

Rapport n° 40,
Série des rapports du MAB

Alexandrie
24-27 février
1976

Programme sur l'homme et la biosphère (MAB)

Réunion régionale sur les activités de recherche
écologique intégrée et de formation dans le
nord-est de l'Afrique et au Proche et au
Moyen-Orient, traitant des effets écologiques
de l'irrigation réalisée à partir des grands
bassins fluviaux

Organisée conjointement par l'Unesco et le PNUE

Rapport final

Unesco 1978

Rapports précédents dans cette série :

1. Conseil international de coordination du Programme sur l'homme et la biosphère (MAB). Première session. Paris, 9-19 Novembre 1971.
2. Groupe d'experts sur le rôle de l'analyse des systèmes et des modèles dans le Programme sur l'homme et la biosphère (MAB). Paris, 18-20 Avril 1972.
3. Groupe d'experts sur le Projet 1 : Effets écologiques du développement des activités humaines sur les écosystèmes des forêts tropicales et subtropicales. Paris, 16-18 Mai 1972.
4. Groupe d'experts sur le Projet 12 : Conséquences réciproques de l'évolution démographique et génétique des transformations de l'environnement. Paris, 23-25 Mai 1972.
5. Groupe d'experts sur le Projet 5 : Effets écologiques des activités humaines sur la valeur et les ressources des lacs, marais, cours d'eau, deltas, estuaires et zones côtières. Londres, 19-22 Septembre 1972.
6. Groupe d'experts sur le Projet 3 : Impact des activités humaines et des méthodes d'utilisation des terres à pâturage : savane, prairies (des régions tempérées aux régions arides), toundra. Montpellier, 2-7 Octobre 1972.
7. Groupe d'experts sur les activités relatives à l'éducation à poursuivre dans le cadre du Programme sur l'homme et la biosphère (MAB). Paris, 5-8 Décembre 1972.
8. Groupe d'experts sur le Projet 6 : Impact des activités humaines sur les écosystèmes montagneux. Salzbourg, 29 Janvier-4 Février 1973.
9. Groupe d'experts sur le Projet 13 : La perception de la qualité de l'environnement, Paris, 26-29 Mars 1973.
10. Conseil international de coordination du Programme sur l'homme et la biosphère (MAB). Deuxième session. Paris, 10-19 Avril 1973.
11. Groupe d'experts sur le Projet 7 : Ecologie et utilisation rationnelle des écosystèmes insulaires. Paris, 26-29 Juin 1973.
12. Groupe d'experts sur le Projet 9 : Conservation des zones naturelles et des ressources génétiques qu'elles contiennent. Morges, 25-27 Septembre 1973.
13. Groupe d'experts sur le Projet 11 : Aspects écologiques de l'utilisation de l'énergie dans les systèmes urbains et industriels. Bad Nauheim, 16-19 Octobre 1973.
14. Groupe de travail sur le Projet 6 : Impact des activités humaines sur les écosystèmes de montagnes et de toundras. Lillehammer, 20-23 Novembre 1973.
15. Groupe consultatif sur le Projet 9 : Evaluation écologique des conséquences de l'utilisation des pesticides et des engrais sur les écosystèmes terrestres et aquatiques (partie engrais). Rome, 7-9 Janvier 1974.
16. Groupe de travail international sur le Projet 1 : Effets écologiques du développement des activités humaines sur les écosystèmes des forêts tropicales et subtropicales. Rio de Janeiro, 11-15 Février 1974.
17. Groupe de concertation sur la contribution des sciences sociales au Programme MAB. Paris, 28 Février-2 Mars 1974.
18. Réunion régionale sur les besoins en matière de recherche écologique intégrée et de formation dans la région du Sahel. Niamey, 9-15 Mars 1974.
19. Groupe d'experts sur le Projet 2 : Effets écologiques des différentes pratiques d'aménagement et méthodes d'exploitation des sols dans les régions à forêts tempérées et méditerranéennes. Paris, 16-19 Avril 1974.
20. Groupe de concertation sur la surveillance continue de la pollution et les recherches concernant la pollution dans le cadre du Programme MAB. Moscou, 23-26 Avril 1974.
21. Groupe de travail international sur le Projet 5 : Effets écologiques des activités humaines sur la valeur et les ressources des lacs, marais, cours d'eau, deltas, estuaires et zones côtières. Paris, 13-17 Mai 1974.
22. Groupe de concertation sur les critères et les lignes directrices du choix et de la constitution de réserves de la biosphère. Paris, 20-24 Mai 1974.
23. Réunion régionale sur la recherche écologique intégrée et la formation des spécialistes dans la région des Andes. La Paz, 10-15 Juin 1974.
24. Groupes consultatifs sur le Projet 9 : Evaluation écologique des conséquences de l'utilisation des pesticides et des engrais sur les écosystèmes terrestres et aquatiques (partie pesticides).
25. Groupe de travail international sur le Projet 3 : Impact des activités humaines et des méthodes d'utilisation des terres à pâturage : savane, prairies (des régions tempérées aux régions arides). Hurley, 2-5 Juillet 1974.
26. Réunion régionale sur les besoins en matière de recherche écologique intégrée et de formation dans la région du Sud-Est asiatique. Kuala Lumpur, 19-22 Août 1974.

27. *Conseil international de coordination du Programme sur l'homme et la biosphère (MAB). Troisième session. Washington, D.C., 17-29 Septembre 1974.*
28. *Réunion régionale sur les activités de recherche et de formation écologiques intégrées en Amérique Latine, et en particulier dans les écosystèmes des forêts tropicales et subtropicales. Mexico, 30 Septembre-5 Octobre 1974.*
29. *Groupe d'experts sur le Projet 4 : Impact des activités humaines sur la dynamique des écosystèmes des zones arides et semi-arides, et en particulier effets de l'irrigation. Paris, 18-20 Mars 1975.*
30. *Réunion régionale sur la formulation de programmes coopératifs de recherches écologiques et interdisciplinaires, de formation et d'aménagement sur les pâturages des zones arides et semi-arides du Nord de l'Afrique. Sfax, 3-12 Avril 1975.*
31. *Groupe de concertation sur la recherche écologique intégrée sur les établissements humains, dans le cadre du Projet 11. Paris, 2-6 Juin 1975.*
32. *Groupe de concertation sur le Projet 14 : Recherches concernant la pollution de l'environnement et ses effets sur la biosphère. Ottawa, 5-8 Août 1975.*
33. *Réunion régionale sur les activités de recherche et de formation écologiques intégrées dans les tropiques humides de l'Afrique de l'Ouest et de l'Afrique Centrale. Kinshasa, 29 Août-5 Septembre 1975.*
34. *Réunion régionale sur les activités de recherche et de formation écologiques intégrées dans les systèmes montagneux de l'Asie du Sud, en particulier l'Hindou Kouch et l'Himalaya. Kathmandou, 26 Septembre-2 Octobre 1975.*
35. *Réunion régionale sur les activités de recherche et de formation écologiques intégrées dans les écosystèmes des forêts caducifoliées et semi-caducifoliées des tropiques de l'Asie du Sud. Varanasi, 5-11 Octobre 1975.*
36. *Réunion régionale sur les activités écologiques intégrées de recherche et de conservation dans les pays du Nord de la Méditerranée. Potenza, 27-31 Octobre 1975.*
37. *Groupes consultatifs sur le Projet 10 : Incidences des grands travaux sur l'homme et son environnement.*
38. *Conseil international de coordination du Programme sur l'homme et la biosphère. Quatrième session. Paris, 18-26 Novembre 1975.*
39. *Réunion régionale de planification des Comités nationaux andéens du MAB en particulier le Projet 6. Lima, 2-5 Décembre 1975.*

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
Résumé	6
Préface	10
1. Introduction	12
1.1 Contenu global et approche du Projet 4 du MAB	12
1.2 L'impact de l'irrigation sur les terres arides	13
1.3 Les grands bassins fluviaux de la région	16
1.4 La planification intégrée d'un bassin fluvial	20
1.5 Liaisons entre le Projet 4 du MAB et les autres projets du MAB.	21
2. L'approche intégrée d'une recherche axée sur des problèmes concrets concernant les projets d'irrigation	23
2.1 Introduction	23
2.2 Les programmes d'irrigation nouveaux	25
2.3 Les programmes de restauration	26
2.4 L'aspect conception dans les projets nouveaux et les projets de restauration	29
2.5 Exemples d'études intégrées concernant des domaines d'études spécifiques	32
3. Les sites de démonstration du MAB	35
3.1 Les critères du choix des sites de démonstration intégrés du MAB	35
3.2 Les sites de démonstration proposés par les pays participants	35
4. Information et documentation	46
4.1 Inventaire des institutions nationales de recherche et de formation	46
4.2 Moyens disponibles en matière de documentation	47
4.3 Diffusion de l'information concernant les actions du MAB	47
5. Formation	49
6. Les mécanismes de la mise en oeuvre et de la coordination	51
6.1 Un réseau régional de projets de démonstration complémentaires	51
6.2 La coordination au plan national	51
6.3 La coordination au plan régional : le Comité régional <i>ad hoc</i> de coordination du Projet 4 du MAB	51
6.4 L'aide de l'Unesco	54
7. Résumé des recommandations	55
ANNEXE 1 Liste des participants	57
ANNEXE 2 Allocution d'ouverture de S.E. le Dr Mohamed Hafez Ghanem	61
ANNEXE 3 Résumés des rapports nationaux des délégations participantes	63
ANNEXE 4 Rapport résumé concernant le symposium international sur l'irrigation des terres arides dans les pays en voie de développement : problèmes d'environnement et effets sur le milieu	80
ANNEXE 5 Exposés des Organisations des Nations Unies	82
ANNEXE 6 Recherches sur le drainage dans le Nubareya occidental, République arabe d'Egypte : étude d'un cas hydrologique concret de réserve d'eau souterraine	84

		<u>Page</u>
ANNEXE 7	Impact des techniques d'irrigation et de drainage sur la propagation de la bilharziose	86
ANNEXE 8	Méthode écologique et méthode de l'habitat dans la lutte contre la bilharziose	88
ANNEXE 9	Quelques aspects météorologiques de la recherche et de la formation en écologie, sous l'aspect plus particulier de l'irrigation dans les zones arides et semi-arides	90

Une réunion régionale sur les besoins en matière de recherche et de formation dans le domaine de l'écologie intégrée dans le Nord-Est de l'Afrique ainsi qu'au Proche et au Moyen-Orient, sous l'aspect des effets écologiques de l'irrigation dans les grands bassins fluviaux, s'est tenue à Alexandrie, en Egypte, du 24 au 27 février 1976. C'était la première réunion régionale se déroulant dans le cadre du Projet 4 du MAB intitulé "L'impact des activités humaines sur la dynamique des écosystèmes des zones arides et semi-arides, sous l'aspect plus particulier des effets de l'irrigation". Cette réunion était organisée conjointement par l'Unesco et le PNUE, avec la coopération de l'Académie égyptienne de la recherche scientifique et de la technologie, et du Comité national égyptien pour le MAB.

L'objectif principal de cette réunion consistait à identifier les priorités en matière d'actions de recherche et de formation, et d'explorer les voies et moyens de la mise en oeuvre de ces actions dans le cadre du Programme MAB en coopération et avec l'aide financière des institutions et agences nationales, régionales et internationales concernées.

A cette réunion ont participé les délégués représentant les Comités nationaux pour le MAB de l'Afghanistan, l'Egypte, l'Iran, l'Irak, le Pakistan, le Soudan et la Syrie. Y participaient également des spécialistes originaires de pays extérieurs à la région et des représentants du PNUE, de la FAO, de l'OMS et du CIUS.

Importance d'une approche intégrée des études et de la recherche. Bien que la nature même des projets d'irrigation mette clairement en évidence les interdépendances existant entre les problèmes physiques, biologiques, technologiques humains et socio-économiques, la plupart des recherches qui ont été entreprises sur l'irrigation dans les grands bassins fluviaux ont adopté trop souvent une approche de type sectoriel. On est encore bien loin de pouvoir expliquer clairement les "systèmes d'utilisation par l'homme", très variés et fort complexes, associés à l'irrigation. Les directives destinées aux planificateurs et aux décideurs souffrent par conséquent d'insuffisances du même ordre. Très fréquemment, des difficultés supplémentaires apparaissent lorsque l'on aborde des problèmes tels que la salinisation ou l'engorgement des terres. Dans ces conditions, la réunion a recommandé que soient entrepris de nouveaux efforts afin d'adopter une approche de type davantage intégré en vue de la planification des projets d'irrigation.

Compte tenu du développement nécessaire de cette approche intégrée et systématique, la réunion régionale a jugé nécessaire d'établir une distinction entre les zones dans lesquelles des projets d'irrigation nouveaux sont programmés ou sur le point d'être réalisés, et celles dans lesquelles des projets d'irrigation déjà existants nécessitent d'urgence une restauration. Dans ces deux cas, tous les pays participants ont présenté des propositions constructives concernant les sites dans lesquels pourraient être mis en place des projets de démonstration intégrés dans le cadre du Programme MAB.

