dans des conditions similaires. Des données supplémentaires sont nécessaires afin d'entreprendre une analyse plus en profondeur; nous serons heureux de faire appel à vos services si nous le pouvons.

Nous avons bénéficié assez de cette enquête dans la sélection des points de l'ordre du jour de notre séminaire et nous pouvons dire que nous sommes satisfaits avec les résultats.

Nous avons appris beaucoup durant ce séminaire et en particulier de vos contributions très intéressantes. Il est clair, que l'eau est le facteur clé pour le développement agricole de la région. Plusieurs problèmes urgents pour la région ont été identifiés. Il y a, par exemple, un besoin pressant pour des échanges de données de base, pour la publication des résultats relatifs au développement de l'irrigation, l'examen de nouvelles techniques telles que l'irrigation au goutte à goutte, qui pourraient peut-être être appliquées dans la région, un cadre intéressant existe également pour la formation de groupes de travail sur des sujets tels que l'aménagement des bas-fonds, les petits barrages en terre, la construction de puits peu profonds etc.

Nous reconnaissons le rôle fondamental que peut jouer le CIEH et nous sommes heureux de voir la participation accrue au comité des pays anglophones de l'Afrique de l'ouest. Nous espérons que dans un proche avenir le CIEH se développera en un centre régional pour la gestion des eaux.

Lorsqu'on considère l'irrigation, l'eau va de pair avec l'évolution et la gestion des sols. Nous sommes dès lors extrêmement heureux de pouvoir profiter de l'expérience des pédologues qui participent à nos débats en particulier ceux appartenant au Secrétariat du Comité des sols. Peut être un jour nos efforts aboutiront à la création d'une Commission Régionale pour l'utilisation des terres et des eaux pour l'Afrique de l'Ouest.

Je vous remercie.



M-56

ISBN 92-5-200312-6