Les zones d'irrigation nouvelles. La réunion a mis l'accent sur les possibilités offertes par les zones d'irrigation nouvelles dans le domaine de la mise au point, grâce aux efforts de coopération entre les chercheurs, les planificateurs, les décideurs et les populations concernées, de projets d'aménagement rationnel des terres et des eaux correspondant aux besoins et aux souhaits de la population locale. Dans cette optique, on est arrivé à la conclusion que, dans le système d'irrigation (ou le système d'utilisation par l'homme) d'ensemble, les sous-systèmes suivants pouvaient constituer les centres d'intérêt d'études interdisciplinaires :

- (1) le sous-système interface terre-eau à l'extrémité du canal terminal (problèmes des relations sol-plante-eau, mais aussi problèmes juridiques et financiers de la distribution de l'eau, etc.) ;
- (2) le sous-système canal (hydrologie et biologie des canaux, impact des installations de génie civil, rôle des canaux dans les problèmes de vie et de santé de la communauté, etc.) ;
- (3) le sous-système économique (analyse coût-profit, comportant la prise en considération des coûts sociaux de la maladie, de la réinstallation et des transformations économiques, de la structure et des fonctions du système de commercialisation local, etc.) ;
- (4) le sous-système socio-culturel (structures de la famille, éducation, rôle des femmes, aspirations, logement, etc., et leur influence sur le fonctionnement du système d'irrigation dans son ensemble).

Des projets de démonstration intégrés mettront l'accent sur la surveillance continue de ces sous-systèmes et de leurs paramètres, ainsi que sur le fonctionnement du système dans son ensemble au cours de la réalisation d'un projet d'irrigation nouveau. On procèdera à une évaluation des modifications provoquées par ces nouveaux projets d'irrigation, et plus particulièrement à l'estimation de l'amplitude des divergences de ces modifications par rapport à ce qui était attendu au départ. La coopération entre les chercheurs et les planificateurs et décideurs responsables, permettra que les effets secondaires négatifs inattendus soient pris en compte très rapidement. En outre, les projets de démonstration intégrés dans des zones d'irrigation nouvelles devront se consacrer à un ensemble de problèmes spécifiques tels que la réutilisation des eaux d'irrigation, le drainage, la sédentarisation des nomades, les déplacements de populations et l'utilisation des déchets de l'activité humaine.

La restauration des projets d'irrigation existants. Les projets de démonstration intégrés concernant les périmètres d'irrigation existants se référeront essentiellement aux mêmes paramètres et aux mêmes sous-systèmes que ceux évoqués à propos des zones d'irrigation nouvelles, et ils mettront également l'accent sur la compréhension du fonctionnement du système dans son ensemble. La différence fondamentale réside dans le fait que les effets secondaires négatifs des projets d'irrigation : salinisation, engorgement, végétation adventice des eaux, paludisme, schistosomiase, etc., se sont manifestés depuis longtemps, et que l'objectif majeur est constitué par la restauration d'un système dont le fonctionnement ne donne pas satisfaction. Par conséquent, il s'avère alors très souhaitable d'avoir recours à une approche du type étude de cas concret historique, plutôt qu'à une surveillance continue de longue durée. Les projets de démonstration intégrés sur la restauration des périmètres d'irrigation existants revêtent une très grande importance du fait que l'objectif de la population concernée est déjà considérable, et qu'il s'accroît sans cesse.

La réunion a de nouveau mis l'accent sur les interactions existant entre les problèmes économiques, socio-culturels et sanitaires, d'une part, les problèmes physiques et biologiques de l'environnement d'autre part. Il conviendrait que les projets de démonstration intégrés retracent l'histoire de ces problèmes et de leurs interactions pour parvenir à des conclusions utiles dans la planification des mesures de restauration. La réunion a pris note du fait que le problème considéré comme le plus grave n'est pas nécessairement le même dans chacun des pays. La réunion a estimé que les projets entrepris dans des pays différents devraient avoir un caractère complémentaire, et ce de façon telle que leurs centres d'intérêt principaux se répartissent conformément aux principaux types de problèmes mis en évidence dans chacun des pays.

Sites et études proposés. Les délégués ont proposé la mise en oeuvre de projets de recherche et de démonstration intégrés sur les sites suivants :

Dans le Nord de l'Afghanistan, le projet nouveau Kundus Khan Abad couvre 30 000 ha. Prévu pour être terminé en trois ans, ce périmètre doit être consacré à la production de blé, d'orge, de maïs et de coton. L'eau est fournie par la rivière Khan Abad. Le périmètre n'est actuellement pas habité. Jusqu'à présent, les recherches réalisées sont de peu d'importance. Le projet de restauration de la vallée du Helmand constitue le projet d'irrigation le plus important d'Afghanistan, puisqu'il concerne 60 000 ha. Le peuplement et l'attribution des terres sont encore actuellement en cours. Les problèmes principaux sont ceux soulevés par la salinisation et l'engorgement.

En Egypte, le Projet Nubareya Ouest peut constituer le point d'application d'un travail de recherche consacré à la fois à un projet nouveau et à la restauration. Commencé depuis 15 ans, la restauration progresse encore par paliers. Situé dans le Nord-Ouest du pays, le périmètre couvre 120 000 ha. L'eau d'irrigation provient du Nil. La recherche dans les secteurs les plus récents pourrait s'orienter vers l'accroissement de l'efficacité de l'irrigation et le contrôle du niveau de la nappe phréatique. Les problèmes qui affectent les zones plus anciennes sont l'engorgement, la salinisation, les maladies affectant l'homme, et les problèmes sociaux.

En Iran, le Projet Mahabad (21 500 ha) correspond à une zone dans laquelle est pratiquée traditionnellement depuis de nombreuses années l'agriculture irriguée. Il est prévu de mettre en oeuvre un projet de développement nouveau, afin d'utiliser plus efficacement les ressources en terres et en eaux en vue d'un accroissement de la production végétale et laitière. A l'heure actuelle, les problèmes les plus sérieux concernent la pollution des eaux, la salure et les maladies.

En Irak, dans le Projet Thartar, il convient de restaurer 6 000 km² du bassin du Thartar en utilisant l'eau amenée du Tigre par un canal de 50 km. Des études de base ont été entreprises sur la dynamique de la végétation, les poissons, la faune et la géologie. Egalement en Irak, du fait de la mauvaise conception du système de drainage, le Projet Dujaila n'est pas parvenu à restaurer les terres mises en valeur entre 1937 et 1949. Le sol et la nappe phréatique ont vu leur salinité croître progressivement. Le nouveau Plan quinquennal prévoit un grand projet de développement agricole dans ce secteur, entre autres grâce à la création d'industries agricoles. Parmi les objectifs de la recherche figureront des questions techniques, des problèmes de réinstallation de populations et l'introduction de techniques agricoles nouvelles.

L'objectif principal du Projet nouveau de Tarbela, situé dans le bassin de l'Indus, dans le Nord-Ouest du Pakistan, est de procurer, grâce à l'agriculture, des moyens d'existence aux personnes déplacées par suite de la construction d'un barrage. L'eau d'irrigation sera fournie par un réservoir situé sur le fleuve Indus. Le Projet Mona dans la plaine de l'Indus (restauration de 55 000 ha) a été retenu pour y effectuer des études-pilotes concernant l'agriculture, l'hydrologie souterraine, et les travaux de vulgarisation auprès des paysans.

Au Soudan, l'eau du Nil Bleu irriguera les 150 000 ha du Projet nouveau de Rahad, dont les principaux objectifs consistent à produire des cultures d'exportation et à améliorer le bien-être de la population locale, dont on suppose qu'elle est voisine de 100 000 âmes. Les efforts de la recherche se concentreront sur la mise au point d'une procédure permettant d'intégrer de façon satisfaisante dans le périmètre les nouveaux fermiers, qui étaient auparavant des pasteurs nomades. Dans le Projet Khashm El Girba, qui remonte à 11 ans (projet de restauration), et qui couvre 120 000 ha irrigués par gravité grâce au barrage de Khashm El Girba, l'obsession d'un développement "moderne" et d'une transformation s'est traduite par un manque d'intérêt généralisé pour les caractéristiques traditionnelles de la population

concernée. Le niveau systématiquement faible de la production dans ce projet est attribué à la fois à des facteurs humains et à des facteurs techniques. Outre cette question de l'intégration des pasteurs nomades, les autres problèmes nécessitant des recherches sont : les besoins en eau des cultures, l'utilisation rationnelle de l'eau, et la lutte contre les maladies endémiques.

En Syrie, le Projet Euphrate est proposé comme site de recherches consacrées aux projets nouveaux. Le Projet Ghab en Syrie occidentale (restauration) a été le premier projet-pilote du pays pour l'irrigation et le drainage. Il s'est heurté à des difficultés par suite du colmatage du canal de drainage principal. La salure, l'engorgement, les problèmes sanitaires et les problèmes sociologiques ont également contribué à une diminution de la production végétale, en particulier du coton et de la betterave à sucre.

Information et documentation. La réunion a recommandé que soient entreprises, aux niveaux national et régional, certaines actions en vue d'améliorer la disponibilité et la diffusion de l'information relative à la recherche intégrée concernant les projets d'irrigation et de drainage.

Formation. Il a été possible de définir des priorités dans le domaine des actions de formation s'adressant à plusieurs groupes-cibles différents (scientifiques, techniciens, cultivateurs, directeurs de projets). Il a été recommandé d'organiser des séminaires régionaux sur des sujets tels que la salure et son contrôle, l'aménagement des eaux et des sols, et les problèmes sanitaires.

Suivi et réalisation. Ayant envisagé les voies et moyens d'une aide aux pays de la région en vue de la mise en oeuvre des actions du Projet 4 du MAB, et pour renforcer leurs Comités nationaux du MAB, la réunion a proposé la création d'un Comité de coordination du Projet 4 du MAB dans la région. Ce comité serait constitué par les présidents ou les délégués des Comités nationaux du MAB en Afrique du Nord-Est et au Proche et au Moyen-Orient. La réunion a exprimé le voeu que le PNUE prenne en considération la fourniture d'une aide financière pour le démarrage des projets de démonstration intégrés du Projet 4 et des actions connexes de formation et d'information dans la région. Les pays de la région accueillent aussi avec faveur toute coopération technique avec des pays extérieurs à la région, ainsi que tous les accords bilatéraux et multilatéraux entraînant une aide financière de la part de ces pays.

PREFACE

Une réunion régionale sur les besoins en matière de recherche et de formation dans le domaine de l'écologie intégrée dans le Nord-Est de l'Afrique ainsi qu'au Proche et au Moyen-Orient, sous l'aspect des effets écologiques de l'irrigation dans les grands bassins fluviaux, s'est tenue à Alexandrie, en Egypte, du 24 au 27 février 1976. Cette réunion était organisée conjointement par l'Unesco et le Programme des Nations Unies pour l'environnement, avec la coopération de l'Académie égyptienne de la recherche scientifique et de la technologie, et du Comité national de la République Arabe d'Egypte pour le MAB. Le thème de cette réunion se rattache au Projet 4 du Programme international de l'Unesco sur l'homme et la biosphère (MAB) intitulé "L'impact des activités humaines sur la dynamique des écosystèmes des zones arides et semi-arides, sous l'aspect plus particulier des effets de l'irrigation". A cette réunion ont participé les représentants des Comités nationaux pour le MAB de l'Afghanistan, la République Arabe d'Egypte, l'Iran, l'Irak, le Pakistan, le Soudan et la Syrie. Y participaient également des spécialistes originaires de pays extérieurs à la région et ayant acquis une expérience dans le domaine de la recherche sur l'irrigation et le drainage. Le PNUE, la FAO, l'OMS et l'OMM étaient représentés, de même que le Conseil international des unions scientifiques (CIUS). La liste des participants figure en Annexe 1 de ce rapport. Le Professeur El Damaty (Egypte) fut élu à la présidence de la réunion. Mr Ahmad Dalaki (Iran) et Mr Musa M. Musa (Soudan) furent élus vice-présidents. La réunion fut inaugurée par le Vice Premier Ministre et Ministre de l'enseignement supérieur de la République Arabe d'Egypte, S.E. le Dr Mohamed Hafez Ghanem (Annexe 2).

L'objectif principal de cette réunion consistait à identifier les priorités en matière d'actions de recherche et de formation dans le domaine de l'écologie intégrée dans le Nord-Est de l'Afrique ainsi qu'au Proche et au Moyen-Orient, là où existent déjà des projets de grande envergure pour le développement des bassins fluviaux appuyés sur l'irrigation, à concevoir des projets de démonstration intégrés et des actions de formation en liaison avec les périmètres d'irrigation, et à explorer les voies et moyens de la mise en oeuvre de toutes ces actions dans le cadre du Programme MAB, en coopération et avec l'aide financière des institutions et agences nationales, régionales et internationales concernées.

En vue de cette réunion, chacune des délégations présentes avait établi un rapport national exposant les grands problèmes auxquels sont confrontés dans son propre pays les projets d'irrigation, et présentant les programmes de recherche et de formation en cours ou prévus dans ce domaine.

Ces rapports sont présentés sous une forme résumée dans l'Annexe 3. Tous les rapports ont été discutés au cours de la réunion. Un autre document de référence important est constitué par le rapport du groupe d'experts sur le Projet 4, qui s'est réuni à Paris en 1975 (Série des rapports du MAB n° 29).

1. INTRODUCTION

1.1 Contenu global et approche du Projet 4 du MAB

Lors de sa première session en novembre 1971, le Conseil International de Coordination pour le Programme MAB avait décidé d'inclure dans le Programme un projet consacré à "l'impact des activités humaines sur la dynamique des écosystèmes des zones arides et semi-arides, sous l'aspect plus particulier des effets de l'irrigation" (Projet 4). Lors de sa seconde session (avril 1973), le Conseil décidait d'inclure le thème des pâturages des zones semi-arides dans le Projet MAB consacré aux pâturages, et il demandait que le Projet 4 concentre son action sur les écosystèmes irrigués.

En mars 1975, l'Unesco organisait avec la coopération de la FAO, de l'OMS, de l'OMM, du PNUE et du CIUS, la réunion d'un groupe d'experts sur le Projet 4. Ce groupe accorda beaucoup d'attention à l'impact de l'irrigation sur les divers éléments des écosystèmes des zones arides et semi-arides, entre autres le régime hydrique, l'écologie et l'utilisation des terres, les conditions édaphiques et atmosphériques, la flore et la faune, et la population. Il suggéra de faire porter les efforts, dans le cadre du Projet 4 du MAB, sur les thèmes de recherche suivants :

- (1) identification et analyse des conséquences indésirables des grands projets d'irrigation, sur la base des études réalisées dans les zones irriguées depuis longtemps déjà, lorsqu'il est possible de reconstituer l'évolution de l'environnement naturel jusqu'à son stade actuel ;
- (2) surveillance continue des diverses transformations de l'environnement sur les sites des projets d'irrigation nouveaux ;
- (3) étude détaillée des problèmes propres aux zones irriguées isolées et de dimensions restreintes, en particulier dans les écosystèmes de faible superficie et présentant des limites bien tranchées.

En outre, le groupe d'experts soulignait la nécessité de projets-pilotes, de la formation et de la coopération, et en particulier d'une coopération étroite entre les centres de recherche traditionnels situés dans des régions climatiquement comparables.

Le groupe d'experts proposait que la première action entreprise à l'échelon régional par le Projet 4 consiste à organiser une réunion des pays du Nord-Est de l'Afrique, et du Proche et du Moyen-Orient, pays dans lesquels existent de vastes superficies irriguées associées à de grands bassins fluviaux. Etant donné que le PNUE accorde la priorité aux problèmes de la zone aride, et que le Conseil International de Coordination avait exprimé l'espoir de voir se développer dans ce domaine des

actions en coopération entre le MAB et le PNUE, il fut décidé que cette réunion serait organisée conjointement par l'Unesco et le PNUE.

1.2 L'impact de l'irrigation sur les terres arides

L'agriculture irriguée a bénéficié d'un développement maximum dans les régions arides, là où les précipitations naturelles sont insuffisantes pour que de nombreuses plantes cultivées puissent fournir une production appréciable. Beaucoup de régions bénéficiant d'une pluviosité annuelle relativement élevée peuvent être affectées par des périodes de sécheresse au cours desquelles aucune production végétale n'est possible, ou pendant lesquelles les rendements des plantes cultivées sont l'objet de diminutions sensibles par suite du manque d'humidité. Dans les régions humides et subhumides, l'irrigation est qualifiée d'irrigation de complément. Cependant, toute irrigation apporte un complément aux précipitations naturelles, et il n'est pas possible de tracer une frontière stricte entre les zones dans lesquelles l'irrigation a un caractère indispensable et celles où elle n'est pas nécessaire.

L'importance de l'irrigation dans les zones tropicales et subhumides est bien connue (la culture du riz est pratiquée essentiellement dans des champs irrigués !), mais les véritables problèmes de l'agriculture irriguée n'apparaissent que dans des conditions de milieux arides et semi-arides, là où l'agriculture est sous la dépendance étroite d'un aménagement minutieux du sol et des eaux. On considère généralement que la pluviosité annuelle minimum nécessaire à une agriculture non irriguée est en moyenne voisine de 500 mm. Lorsque cette pluviosité s'abaisse à moins de 250 mm, on se trouve dans des conditions désertiques, et il est indispensable d'apporter de l'eau en vue de l'irrigation. Les terres arides et semi-arides représentent environ 55% du total des terres émergées du globe.

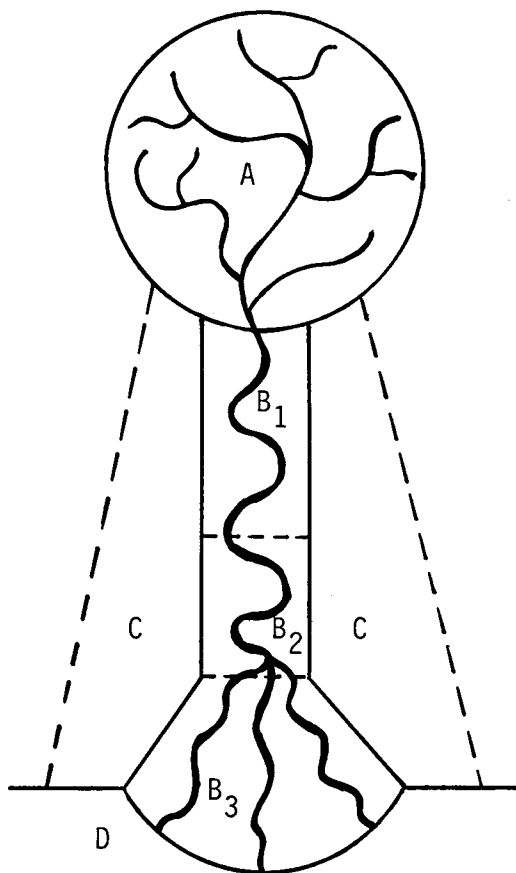
Le rapport du groupe d'experts sur le Projet 4 du MAB (voir Série des rapports du MAB n° 29, chapitre 2) prend en considération les effets de l'irrigation pratiquée par l'homme. Le groupe d'experts soulignait que ces effets sont, dans l'ensemble, plus marqués lorsque l'aridité augmente et lorsque s'accroît la superficie sous irrigation. Le sujet de ce rapport est l'impact écologique de l'irrigation dans les grands bassins fluviaux des zones arides et semi-arides, situation extrême, quoique très fréquente actuellement.

Au cours de ces dernières années, on a observé une certaine tendance à mettre l'accent sur les effets néfastes des grands projets d'irrigation sur l'environnement dans les zones arides, et à sous-estimer les profits que l'humanité retire de ces projets. L'accroissement des maladies, la réduction de la pêche, les modifications

des manifestations de l'érosion, la salinisation des sols, les perturbations d'ordre social, etc., qui avaient été convenablement prévus et dont on avait tenu compte, ont bénéficié d'une large publicité, alors que les objectifs principaux des projets, l'apport d'eau et l'amélioration du niveau de vie de millions d'hommes, sont considérés comme acquis. Comme c'est le cas pour la plupart des modifications d'environnement de grande envergure provoquées par l'homme, il faut payer le prix du bénéfice ajouté, mais pour que ce prix demeure minimum il est nécessaire de comprendre réellement le mode de fonctionnement du système.

Pour mieux comprendre le mode de fonctionnement d'un système d'irrigation au coeur d'un environnement aride, il faut se souvenir de quelques principes simples : en premier lieu, il existait avant irrigation dans la zone concernée un certain type d'équilibre écologique, sous réserve qu'il n'y ait pas eu de surpécoration. En second lieu, l'introduction de l'irrigation provoque d'abord un bouleversement complet de cet équilibre, mais un équilibre écologique nouveau va lentement se substituer à l'ancien. En troisième lieu, ce nouvel équilibre pourra se traduire par une situation défavorable (p. ex. engorgement et salure) ou favorable (fertilité). En quatrième lieu, l'irrigation, le drainage et la remise en état sont trois processus complémentaires essentiels pour orienter l'équilibre dans la direction souhaitée. En cinquième lieu, c'est seulement lorsque l'équilibre ultime s'avèrera "favorable" que l'on pourra parler de système d'irrigation permanent.

Les effets de l'irrigation sont multiples, et les interactions entre ces effets sont nombreuses et complexes. Le tableau s'ordonne quelque peu lorsque l'on met l'accent sur l'analyse des effets écologiques de l'irrigation dans un grand bassin fluvial en prenant en considération la totalité de son bassin-versant. La Figure 1 représente un diagramme schématique d'un bassin fluvial de ce genre. Les perturbations se manifestent la plupart du temps dans trois secteurs distincts indiqués sur cette figure : le secteur 1 représente la zone dans laquelle l'eau est captée, c'est-à-dire le bassin de réception, généralement en montagne et soumis à une pluviosité très élevée. Le secteur B correspond à la zone irriguée ; il est subdivisé en biefs supérieurs (B1), biefs inférieurs (B2), et en delta du fleuve (B3). Le secteur C est représenté par les zones adjacentes à la zone irriguée.



- A - Bassin de réception
- B - Plaine d'inondation et delta
- C - Zones de transition vers le désert
- D - Mer ou lac

Figure 1. Diagramme schématique d'un grand bassin fluvial en zone aride.

On peut résumer comme suit les caractéristiques de ces trois zones :

Zone A C'est la zone dans laquelle l'eau est captée. Pour assurer un écoulement régulier, il convient de construire des barrages et des retenues ; il est nécessaire d'assurer la conservation du sol par le reboisement, afin de limiter autant que faire se peut l'érosion, et par conséquent l'entraînement des sédiments. L'introduction de l'irrigation se manifeste donc principalement par un impact sur le régime hydrologique et sur les modalités de l'utilisation des terres.

Zone B C'est la zone dans laquelle l'eau est apportée au sol desséché, déclenchant ainsi l'ensemble des activités associées à l'agriculture irriguée : c.a.d. production végétale, logement, industrie, pêche, activités récréatives ; mais aussi l'engorgement, la salure, les maladies et la réinstallation de populations. L'impact produit est considérable, sur le régime hydrologique, l'utilisation des terres, les conditions atmosphériques, la flore et la faune, et la population. C'est la zone qui doit retenir au maximum notre attention

dans le domaine de la recherche. Les solutions apportées aux problèmes posés par le régime hydrologique dans les secteurs amont de la zone B peuvent provoquer ou aggraver d'autres problèmes dans les biefs aval.

Zone C Cette zone est moins bien définie. Elle est constituée par les secteurs adjacents à la zone irriguée. Il peut arriver que la frontière entre B et C soit bien tranchée, mais on observera en général l'existence d'une zone de transition caractérisée par une irrigation occasionnelle, souvent complétée par des apports d'eau souterraine, ce qui affecte le niveau de la nappe. Le niveau de cette nappe peut aussi subir d'importantes fluctuations du fait de l'infiltration dans les terres irriguées contiguës, ce qui provoque souvent une salinisation.

C'est cette zone périphérique qui constitue le point de départ de la population nomade qui sera réinstallée dans la zone B. Toutefois, il est très fréquent que des conflits éclatent, car les populations nomades préfèrent conserver leur cheptel. Dans ce cas, il est important d'introduire dans la zone des plantes fourragères et des pâturages améliorés.

Par conséquent, l'impact se manifeste essentiellement sur le régime hydrologique et sur la population, mais d'autres impacts sont possibles : sur l'utilisation des terres, la flore et la faune.

1.3 Les grands bassins fluviaux de la région

Dans les limites de la région concernée par la réunion d'Alexandrie, il existe trois très grands bassins fluviaux irrigués et qui ont une longue histoire : le bassin du Nil au Soudan et en Egypte ; le bassin de l'Euphrate et du Tigre (Mésopotamie) en Irak et en Syrie ; le bassin de l'Indus (Punjab) au Pakistan.

Il existe en Afghanistan, en Iran et en Syrie plusieurs bassins fluviaux de moindre superficie, qui abritent des zones d'irrigation plus récentes. Dans cette région, tous les secteurs irrigués des grands bassins fluviaux sont situés dans la zone aride, alors que les bassins de réception sont localisés dans des zones montagneuses plus humides. A l'exception de l'Helmand, tous les fleuves se jettent dans la mer par un estuaire ou un delta.

Les rapports établis par chacun des pays, et qui sont résumés dans l'Annexe 3, fournissent des détails sur les bassins fluviaux en question. On trouvera ci-dessous, à titre de base de discussion des problèmes à l'étude, un complément d'information sur les trois grands bassins de la région.

Le bassin de l'Euphrate et du Tigre. Les bassins des deux fleuves jumeaux couvrent une superficie de 704 500 km², dont 359 000 en Irak. Le reste est situé en Arabie Séoudite, en Iran, en Syrie et en Turquie. Le Tableau 1 donne une répartition plus détaillée.

Tableau 1. Superficies des bassins de l'Euphrate et du Tigre en kilomètres carrés

Fleuve	Montagnes	Collines	Plaine	Désert	Total
Euphrate (près de Hit)	82 330	62 960		118 830	264 120
Tigre (Sud de Bagdad)	74 385	75 603	15 535	632	166 115
Wadi Tharthar		2 980	3 715	17 775	24 470
Wadi Hawan				16 770	16 770

Le Tigre a une longueur de 1 718 km ; l'Euphrate de 2 333 km, sans tenir compte du Kora Sou (450 km) et du Murat Sou (650 km). Le débit moyen du Tigre près de Bagdad entre 1906 et 1952 a été estimé à 38,8 milliards de m³/an, et celui de l'Euphrate près de Hit (1924-1952) à 26,4 milliards de m³/an.

Dès que ces fleuves pénètrent dans la plaine de Mésopotamie, ils décrivent des méandres qui deviennent de plus en plus irréguliers vers l'aval. Un élément fondamental réside dans le fait que la plus grande partie de l'eau des deux fleuves jumeaux ne parvient pas à la mer. Elle est en partie utilisée pour l'irrigation, une fraction s'évapore, et une proportion importante disparaît dans la région marécageuse (Ahwar) du Sud de la plaine. L'eau des deux fleuves est de bonne qualité pour l'irrigation et pour l'usage domestique, bien qu'elle contienne quelques sels solubles (0,2 à 0,4 g/litre) et une quantité assez élevée de limon (1 à 4 g/litre). Sel et limon se déposent pour la plus grande part dans la basse plaine de Mésopotamie.

Dans l'ancienne Mésopotamie, la population captait la plus grande partie de ses eaux d'irrigation dans l'Euphrate. Dans cette région, les vestiges des anciens canaux d'irrigation, parmi lesquels deux correspondent aux plus grands canaux de tous les temps, démontrent le niveau élevé atteint par ces anciennes civilisations dans le domaine de l'irrigation. A l'heure actuelle, de vastes surfaces sont très fortement salées et, partout, les berges des canaux, constituées de limons, ont une grande hauteur, ce qui démontre l'ampleur des travaux nécessaires pour curer ces canaux.

Les raisons du déclin de l'agriculture irriguée en Mésopotamie ne font pas l'unanimité. Certains auteurs penchent en faveur de la théorie d'une augmentation de l'aridité ; d'autres concluent que la totalité de la vallée entre Tigre et Euphrate n'a jamais été entièrement cultivée sous irrigation à la même époque, et que les ressources actuelles en eau suffisent à irriguer autant de terres qu'il n'en a jamais été irrigué en même temps. Mais il est aussi possible d'expliquer bien des éléments grâce aux faits historiques. Le pays fut fréquemment envahi par des nations belliqueuses, et l'invasion mongole de 1258 détruisit la plus grande partie des anciens systèmes d'irrigation : la plupart d'entre eux ne furent jamais reconstruits.

Le bassin de l'Indus. Le bassin-versant de l'Indus s'étend approximativement sur 710 000 km², dont 528 000 km² appartiennent au Pakistan, alors que le reste est partagé entre le Cachemire, l'Inde, le Tibet et l'Afghanistan. Les cours supérieurs de l'Indus et de ses cinq affluents majeurs sont situés dans des zones relativement fraîches et à pluviosité élevée. La zone d'irrigation principale, le Punjab, couvre une superficie totale de 200 000 km² et elle est située dans une région aride et semi-aride. L'Indus a une longueur de l'ordre de 3 220 km depuis sa source dans le Tibet jusqu'à la mer, au voisinage de Karachi.

Les ressources en eau de la zone irriguée sont constituées par les pluies, les eaux de puits, et les eaux fluviales. La part des fleuves est estimée à $1,7 \times 10^{11}$ m³/an. La teneur en sels de l'eau des fleuves, prélevée dans les stations riveraines, se situe en général dans la gamme 150-250 ppm.

Avant l'ère chrétienne, la plaine de l'Indus était déjà soumise à l'irrigation. Mais les grands projets qui ont fait la célébrité du Punjab ont été réalisés au cours des cent dernières années. Les famines ont été considérablement réduites du fait de l'accroissement de la production des plantes cultivées grâce à l'irrigation, et des mesures ont été prises pour assurer la subsistance d'une population en forte augmentation. Toutefois, l'appauvrissement du sol, les pertes d'eau dans les canaux, l'engorgement et la salinisation sont des problèmes qui ont déjà pris un caractère grave, et de vastes surfaces de sols initialement fertiles sortent chaque année du circuit de la production. Les points de vue émis quant aux causes de ces problèmes mettent tous l'accent sur des facteurs tels que le drainage et le mode de gestion des eaux, et on estime que la seule possibilité de parvenir à une solution réside dans une approche intégrée de la planification du bassin-versant.

Le bassin du Nil. Le Nil constitue le trait dominant du quart Nord-Est de l'Afrique. Son bassin couvre une superficie totale d'environ 2 847 750 km², et la distance depuis sa source reculée, proche du lac Tanganyika, jusqu'à la Méditerranée est de

l'ordre de 6 690 km. Les eaux du Nil exercent une influence sur la totalité de l'Egypte, du Soudan et de l'Ouganda, sur un tiers de l'Ethiopie et sur certaines parties du Kenya, de la Tanzanie et du Zaïre. Ses sources, et les fleuves et rivières qui sont ses tributaires, sont situés dans des régions tropicales de haute altitude, où la pluviosité est considérable. Dans la plaine du Bahr el Ghazal, le climat est de type subhumide à subaride. Au Nord de Khartoum, les précipitations deviennent négligeables, et le fleuve pénètre dans une zone soumise à un climat aride jusqu'à son embouchure dans la mer Méditerranée.

La crue et l'inondation du Nil interviennent chaque année à peu près à la même époque. Les eaux d'inondation proviennent principalement du Nil Bleu, l'un des deux principaux tributaires. En dehors de la période de crue, le Nil Bleu se réduit aux dimensions d'un petit cours d'eau, mais l'autre tributaire, le Nil Blanc, présente heureusement un débit plus régulier, ce qui empêche un abaissement excessif du niveau du Nil principal. La régularité du débit du Nil Blanc est imputable au fait que ses sources, les grands lacs Victoria et Albert, ne varient pas beaucoup au cours des saisons. Un autre affluent important du point de vue de la crue est la rivière Atbara, qui a son origine dans le Nord de l'Ethiopie.

Du confluent avec l'Atbara jusqu'à la mer, soit sur une distance de 2 700 km, le Nil ne reçoit plus d'affluents. Son volume diminue, pour une faible part en raison de l'évaporation, mais surtout du fait des quantités d'eau considérables qui sont utilisées pour l'irrigation au Soudan et en Egypte. (La surface irriguée totale dans le bassin du Nil est de l'ordre de 8 millions d'hectares). L'écoulement annuel du Nil au voisinage de la frontière égyptienne (Wadi Halfa) atteint en moyenne 84 milliards de m³ environ. Les barrages et les réservoirs créés au Soudan et en Egypte contribuent à une meilleure régularisation du débit du Nil. Afin de résoudre les difficultés qui peuvent apparaître dans l'aménagement du bassin lorsque deux nations différentes se partagent un bassin fluvial, les deux pays ont mis sur pied en 1959 l'Accord sur les Eaux du Nil.

L'agriculture irriguée dans le bassin du Nil a une longue histoire. L'eau du Nil est utilisée pour l'irrigation depuis 6 000 ans. A la différence de la plaine de Mésopotamie, la vallée du Nil a constitué, sans grand problème, le support d'une agriculture irriguée pendant une période de 4 000 ans environ, ceci essentiellement parce que la méthode d'irrigation par bassins permet un lessivage des sels suffisant pour éviter leur accumulation. Toutefois, les problèmes de salure ont commencé à apparaître à la suite de l'introduction d'un système moderne d'irrigation permanent, lequel a apparemment perturbé l'équilibre hydrologique fragile qui s'était instauré auparavant.

1.4 La planification intégrée d'un bassin fluvial

Les trois grands bassins fluviaux de la région qui viennent d'être brièvement décrits ont une longue histoire dans le domaine de l'irrigation et du développement. Plusieurs autres, tels que la vallée du Helmand en Afghanistan, et celle de Mahabad en Iran, sont moins bien connus, mais l'irrigation y est aussi pratiquée depuis longtemps déjà, comme c'est le cas pour de très nombreux sites de dimensions plus restreintes dans cette région.

L'histoire des problèmes qui se posent dans tous les bassins fluviaux, grands ou petits, des régions arides et semi-arides, est la même, et elle est liée à la perturbation de l'équilibre écologique initial, et en particulier de l'équilibre hydrologique. Ces problèmes complexes ne peuvent être résolus sans faire appel à une approche intégrée. L'objectif essentiel devrait être une coordination complète de toutes les utilisations de l'eau : par conséquent, l'unité géographique de tout projet d'aménagement des eaux, qu'il s'agisse seulement d'irrigation ou au contraire d'un projet à objectif multiple, doit être le bassin-versant. Bien que certaines relations apparemment simples existent à l'intérieur du système de bassin-versant dans son ensemble, ce système a un caractère complexe, étant constitué de nombreux éléments biotiques et abiotiques différents, et étant le siège de nombreux processus distincts. Toute interférence de l'homme avec l'un d'entre eux, qu'elle soit voulue ou accidentelle, peut déclencher une séquence d'évènements susceptible de s'étendre à la totalité du système. En ce qui concerne l'irrigation, il est important de dresser un bilan des ressources et des besoins en eau à l'intérieur du bassin ; cette évaluation montrera si un apport complémentaire d'eau est nécessaire. Dans ce cas, des ressources nouvelles peuvent être recherchées dans les bassins contigus.

De nombreux pays de la région se sont activement engagés sur la voie de la planification intégrée d'un bassin parce que ce dernier constitue une unité géographique, mais très souvent aussi une unité écologique, et parfois même une unité économique. Cependant, beaucoup de projets font l'objet d'une planification sans trop tenir compte des limites du bassin, les régions de planification économique coïncidant rarement avec des unités physiques nettes. Dans des cas de ce genre, le contexte d'un bassin de drainage considéré comme unité de planification peut s'avérer inadéquat, sauf au niveau de l'évaluation du site et du contrôle de ce site.

Dans le milieu naturel, il est extrêmement difficile d'aborder l'étude des écosystèmes, du fait de la variété des échanges qui s'y manifestent à un instant donné. Pour évaluer les entrées et les sorties qui interviennent dans un écosystème,

Bormann et Likens¹ ont envisagé la possibilité d'avoir recours au bassin-versant en tant qu'unité d'évaluation adéquate. Ce point de vue reposait sur le fait que les cycles nutritifs sont en relation étroite avec le cycle hydrologique. Il est probable que ce concept est valable, en particulier dans les très grands bassins fluviaux, pour d'autres cycles, p. ex. climatique, économique et humain.

1.5 Liaisons entre le Projet 4 du MAB et les autres projets du MAB

Le Projet 4 du MAB a pour thème "l'impact des activités humaines sur la dynamique des écosystèmes des zones arides et semi-arides, sous l'aspect plus particulier des effets de l'irrigation". Ce projet présente naturellement des liaisons nombreuses avec d'autres projets du MAB, les plus étroites d'entre elles concernant le Projet 3 : "l'impact des activités humaines et des pratiques d'utilisation des terres sur les pâturages : savane, prairie, des zones tempérées aux zones arides, toundra". Les sujets des Projets 3 et 4 se chevauchent, en fait, dans les régions arides et semi-arides ; c'est la raison pour laquelle le Projet 4 doit concentrer son action sur l'impact de l'irrigation. Mais, même dans ce cas, la relation demeure étroite puisque l'irrigation de certaines zones exerce une influence sur les pâturages adjacents.

Les autres projets du MAB liés au Projet 4 sont :

Projet 5 du MAB. Ce projet concerne "les effets écologiques des activités humaines sur la valeur et les ressources des lacs, des marais, des rivières, des deltas, des estuaires et des zones côtières". Les actions du Projet 4, et spécialement celles entreprises dans les grands bassins fluviaux, seront étroitement liées au Projet 5. L'irrigation pratiquée dans les bassins fluviaux n'affecte pas seulement le cours d'eau lui-même par le captage de son eau ; elle modifie aussi l'équilibre hydrologique initial, et toutes les unités hydrologiques du système fluvial : deltas, estuaires, zones côtières sont concernés eux-aussi.

Projet 9 du MAB. Ce projet concerne "l'évaluation écologique du traitement des nuisances et de l'utilisation des engrais sur les écosystèmes terrestres et aquatiques". Dans les projets d'irrigation modernes, les herbicides, les insecticides et les engrais sont utilisés de façon courante. De toute évidence, une approche intégrée des effets de l'agriculture irriguée comporte parmi ses attributions la prise en compte des effets écologiques du traitement des nuisances et de l'usage des engrais,

1. Bormann, F.H.; Likens, G.E. (1969). *The watershed ecosystem concept and studies of nutrient cycles*. In: *The ecosystem concept in natural resource management*. G.M. Van Dyke (Ed.), p. 49-76. The Academy Press, New York.

à la fois sur le sol (écosystèmes terrestres) et sur les rivières, les canaux d'irrigation et de drainage et les unités hydrologiques connexes (écosystèmes aquatiques)

Projet 10 du MAB. Ce projet concentre son action sur "les effets des grands travaux de génie civil sur l'homme et sur son environnement". L'irrigation des grands bassins fluviaux implique la construction de grands barrages, de canaux d'irrigation, grands et petits, de stations de pompage, etc. Le Projet 4 prend également en compte l'impact des grands travaux de ce genre.

Projet 12 du MAB. Ce projet a trait aux "interactions entre les modifications de l'environnement et les modifications génétiques et démographiques". Il concerne les migrations de populations. Le phénomène migratoire peut avoir pour conséquence un effet sensible à la fois sur la population des migrants et sur l'environnement nouveau. C'est précisément le cas pour les projets comportant une réinstallation sur beaucoup de vastes périmètres nouveaux de restauration dans les régions arides et semi-arides. Les échecs auxquels ont abouti certains de ces projets ont souvent pour cause la méconnaissance des incidences des migrations et l'ignorance des relations population-environnement.

Projet 13 du MAB. Ce projet s'intitule "perception de la qualité de l'environnement" et il est en relation avec les Projets 12 et 4, plus particulièrement pour ce qui a trait au peuplement des périmètres irrigués par des pasteurs nomades. Il est rare qu'une très forte modification de la "qualité de l'environnement" puisse se produire ; l'homme peut tolérer une transformation considérable, mais dans certaines limites, des conditions de son environnement.

2. L'APPROCHE INTEGREE D'UNE RECHERCHE AXEE SUR DES PROBLEMES CONCRETS CONCERNANT LES PROJETS D'IRRIGATION

2.1 Introduction

L'irrigation a été mise au point par les civilisations anciennes de façon lente et progressive. Les mesures correctives destinées à pallier des effets néfastes ont donc probablement été introduites simultanément ou presque ; dans chaque cas, les surfaces concernées lors de la restauration d'une terre en vue de l'irrigation demeuraient faibles.

Mais avec l'introduction de l'énergie mécanique, il est devenu techniquement possible de mettre en oeuvre de grands projets d'irrigation. Au début de ce siècle, en particulier, de vastes superficies de terres arides et semi-arides ont été récupérées grâce à l'introduction de l'irrigation. L'histoire d'un projet d'irrigation nouveau, moderne, est habituellement celle d'un accroissement satisfaisant de la production agricole au cours des 5 à 10 premières années de son existence, suivi d'un déclin lent, mais quelquefois brutal, jusqu'à ce que soient entrepris les travaux de restauration.

Distinction entre projets nouveaux et projets de restauration. Les projets nouveaux de mise en valeur par irrigation sont actuellement mis en oeuvre dans les pays de cette région à un rythme constamment croissant. En outre, de nombreuses zones irriguées sont étendues par étapes ; bien souvent, la limite entre un programme nouveau et la restauration d'un programme ancien en difficulté s'avère floue. Néanmoins, dans un but de simplification, la réunion a décidé d'introduire la distinction suivante : le projet nouveau a pour point de départ une occasion favorable (des terres arides et la disponibilité de l'eau), alors que la restauration a pour origine un problème (il y a déjà quelque chose de défectueux). Le projet nouveau pose des problèmes de recherche plus vastes ; le projet ancien demande de répondre à une question plus précise. De nombreux sites présentent des caractères propres aux deux situations. On peut encore considérer comme nouveau un périmètre dont le peuplement humain n'a pas encore commencé ; les anciens périmètres sont ceux en plein fonctionnement, et dont le peuplement a été réalisé.

Caractéristiques de l'approche intégrée de la recherche. On connaît désormais avec précision les pièges dans lesquels on risque de tomber lorsque l'on tente de résoudre un problème complexe en s'appuyant sur la connaissance d'une seule discipline. Si un réseau d'irrigation est conçu par un spécialiste des problèmes de santé, il pourra ne pas présenter de risques sur le plan sanitaire, mais s'avérer irréalisable parce

que trop onéreux. Si, comme c'est fréquemment le cas, un ingénieur spécialiste en irrigation dresse lui-même les plans des canaux et des villages, il se peut que ces derniers se révèlent désagréables pour la population qui les habitera. Si l'on fait appel séparément à des géologues, des ingénieurs, des agronomes, des géographes, des pédologues et d'autres spécialistes pour étudier une région, il est peu probable que le système d'irrigation soit bien compris dans sa complexité. Il ne s'agit pas là d'une approche intégrée, car les décisions prises en fonction d'un seul aspect peuvent soulever des problèmes dans un autre domaine. L'hydrologue peut estimer que la rotation des cultures ou le calendrier d'arrosage sont fixés, alors que l'agronome peut estimer impossible de modifier en quoi que ce soit le débit des canaux. C'est seulement lorsqu'ils commencent à discuter leurs points de vue respectifs avant de déposer leurs propres conclusions respectives que l'on pourra commencer à parler d'intégration. Par conséquent, la recherche intégrée exige bien davantage qu'un simple travail interdisciplinaire. Elle exige la volonté d'écouter ceux qui ont des connaissances dans d'autres domaines, de sacrifier certaines solutions qui semblent optimales lorsqu'elles sont isolées, mais ne le sont plus si on les considère dans le contexte global du plan. La réunion a mis l'accent sur le fait qu'il est nécessaire d'associer les disciplines dès que possible lors de la planification du projet, et que des contacts étroits doivent être maintenus entre les différentes personnes concernées pendant le déroulement des travaux.

La réunion a vivement ressenti la nécessité de concentrer les efforts plus particulièrement sur les recherches à long terme, et de limiter ces recherches aux actions qui constituent la base d'une planification et d'un aménagement ultérieurs, et qui sont susceptibles de déclencher une action rapide là où cela s'avère nécessaire. Une recherche insuffisamment planifiée et menée sur un large front tend à devenir vague et diffuse, et on court le risque de tenter de "mesurer tout" ce qui pourrait concerner le sujet. Cette attitude fournit beaucoup de données, mais peu de conclusions.

Pour donner à la recherche intégrée une base efficace, on peut tenter de répondre à des questions opérationnelles. On trouvera ci-dessous quelques exemples formulés par un atelier du SCOPE, de questions clés qui nécessitent des réponses interdisciplinaires :

- (1) Des mesures adéquates ont-elles été prévues pour assurer le drainage et le lessivage, afin de maintenir en permanence la qualité du sol et de l'eau dans la zone racinaire ?
- (2) La gamme complète des diverses mesures possibles pour assurer l'efficacité de l'utilisation de l'eau a-t-elle été passée en revue ?

- (3) Les incidences probables sur les écosystèmes aquatiques et les écosystèmes terrestres adjacents ont-elles été envisagées ?
- (4) A-t-on déterminé les coûts des mesures à prendre dans les domaines de l'économie et de la santé publique, afin de s'assurer que les bénéfices attendus du développement des plantes cultivées et de la stabilité sociale seront effectivement obtenus ?

Pour réaliser dans les meilleures conditions possibles une recherche intégrée efficace, il convient que le projet ne soit pas mis en chantier dans son ensemble à un instant donné, mais que soit mis en route en premier lieu un projet-pilote d'irrigation (souvent encore assez vaste), ou une partie du projet d'irrigation ou du programme de restauration, ou encore que le programme se déroule par phases successives, chacune d'entre elles apportant des données utiles à la planification des stades ultérieurs.

Projets de démonstration. La réunion a jugé souhaitable que les projets de démonstration intégrés du Projet 4 du MAB soient inclus aussi bien dans les projets nouveaux que dans les projets de restauration de la région. Néanmoins, il apparaît clairement que dans les secteurs nouvellement irrigués les projets de démonstration feront porter tous leurs efforts sur la surveillance continue de l'ensemble du système et de ses sous-systèmes, alors que, dans les zones de restauration, l'accent sera mis sur une approche du type étude de cas concret historique afin de découvrir dans quelles conditions et pour quelles raisons la situation a évolué dans un sens favorable ou non. Les sites de démonstration qui ont été proposés par les pays de la région sont décrits dans le Chapitre 3.

2.2 Les programmes d'irrigation nouveaux

Les objectifs des programmes d'irrigation nouveaux sont dans la plupart des cas : le développement économique, la production alimentaire destinée à une population en voie d'accroissement, ou la réimplantation d'une communauté sans terres. La recherche peut se proposer de savoir si un programme donné est susceptible de satisfaire en outre certains autres besoins au plan national. Lorsqu'une proposition constructive aura été formulée et que les objectifs auront été définis, le stade suivant consistera en une reconnaissance des ressources utilisables.

Les ressources disponibles dans le cadre d'un programme d'irrigation quel qu'il soit sont la terre, l'eau, la population et les crédits. Toutes ces ressources ont un caractère fini et limité en quantité comme en qualité. Telle qu'elle est généralement conçue aujourd'hui, la reconnaissance fera appel aux travaux de géologues, d'hydrologues, d'agronomes, d'ingénieurs spécialisés en irrigation, de

chimistes et de climatologues. Parmi les études généralement non prévues à ce stade, mais cependant tout aussi importantes, figurent celles des sociologues, des géographes, des spécialistes de la santé et des anthropologues, études qui doivent porter à la fois sur la population autochtone de la région destinée à être irriguée et sur la population considérée comme susceptible d'émigrer vers cette région ultérieurement. Il conviendrait que soient effectuées, dès les premiers stades, des études d'environnement sur la pollution potentielle, afin que soient insérées dans le plan d'exécution les mesures permettant d'y remédier.

Les résultats de l'étude de reconnaissance constituent la base des grandes décisions concernant le programme d'irrigation. La décision la plus importante est celle de passer ou non à l'action, mais il se peut qu'elle ait été déjà prise à un niveau plus élevé, longtemps avant que les scientifiques ne soient concernés. Mais il intervient ensuite toute une série de décisions concernant la nature du projet, le mode d'irrigation, le type de structure socio-économique, la prévision de services dans les domaines de la santé publique ou autres. L'adéquation de la solution retenue dépendra de la valeur de la reconnaissance et de l'importance des discussions et des consultations qui se seront déroulées entre spécialistes de diverses disciplines concernées avant que les propositions ne soient formulées.

Surveillance continue. Les projets de démonstration fourniront de nombreuses occasions de suivre le déroulement de l'évolution, et d'évaluer les processus qui amèneront à la situation souhaitée. La réunion a mis l'accent sur la nécessité de prévoir sur le site la réalisation d'une surveillance continue des processus physiques, écologiques, socio-économiques et autres, qui se manifestent lorsque les équilibres initiaux ont été perturbés. Il conviendra de procéder à intervalles déterminés à une évaluation des résultats, afin de repérer de façon quantitative l'évolution de ces processus et de détecter les effets néfastes éventuels bien avant que les dégâts aient pris un caractère irréparable.

2.3 Les programmes de restauration

Un projet de restauration a pour point de départ l'apparition d'un ou de plusieurs problèmes consécutifs à une planification initiale défectueuse, à des développements structurels imprévus, ou à une conjonction de ces deux causes. L'objectif principal est alors de restaurer et/ou d'améliorer la productivité du sol. Il peut y avoir aussi d'autres objectifs, analogues à ceux mentionnés dans le chapitre précédent consacré aux projets nouveaux : alimentation d'une population en voie d'accroissement, ou réimplantation d'une population sans terres.

La réunion a tenté de dégager quelques lignes directrices en vue de la mise au point d'une méthodologie de la restauration. Le premier stade consiste en une identification des problèmes éventuels, parmi lesquels il peut être utile de distinguer des problèmes physiques, chimiques et biologiques.

En ce qui concerne les problèmes physiques, il a été considéré que l'engorgement et la salure, l'érosion du sol et la sédimentation, les pertes d'eau par infiltration, le compactage du sol et la dégradation de sa structure sont des phénomènes fréquents et graves, et qu'ils revêtent par conséquent une grande importance. Engorgement et salure ont en particulier provoqué une diminution extrêmement sensible, et parfois même un arrêt complet, de la production agricole dans de nombreux projets d'irrigation des régions arides. L'absence de mesures adéquates en vue du drainage et l'efficacité généralement faible de l'utilisation de l'eau d'irrigation sont les raisons principales de ces difficultés. La qualité chimique des eaux d'irrigation de diverses origines constitue l'une des principales contraintes du caractère chimique. La carence en éléments nutritifs et l'insuffisance d'activité bactérienne dans les sols irrigués semblent constituer des problèmes biologiques importants ; un autre de ces problèmes réside dans le développement des adventices et des plantes aquatiques qui colmatent les canaux, les stations de pompage, etc.

Il a été souligné qu'un certain nombre de problèmes parmi ceux envisagés ci-dessus peuvent se poser très peu de temps après la mise en place des projets d'irrigation nouveaux, du fait d'une conception défectueuse, ou de décisions de planification qui ne reposaient pas sur les résultats de recherches entreprises au préalable dans des projets-pilotes. Dans le cas des projets nouveaux, les leçons à tirer des erreurs commises dans les projets anciens peuvent s'avérer d'une grande utilité.

Problèmes sanitaires. L'extension généralisée des maladies plus ou moins liées à l'eau, telles que paludisme, bilharziose (schistosomiase), et parasitoses intestinales, a été considérée comme le principal problème des zones irriguées actuelles dans le domaine de la santé. Ces maladies affectent les paysans, et il en résulte une dégradation de la production agricole. De plus, des maladies nutritionnelles sont susceptibles de se manifester. Il n'est pas toujours facile de prévoir les problèmes de santé ; les maladies peuvent se propager de façon inattendue. Néanmoins, les causes essentielles des maladies existantes sont l'insuffisance des conditions d'hygiène et la pollution de l'eau d'irrigation.

Autres problèmes d'ordre humain. Les problèmes sanitaires sont des problèmes humains, mais certaines autres conditions caractéristiques des zones irriguées peuvent aussi affecter les habitants, directement ou non. C'est ainsi que les habitants de

périmètres irrigués nouveaux sont confrontés avec certains des problèmes suivants :

- (1) difficulté d'adaptation physique et psychologique à un environnement nouveau ;
- (2) difficultés d'intégration sociale ;
- (3) défaut d'éducation et de connaissances techniques ;
- (4) migration saisonnière de la population des zones irriguées vers les centres urbains industrialisés, en vue d'accroître ses revenus ;
- (5) migration définitive des populations rurales des zones irriguées vers les agglomérations urbaines.

Parmi les autres problèmes humains, la réunion a évoqué le caractère désuet de la législation aux droits d'eau et à la propriété de la terre, ainsi que les transformations de la société rurale qui ont une incidence sur la direction du groupe familial et sur l'ambiance familiale (enfants refusant leur assistance).

Il est rarement possible de prévoir la plupart de ces problèmes, car ils sont le résultat d'une transformation progressive des conditions sociales, fréquemment liée aux modifications du niveau de vie, de l'éducation, et de l'économie de la nation en voie de développement. De tels problèmes sont susceptibles d'entraver fortement les opérations de restauration, car la réussite des efforts accomplis dans d'autres domaines (physique ou médical) en vue d'améliorer un projet en déclin est souvent entièrement déterminé par la réussite obtenue dans la résolution des problèmes humains.

Problèmes économiques. Dans les projets d'irrigation anciens les mieux conçus, les facteurs de production tels que dimension des parcelles, dimension des exploitations, degré de mécanisation, type d'irrigation, étaient adaptés aux conditions économiques qui prévalaient au moment de la conception du projet. Ces facteurs ont, pour beaucoup d'entre eux, subi depuis une transformation, progressive ou brutale, du fait de l'évolution de l'économie, mondiale ou nationale, des progrès techniques réalisés en agriculture (rapport entrées/sorties), et de l'amélioration des niveaux de vie. La réunion a pris conscience du fait que, dans l'ensemble de la région concernée, les problèmes économiques ci-après ont pris un caractère dominant : les exploitations sont de dimensions trop faibles pour être aménagées efficacement ; les techniques de culture et d'irrigation sont démodées ; et les facilités en matière de crédit sont insuffisantes. En conséquence, le revenu net per capita du paysan est devenu trop faible dans beaucoup de projets d'irrigation anciens, ce qui suffit à affecter gravement la production agricole.

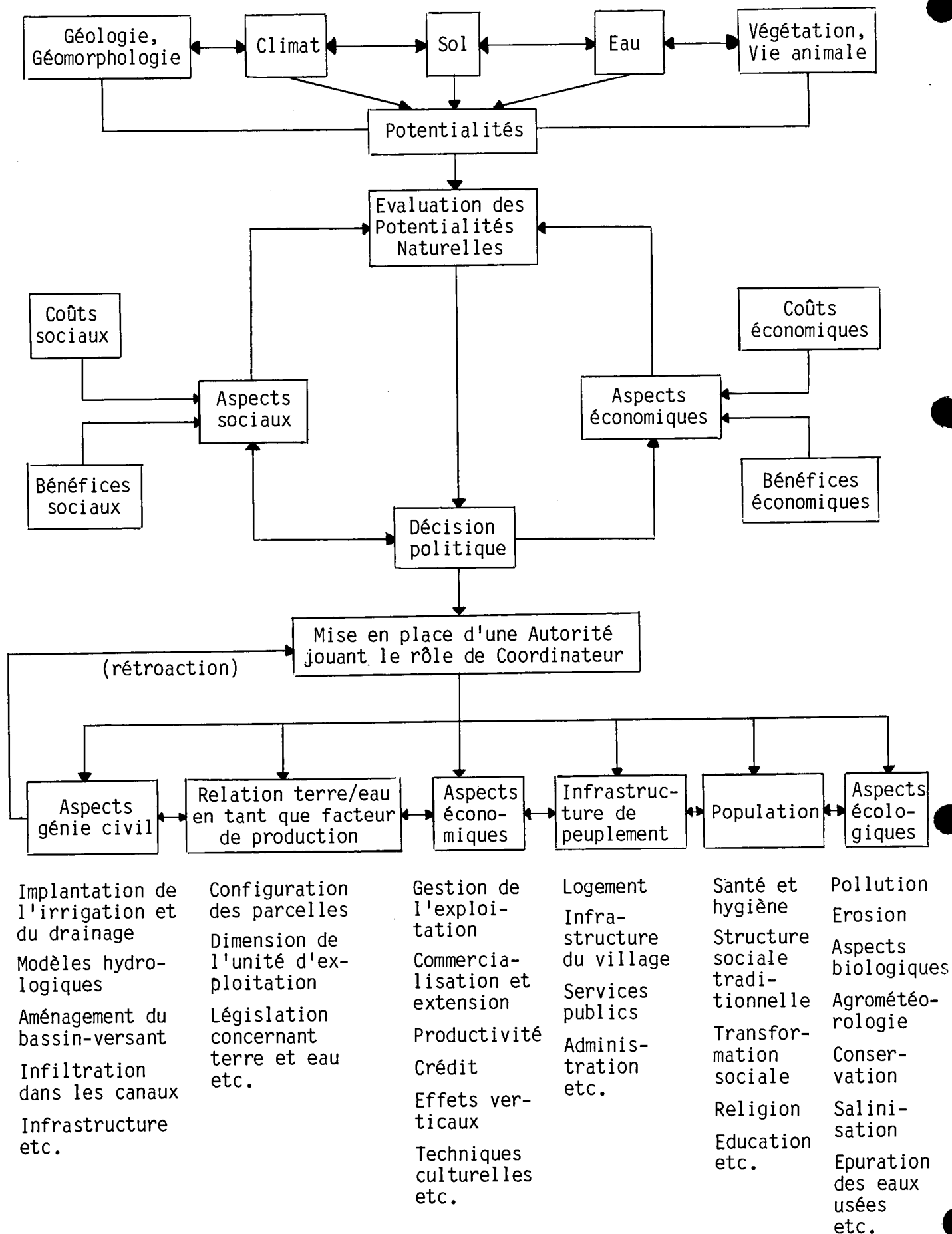
2.4 L'aspect conception dans les projets nouveaux et les projets de restauration

La mise en route d'un projet nouveau ou d'un projet de restauration offre la possibilité de réaliser un aménagement rationnel du sol et de l'eau, correspondant aux besoins et aux souhaits de la population locale. La réunion a mis l'accent sur le fait que la réussite du projet dépend dans une large mesure de la qualité de la conception, ou du plan, élaborés au départ de l'opération. Pour qu'un plan soit satisfaisant, il faut qu'il repose sur les résultats des recherches et qu'il soit une émanation de la conjonction des efforts des chercheurs, des planificateurs, des décideurs, et de la population concernée. En un lieu donné, il est probable qu'il existera un certain nombre de facteurs clés nécessitant une étude particulièrement attentive. Mais il est possible d'identifier de façon générale les diverses composantes de l'ensemble d'un projet d'irrigation. Ces diverses composantes sont représentées sur la Figure 2 de façon à mettre en évidence leurs interrelations ; on remarquera que l'irrigation elle-même ne constitue qu'un aspect du problème parmi beaucoup d'autres. Considérant le projet d'irrigation comme un système, la réunion a délimité les divers domaines d'une recherche interdisciplinaire, chaque domaine correspondant à l'un des sous-systèmes. Ceux-ci peuvent être ainsi décrits :

Le sous-système interface terre-eau. Un sujet majeur pour la recherche interdisciplinaire se situe sur le terrain, à l'extrémité du canal tertiaire ou terminal. Les problèmes qui se posent ici concernent : les besoins en eau, la répartition de l'eau entre les parcelles et entre les exploitants, la rotation des cultures, et le mode de tenure du sol. Chacun de ces sujets peut faire l'objet d'une étude intégrée. Trop fréquemment, la solution apportée à l'un de ces problèmes a été choisie à l'avance, de sorte que les solutions apportées aux autres sont déterminées indirectement, et simplement en fonction du premier aspect. L'étude devrait être réalisée par une équipe constituée en principe de : un ingénieur spécialiste en matière d'irrigation, un agronome, un pédologue, un sociologue, et un juriste, ceci constituant un minimum si l'on souhaite parvenir à une utilisation efficace de l'eau et prendre convenablement en considération toutes les alternatives possibles.

Le sous-système canal (aspects génie civil). Ce sujet prend généralement le pas sur tous les autres dans une opération de planification de l'irrigation ; il est délibérément abordé après la prise en considération des décisions au niveau de la parcelle, à petite échelle, car celles-ci peuvent parfois avoir des incidences sur les dispositions à prendre dans le domaine du génie civil. Ces dispositions jouent certainement un grand rôle dans la vie des paysans qu'elles rendent plus ou moins agréable. Outre le génie civil appliqué aux problèmes hydrauliques, plusieurs disciplines ont ici un rôle à jouer. Ce sont les vitesses d'écoulement de l'eau qui détermineront si les

Figure 2. Diagramme des processus entrant en jeu dans la planification de l'irrigation.



escargots vecteurs de la bilharziose peuvent se développer ici. Si l'on adopte un système de canaux secondaires assez largement dimensionnés, se comportant un peu comme des retenues d'eau, les vitesses d'écoulement linéaires seront faibles et les escargots se multiplieront dans ces canaux avec lesquels l'homme est souvent en contact. Le tracé des canaux nécessite d'être effectué avec attention du fait de l'importance possible des pertes en eau le long de leur cours ; là encore, il s'agit d'un domaine d'étude intégrée. C'est également sous cette rubrique que doivent être considérés la plupart des aspects de la planification à grande échelle des terres dans une zone d'irrigation nouvelle.

L'interface économique. L'aspect économique de l'irrigation est trop souvent circonscrit à une analyse du coût du capital, des dépenses apparentes, et des bénéfices financiers de la vente des récoltes. Une étude convenablement exécutée tiendra compte également du coût social des maladies, des bénéfices et des coûts de la réinstallation des populations, et des importantes modifications économiques consécutives à l'irrigation, sans oublier les effets qui se manifestent en aval sur les rivières qui assurent la fourniture de l'eau. Il existe également de nombreuses liaisons indirectes entre le programme d'irrigation et certains aspects géographiques et économiques, par exemple l'intensification de la circulation et la nécessité de routes nouvelles, la circulation des denrées, les besoins en emplois secondaires et tertiaires et la commercialisation des cultures. La structure du marché exercera une influence à la fois sur les pratiques culturelles et sur les besoins en crédit du petit exploitant. Ces études nécessitent de faire appel non seulement à l'économiste, mais encore aux agronomes, aux sociologues et à d'autres encore.

Le sous-système socio-culturel. Les participants ont souligné que l'on a trop souvent tendance à oublier que les personnes installées sur les périmètres d'irrigation constituent une population vraie, dotée d'une culture, de liens familiaux et d'un style de vie préexistant. Cet aspect est rarement pris en considération lors de la mise en place des communautés et de la définition des tâches dévolues aux nouveaux habitants. Un exemple extrême est celui de l'implantation de nomades qui passent de l'élevage du bétail à la culture.

La santé de l'homme ne dépend pas seulement des facilités qui lui sont offertes en matière de soins médicaux, mais aussi des contacts qu'il a avec l'eau (compte tenu des risques de bilharziose et de leptospirose) et de la possibilité de multiplication des moustiques dans les mares persistantes et les rizières inondées. Au Kenya l'irrigation a entraîné une multiplication par cinq des populations de moustiques ; en outre, la composition spécifique a évolué en faveur des espèces vecteurs les plus efficaces du paludisme. On observe une certaine tendance à peupler les périmètres

d'irrigation de cellules familiales ne comportant que quelques enfants en bas âge, ce qui peut aggraver la charge des personnes qui sont laissées sur place avec les aînés, et se traduire par des structures familiales incomplètes dans les zones irriguées, alors qu'il s'agit de sociétés dans lesquelles les anciens jouent traditionnellement un rôle important de conseillers et de gardes d'enfants. Là encore, pour que la recherche s'avère efficace, il faudra faire appel à des sociologues, des géographes, des physiciens et des agronomes.

Dans la quasi totalité des zones irriguées, anciennes ou nouvelles, il existe des peuplements humains. Ces peuplements ont trop souvent été implantés et installés sans se préoccuper suffisamment du confort et de la santé de l'homme. Lorsque l'irrigation et le logement sont placés sous la responsabilité de deux ministères différents, les lieux d'implantation des villages risquent d'être situés à proximité des grands canaux, négligeant ainsi les dangers de la bilharziose. En outre, il est fréquent que les maisons soient elles-mêmes construites par un concessionnaire dans un style déroutant pour ceux qui vont les habiter (et qui auraient dû être consultés). Il reste encore à découvrir des méthodes d'un coût acceptable pour la distribution d'une eau à usage domestique de bonne qualité et pour l'évacuation des déchets. Les paysans vivaient auparavant, dans une large mesure, dans des peuplements dispersés plutôt que groupés ; jusqu'à maintenant, il est rare que l'on ait envisagé, même superficiellement, la possibilité de reconstituer de tels habitats dispersés sur des secteurs irrigués. Il conviendrait que l'architecte, le sociologue rural, l'ingénieur spécialisé dans les problèmes de santé publique et l'architecte paysagiste unissent leurs efforts dans les études préparatoires à la planification des peuplements.

Tout projet d'irrigation a des incidences profondes sur les écosystèmes terrestres et aquatiques voisins. Les engrais et les pesticides pollueront les eaux résiduaires ; il faut écarter le risque considérable de l'engorgement et de la salinisation ; il peut s'avérer nécessaire de protéger une végétation ou une faune sauvage caractéristiques. Il conviendra par conséquent que les études concernant ces processus, et qui impliquent l'intervention des spécialistes déjà évoqués plus haut, soient entreprises dès le stade de la planification.

2.5 Exemples d'études intégrées concernant des domaines d'études spécifiques

Pour illustrer avec davantage de détails quelques-uns des domaines spécifiques auxquels les projets de démonstration du Projet 4 du MAB doivent consacrer leurs efforts, il convient de passer en revue quelques-uns des problèmes qui exigeraient une solution au stade de la planification dans un certain nombre de programmes, nouveaux ou de restauration.

La réutilisation des eaux d'irrigation. Dans plusieurs zones irriguées, on a envisagé la possibilité de réutiliser l'eau collectée par les drains du site principal. Cette eau est différente de l'eau d'origine : elle contient une plus grande quantité d'engrais et de sels ; elle peut aussi contenir certains résidus de pesticides. Ceux-ci peuvent rejoindre la nappe phréatique et s'y disposer. Si des matières organiques et des eaux usées sont additionnées aux eaux de drainage, les risques dus à l'eau sur le plan sanitaire s'accroissent. La réutilisation de l'eau soulève par conséquent beaucoup de problèmes, que l'on ne sait pas encore résoudre parfaitement ; il se peut que la solution réside parfois dans le remplacement des canaux par des tuyaux. Dans tous les cas, la solution ne pourra être trouvée que par la conjonction des connaissances d'un chimiste du sol, d'un biologiste, d'un toxicologiste et de spécialistes de l'irrigation et de la santé publique.

Drainage. L'irrigation et le drainage sont deux opérations complémentaires. Lorsqu'une terre est irriguée sans qu'un drainage ait été prévu, naturel ou artificiel, le niveau de la nappe phréatique s'élève, provoquant l'engorgement et la salinisation, dans les projets anciens comme dans les projets nouveaux. L'abaissement de la nappe phréatique au moyen de canaux, de puits busés ou d'autres structures dans un secteur déterminé, peut toutefois provoquer une remontée des eaux dans les secteurs adjacents. De nombreux travaux ont été consacrés à cette question, en Egypte et au Pakistan par exemple, par des ingénieurs spécialistes du drainage qui utilisaient le plus souvent une approche sectorielle. De toute évidence, les problèmes relatifs au drainage font nécessairement appel à une approche interdisciplinaire, et à la conjonction des connaissances et des compétences non seulement d'ingénieurs, mais aussi de pédologues, d'agriculteurs, d'hydrologues et d'écologistes.

Sédentarisation des nomades. L'un des objectifs d'un certain nombre de programmes d'irrigation nouveaux, parmi lesquels celui du Soudan, est celui de la sédentarisation des nomades. Ces populations, lorsqu'elles sont obligées de se fixer en un endroit déterminé, se trouvent confrontées à une désorganisation totale de leur existence : on les installe dans des maisons qui remplacent leurs tentes ; leurs troupeaux s'amointrissent, et parfois même disparaissent. Elles doivent se consacrer à une agriculture d'un type particulièrement rigide et exigeant, et c'est l'ensemble de leur culture qui doit se transformer. Quels sont les changements réellement essentiels ? Quel est le type d'habitat le mieux adapté à la fois à leur vie nouvelle et à leurs coutumes antérieures ? Dans quelle mesure ces nomades peuvent-ils conserver leur troupeau sur des terres irriguées, et de quelle manière cette situation peut-elle s'accorder avec leur nouveau type d'agriculture ? Les questions de ce genre ont été trop souvent ignorées de l'administration qui tend à adopter une approche sectorielle et à oublier l'origine de la population concernée. Le fait

d'être physiquement déplacé constitue par lui-même un traumatisme ; il en résulte que ces populations sont moins aptes à affronter les autres transformations. Il s'agit là d'un thème à la fois intéressant et urgent, qui requiert les efforts conjoints du sociologue, du géographe, du vétérinaire, de l'agronome et de l'anthropologue.

Déplacements de populations. Lorsque l'objectif majeur de l'irrigation consiste à produire, en faisant appel à une mécanisation poussée, une culture de haut rendement pour stimuler l'économie ou procurer des aliments aux zones urbaines, il se peut que la population des zones exploitées en culture sèche ou sous irrigation ancienne ait un effectif supérieur à celui que le système nouveau peut utiliser : dans ce cas, un processus de réimplantation inverse peut se manifester, d'où un problème différent qui nécessite la participation de scientifiques de disciplines variées, afin de trouver une solution qui n'abandonnera pas les premiers habitants dans une situation plus critique qu'elle ne l'était à l'origine.

Education des paysans. Il est extrêmement important de prendre des mesures en prévision de l'éducation et de la formation de ceux qui devront vivre et travailler dans le périmètre irrigué, en particulier lorsqu'ils ne sont pas familiarisés avec l'agriculture irriguée moderne. Ce sujet n'a pas fait l'objet de beaucoup d'études. Il sera nécessaire de faire appel aux services des spécialistes de l'éducation des adultes, de l'extension agricole et de l'agronomie, de l'irrigation, et de la sociologie.

Utilisation des déchets d'origine humaine. Dans les régions irriguées, les rejets humains soulèvent des problèmes qui nécessitent une approche intégrée. La hauteur de la nappe phréatique et la probabilité de communication entre les fosses d'aisance et l'eau accroissent le risque d'une multiplication rapide de *Culex fatigans* et de la pollution d'une eau susceptible d'être utilisée pour la boisson. La défécation au hasard provoque la prolifération de nombreuses maladies, et la bilharziose est une des conséquences spécifiques de l'insuffisance des installations sanitaires ou de leur non utilisation. Les moyens de traitement des rejets humains auxquels il est habituellement conseillé d'avoir recours dans les pays chauds, c'est-à-dire les fosses d'oxydation, sont peut-être difficilement applicables dans ce cas ; de plus, ils n'empêchent pas la dissémination des germes pathogènes par le biais de l'infiltration en profondeur. De toute évidence, il s'agit là d'un problème que doivent affronter tous ensemble le spécialiste des questions sanitaires, le biologiste, l'agronome, le sociologue et l'hydrologue.

3. LES SITES DE DEMONSTRATION DU MAB

Chacune des délégations a fourni à la réunion l'information concernant les sites sur lesquels pourraient être mis en place, dans son pays, des projets de démonstration du MAB, projets soit nouveaux, soit de restauration. Il a été admis que, dans ces projets, la conception de la recherche serait du type de l'approche intégrée et axée sur des problèmes concrets, telle qu'elle a été décrite dans le Chapitre 2.

3.1 Les critères du choix des sites de démonstration intégrés du MAB

Lors du choix des sites des projets de démonstration du MAB, la réunion a admis que soient retenus les critères ci-après. Il devrait être pratiquement certain que les travaux d'irrigation nouveaux, ou les travaux de restauration, seront réellement entrepris dans la zone où le projet de démonstration est implanté ; toutefois, la planification de ces travaux ne devrait pas être trop avancée, afin que la recherche puisse participer à leur préparation. En outre, le site devrait être représentatif des conditions d'environnement et des problèmes susceptibles d'être rencontrés dans d'autres projets d'irrigation, dans le pays et dans la région.

Lorsqu'il s'agit de projets de restauration, les problèmes soulevés devraient être caractéristiques des zones d'irrigation anciennes des régions arides. Pour préparer une étude de cas concret consacrée aux expériences réalisées en matière d'irrigation dans le passé et sur la zone à restaurer, il conviendra que l'histoire de cette zone soit bien connue et que soit aisément accessible l'information concernant les modifications d'ordre physique, chimique ou autres, responsables de la dégradation de la productivité du sol.

Il faut également que le site soit accessible, à l'abri des perturbations qui pourraient affecter les moyens de la recherche et ses actions, et à proximité d'institutions de recherche ou d'enseignement supérieur.

Les objectifs du projet de recherche devront être définis avec suffisamment de clarté pour permettre une évaluation ultérieure de la recherche, et pour permettre aussi à d'autres pays de la région d'apprécier dans quelle mesure le projet de recherche répond à leurs préoccupations.

3.2 Les sites de démonstration proposés par les pays participants

Les propositions ci-après concernant les projets de démonstration intégrés ont été présentés à la réunion par les délégués :

Afghanistan

Projet d'irrigation nouveau : le Projet Kunduz Khan Abad

Projet de restauration : le Projet Helmand

Le *Projet Kunduz Kham Abad* est situé dans le district de Kunduz, en Afghanistan septentrional. La zone concernée représente une partie des bassins des rivières Khan Abad et Ali Abad ; elle a une superficie de 30 000 ha environ. L'altitude est de 700 mètres et l'eau provient de la rivière Khan Abad. Les sols de cette zone sont des limons alluviaux et loessiques, profonds et fertiles. Le climat est continental sec : les précipitations annuelles totales sont de 250 mm, et les températures moyennes en hiver et en été sont respectivement de -15 et +39° C. Le vent est fréquent en été. La végétation naturelle est constituée de graminées annuelles et d'une brousse pérenne. L'utilisation du sol consiste en une culture en sec de blé et d'orge. Dans les secteurs irrigués, on cultive le coton, le riz, le blé, le maïs, etc. La zone du projet elle-même n'est pas peuplée pour le moment, mais la population des secteurs déjà irrigués vit d'une agriculture de subsistance et de l'élevage du bétail.

Le projet d'irrigation proposé sera terminé dans les trois années à venir. L'irrigation sera du type par bassins et par sillons ; les cultures pratiquées seront le blé, l'orge, le maïs et le coton. Il n'existe pas d'autre grand projet d'irrigation à proximité.

Il existe des instituts de recherche dans le district, mais pas dans la zone concernée. Des possibilités de logement existent. Les cartes ne sont pas encore établies, mais les études préliminaires ont été entreprises et les constructions démarrent sous peu. Jusqu'à présent, il n'y a pas eu de recherches concernant l'irrigation, mais l'Institut de Recherches du Ministère de l'Agriculture et la Faculté d'Agriculture de l'Université de Kaboul se préparent à les entreprendre.

Le *Projet Helmand* est localisé dans l'ouest de l'Afghanistan. La vallée du Helmand couvre une superficie de 260 000 km² ; la superficie de la zone du projet représente 60 000 ha. L'altitude est parfois supérieure à 1 000 mètres, et les sols sont d'origine alluviale et loessique. Le climat est favorable à la culture, les températures moyennes étant respectivement de 91° F (33° C) et 46° F (8° C) en juillet et en janvier. Les précipitations annuelles n'excèdent pas 125 mm, et tombent essentiellement en hiver. Le projet Helmand est le plus important projet d'irrigation du pays.

Les habitants de la zone du projet sont issus de nombreuses régions différentes d'Afghanistan. Peuplement et distribution des terres sont encore en cours.

La zone est facilement accessible. Les possibilités de logement sont excellentes. Il existe des écoles d'agriculture et un certain nombre de stations de recherches agricoles. On peut disposer de compte-rendus de recherches sur les divers aspects du projet.

Les problèmes qui se posent sont essentiellement l'engorgement, la salinisation, et les questions liées à l'existence fréquente d'un sous-sol imperméable. Pour cette raison, et peut-être aussi pour d'autres, la production agricole a été décevante jusqu'à présent.

Egypte

Projet d'irrigation nouveau : le Projet Nubareya occidental

Projet de restauration : le Projet Nubareya occidental

Le *Projet Nubareya occidental* est situé dans le nord de l'Egypte, à l'Ouest du delta du Nil. Sa superficie est de 120 000 ha ; l'eau d'irrigation provient du Nil. Le climat est aride, et semi-aride à proximité de la côte méditerranéenne, avec des précipitations annuelles comprises entre 150 et 200 mm. La température annuelle moyenne est de 20,6° C, oscillant entre 14,0° C en janvier et 26,9° C en août. Les sols sont principalement des limons, reposant sur des dépôts lagunaires et deltaïques.

Les terres sont mises en valeur par le Gouvernement Egyptien, et cultivées pendant un certain nombre d'années par l'Organisation de la Mise en Valeur et de la Culture. La terre est alors louée aux cultivateurs.

L'irrigation est du type irrigation de bordure et par sillons de grande longueur. L'eau est amenée jusqu'à la parcelle par des canaux ouverts. Les cultures principales sont des cultures de plein champ, des fourrages et des cultures fruitières (en particulier la vigne).

Les actions de mise en valeur ont commencé il y a environ 15 ans. Mais d'autres extensions de la zone concernée sont encore prévues. Les secteurs les plus anciens du Projet Nubareya exigent un travail de restauration. Les extensions actuelles peuvent servir de support aux recherches consacrées à des terres nouvellement irriguées. (Voir également le résumé d'une étude de cas concret dans cette zone en Annexe 6).

Il conviendrait que les recherches entreprises dans les zones destinées à être irriguées soient orientées vers un accroissement de l'efficacité de l'irrigation et vers le contrôle du niveau de la nappe phréatique. Les difficultés qui nécessitent d'envisager une restauration dans les secteurs anciens sont principalement l'engorgement, la salinisation, la prolifération des maladies et d'autres problèmes d'ordre humain. La zone concernée est facilement accessible et le logement ne pose pas de problèmes. On dispose de cartes à des échelles variées et de compte-rendus de recherches de base, ainsi que d'études de cas concrets concernant l'histoire de la restauration dans cette zone.

Il existe dans cette région une station de recherches agronomiques disposant d'un laboratoire et de certaines installations de terrain. Dans la zone elle-même, ou à proximité d'Alexandrie ou du Caire, sont installées diverses institutions scientifiques : les facultés d'agriculture de l'Université d'Alexandrie et des trois universités du Caire, le Centre national de la recherche (Département des sols), l'Institut du désert (Alexandrie et le Caire), le Ministère de l'irrigation (Le Caire), l'Académie des sciences et de la technologie, l'Institut pour le peuplement humain, et les facultés de Médecine des Universités d'Alexandrie et du Caire.

Iran

Projet d'irrigation nouveau : Projet Mahabad

Projet de restauration : Projet Mahabad

Le *Projet Mahabad* est localisé dans le Nord-Ouest de l'Iran, à proximité de la ville de Mahabad, dans l'Ouest de la province de l'Azerbaïdjan. Sa superficie est de 21 500 ha, et son altitude d'environ 1 500 mètres au-dessus de la mer. L'eau d'irrigation provient pour l'essentiel d'une retenue sur la rivière Mahabad (300 millions de m³). L'eau provient également de puits, profonds ou non, et de sources. Le climat est semi-aride, avec une pluviosité annuelle moyenne de 423 mm, et une température mensuelle moyenne de 24,1° C au cours du mois le plus chaud (juillet) et de 0,1° C pour le mois le plus froid (janvier). Les sols sont le plus souvent d'origine alluviale, avec certaines taches de sols résiduels. Les cultures pratiquées traditionnellement dans ce secteur sont le blé, la betterave à sucre, la luzerne, le tournesol et la pomme de terre.

Les habitants actuels, au nombre de 23 000 environ, vivent dans 24 villages implantés dans le périmètre. Mais on prévoit un doublement de la population lorsque le projet sera entièrement réalisé. Cette population vit de l'agriculture et de l'élevage.

La zone proposée convient à la recherche, tant pour la mise en valeur de terres nouvelles que pour la restauration de secteurs irrigués existants, car le nouveau projet doit être introduit dans une région où l'agriculture irriguée était traditionnellement pratiquée depuis de nombreuses années.

Les principaux objectifs de ce projet sont l'utilisation efficace des ressources en terre et en eau, et l'accroissement de la production agricole et laitière. L'objectif socio-économique direct est de procurer davantage d'emplois dans ce secteur grâce à la création d'industries agricoles. De la sorte, l'exode de la population rurale vers les villes devrait ainsi diminuer. Les grands problèmes qui se posent actuellement sont la pollution de l'eau, la salure et les maladies de l'homme. Ces problèmes plaident en faveur d'une approche de type intégré.

Le périmètre est aisément accessible. On dispose de cartes de types et d'échelles différents, d'une étude des sols et d'autres rapports de recherches.

Le Collège agricole Rezaieh de la ville de Resaieh (à 150 km au Nord-Ouest de Mahabad) est l'institut d'enseignement et de recherches le plus proche du périmètre.

Irak

Projet d'irrigation nouveau : Projet Thartar

Projet de restauration : Projet Dujaila

Le *Projet Thartar* est localisé à 65 km au Nord-Ouest de Bagdad. L'altitude moyenne est de 65 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le climat est aride. Le projet est situé dans le bassin du Thartar, dépression partiellement couverte d'une mince lame d'eau (lac Thartar) et de marécages salés. Une partie de ce bassin, représentant 6 000 km² environ, sera mise en valeur grâce à l'eau prélevée dans le Tigre et amenée jusqu'au périmètre par un canal de 50 km de long.

La végétation naturelle est constituée de roseaux et d'halophytes. Les sols sont fortement gypseux. La population locale vit de la pêche, de l'élevage, et pratique la culture itinérante en sec. La région, qui dispose de certaines facilités du point de vue logement, est reliée par route à la ville d'Abu Ghraib, distante de 90 km. On trouve à Abu Ghraib un collège agricole et divers instituts de recherches.

Le problème principal est celui de l'existence de la salure dans un périmètre irrigué dépourvu de drainage naturel (dépression). Des études de base ont été effectuées dans les domaines de la dynamique de la végétation, des poissons et de la

faune, ainsi qu'en géologie. La zone concernée est une entité physique qui se prête bien par elle-même à une recherche de type intégré (sol, hydrologie, santé, biologie, agriculture).

Le *Projet Dujaila* est localisé sur la rive droite du Tigre, à proximité de la ville de Kut. Sa superficie est de 100 ha. Le climat est aride, avec des températures très élevées en été (les températures moyennes en juillet et août sont respectivement de 35,7 et 35,0° C). La température moyenne de janvier est de 11,4° C. La pluviosité annuelle se situe au voisinage de 138 mm, les précipitations n'ayant lieu qu'en hiver.

Les sols du périmètre ont une origine alluvionnaire. Le profil du sol est stratifié, avec des lits alternés d'une argile lourde et compacte qui réduisent la perméabilité. Le sol est dans une très large mesure affecté par une salure moyenne à élevée.

Le périmètre avait été mis en valeur entre 1937 et 1949. Le système d'irrigation était satisfaisant, mais il n'avait pas été prévu de drainage au départ. Un système de drainage réalisé par la suite ne comportait que des drains à ciel ouvert, sans drainage des champs. Il en est résulté un accroissement continu de la teneur en sel du sol, mais aussi des eaux de la nappe. Les cultivateurs ont dû quitter leurs terres, et ils ont émigré vers les villes.

Le gouvernement actuel a mis en route dans ce secteur un grand projet de développement agricole ; des crédits importants lui ont été affectés dans le cadre du Plan quinquennal actuel (1976-1980). Le *Projet Dujaila* est conçu comme un projet agro-industriel ; il conviendra par conséquent de prêter attention également aux effets des effluents industriels sur le sol et sur l'eau. Il se pose aussi un problème social de réimplantation de population. Les systèmes agricoles originels devront être modifiés. Ce projet est un authentique projet de restauration qui tirera un grand profit d'une approche scientifique de type intégré.

Pakistan

Projet d'irrigation nouveau : *Projet Tarbela*

Projet de restauration : *Projet Mona*

Le *Projet Tarbela* est situé dans le Nord-Ouest de la province frontière du Pakistan. La zone concernée fait partie du bassin de l'Indus. L'eau nécessaire à l'irrigation proviendra d'une grande retenue due aux barrages de Tarbela. Dans l'ensemble, cette zone n'est pas densément peuplée. Les cultivateurs vivent d'une

agriculture pluviale ou de l'élevage du bétail. Jusqu'à présent, l'irrigation n'est pas pratiquée.

L'objet principal du projet est d'irriguer une vaste région dans laquelle pourront être réimplantées les personnes déplacées en vue de la construction, à proximité de là, d'un autre barrage, le barrage de Mangla. Cette population avait été à l'origine réinstallée dans le Punjab, loin de son environnement socio-économique traditionnel, et beaucoup de personnes ont émigré. On pense que cette population se sentira davantage chez elle à proximité de Tarbela.

Les universités et instituts de recherches proches sont ceux de Peshawar (Université de Peshawar et Académie pakistanaise pour le développement rural). Un Institut de recherche agronomique existe à Tarnab.

On dispose d'une information de base abondante concernant le Projet du barrage de Tarbela.

Le Projet Mona. Le Projet Mona est situé dans le Centre-Nord du Projet de lutte contre la salure et de mise en valeur, localisé dans le Chaj Doab (zone située entre les rivières Chenab et Thelum) dans la plaine de l'Indus. Dans la zone commandée par le canal de distribution du Mona, ce projet couvre une superficie de 55 000 ha environ. Il a été choisi comme siège des études-pilotes dans le domaine du drainage et de la mise en valeur. L'objectif de ce projet est d'obtenir, à partir de la recherche opérationnelle, une information permettant d'identifier et d'appliquer les techniques de l'agriculture et de l'hydrologie profonde les mieux adaptées aux secteurs en développement de ce pays. Les études et les recherches sont menées dans les directions suivantes :

- (1) Mise au point de méthodes et de techniques pour parvenir à une utilisation rationnelle de l'eau et du sol ; mise en valeur des sols salés en vue du développement agricole.
- (2) Etudes hydrologiques détaillées visant à déterminer les incidences de la gestion des eaux profondes, les modifications de la qualité des eaux et les performances des puits busés.
- (3) Fonctionnement, maintenance, restauration et remplacement des puits.
- (4) Gestion des ressources en eau.
- (5) Détermination des relations optimum entrées-sorties de la culture ; et
- (6) Transfert de la connaissance aux cultivateurs, et action en faveur de sa mise en application ; extension des résultats de la recherche au périmètre du projet.

Récemment, le Projet de lutte contre la salure et de mise en valeur a mis en route un programme d'études qui vise à améliorer les techniques de gestion des eaux (afin d'obtenir des profits économiques substantiels à partir de ressources en eau limitées). L'Université agricole de Lyallpur est étroitement associée à ce projet, et elle apporte sa collaboration dans les études concernant les aspects socio-économiques, l'agronomie, le sol, l'irrigation, les services de vulgarisation, etc. Ce projet, bien équipé pour mener des recherches en laboratoire et sur le terrain, peut constituer le noyau d'un projet de démonstration, et il mérite d'être étendu et développé lorsque ce sera possible. Le rayon d'action peut s'étendre à la zone plus vaste constituée, dans le Chaj Doab, par les systèmes de canaux du Thelum, supérieur et inférieur, ce qui représente une superficie cultivable d'un demi à un million d'hectares, ainsi que, dans un but de comparaison, aux 35 000 ha de cultures pluviales de la plaine de Gujrat. Le réseau de communications de la région est bon. On dispose de données sur les repères stratigraphiques et de rapports consacrés à divers aspects des problèmes posés.

Soudan

Projet d'irrigation nouveau : Projet Rahad

Projet de restauration : Périmètre Khashm et Girba

Le *Projet Rahad* est localisé le long de la rive Est de la rivière Rahad (affluent du Nil Bleu), au Sud-Est de la ville de Wad Medani. Il se situe à 250 km environ de Khartoum. La zone en question est plate, son altitude ne dépassant pas 500 mètres ; elle fait partie intégrante du bassin du Nil et elle sera irriguée avec l'eau du Nil Bleu. Dans trois ans, lorsque le projet sera entièrement réalisé, le périmètre s'étendra sur 150 000 ha.

Les sols sont des argiles noires fissurées à haute teneur en argile (groupe des vertisols). Le climat est de type semi-aride, avec des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 400 mm, des températures estivales élevées, et un climat doux en hiver. La végétation naturelle est une brousse à acacias avec des graminées et plantes herbacées diverses.

Actuellement, la région est peu peuplée, sauf à proximité du cours d'eau, là où l'agriculture permanente a permis d'atteindre des densités plus élevées. Il est proposé que l'effectif des exploitants du projet se situe au voisinage de 14 000. Compte tenu des familles, la population permanente approchera des 100 000 personnes. Il s'agit donc d'un programme de peuplement massif.

L'agriculture actuelle est une agriculture pluviale et d'irrigation traditionnelle. On observe également un certain nomadisme pastoral, ainsi que des travaux saisonniers dans les périmètres cotonniers. Le type d'agriculture proposé pour le projet repose sur la culture irriguée du coton, des arachides et des légumes, et sur la production commercialisée du bétail. Le taux de culture sera de 84 %. Les objectifs principaux visés sur le périmètre consistent à obtenir des cultures d'exportation, et à stabiliser ou à améliorer le bien-être de la population locale. Il est prévu de se heurter à quelques grands problèmes :

- (1) Les efforts de peuplement n'engendreront pas d'emblée de bons cultivateurs.
- (2) Les pasteurs nomades auxquels seront concédées les terres conserveront leurs animaux.
- (3) Sur ses frontières, la zone du projet sera soumise à l'invasion continue des pasteurs nomades.
- (4) Le paludisme et la bilharziose séviront.
- (5) L'irrigation par sillons de grande longueur soulèvera des problèmes écologiques nouveaux.
- (6) Le projet aura une incidence sur les déplacements du gibier, allant peut-être même jusqu'à les supprimer.

Le périmètre du projet est accessible par une route pavée ; le temps nécessaire pour venir en voiture de Khartoum ne dépasse pas 4 à 5 heures. Il existe sur le périmètre un hôtel géré par le gouvernement. On peut disposer d'une collection étendue de cartes. A proximité du périmètre sont implantés : l'Université de Khartoum, la Ferme de recherche agricole de Wad Medani, et le Conseil supérieur de la recherche. La zone concernée a fait l'objet de diverses études, et on dispose de rapports concernant son agriculture, son économie et ses sols. Des études terminées récemment portent sur les aspects sociaux et sur la manière d'intégrer dans le projet l'élevage du bétail.

Il est proposé qu'à l'avenir les recherches soient orientées vers la mise au point d'un concept et d'une méthode permettant l'intégration des pasteurs nomades dans un grand projet d'irrigation. En cas de réussite, un tel concept aurait une incidence sur l'avenir des pasteurs nomades au Soudan et ailleurs. Il faut pour cela réunir sur le terrain une équipe appropriée en vue d'une recherche de type intégré ; cette équipe comporterait des anthropologues, des vétérinaires, des agronomes, des économistes, des géographes, des planificateurs régionaux, des représentants locaux du gouvernement et des experts en matière de fiscalité.

Le périmètre *Khashm El Girba* est situé sur la rive Est de la rivière Atbara. Sa superficie globale se situe au voisinage de 200 000 ha, irrigués par gravité à partir du barrage de *Khashm El Girba*. Il est caractérisé par sa topographie très plane et par sa pente douce, qui conviennent au mieux à l'irrigation. Les sols se sont formés sur des dépôts palustres abandonnés par l'Atbara, rivière qui a son origine sur les roches basiques du plateau éthiopien. Il s'agit d'argiles profondes, fissurées, dotées d'une fertilité élevée. Comme les argiles de la Gezira, elles ne présentent pas de contre-indication pour l'irrigation, et on pense que les problèmes de salure ne se poseront pas.

Le périmètre a commencé à fonctionner en 1964, son objectif consistant à réinstaller les Nubiens déplacés des zones menacées par la construction du barrage d'Assouan, ainsi que les tribus nomades de la plaine de Butana. On se proposait de transformer une agriculture de subsistance en une économie de marché moderne grâce à l'utilisation intensive des ressources en sol et en eau, aux techniques nouvelles, à la meilleure qualité des graines, aux engrais, aux facilités dont on dispose pour la protection des végétaux, à la mécanisation, aux possibilités de crédit et aux facilités offertes dans le domaine de la commercialisation. Toutefois, après onze années de fonctionnement du projet, on constate qu'il reste encore beaucoup à faire pour parvenir à des niveaux de production satisfaisants, et pour donner satisfaction aux cultivateurs et aux tribus nomades qui parcourent cette zone.

Le niveau de production systématiquement faible sur le périmètre est attribué à des facteurs humains et à des facteurs physiques. Il reste encore beaucoup à apprendre dans le domaine des priorités à accorder lors de la planification des périmètres d'irrigation en vue de leur peuplement, comme c'est le cas à *Khashm El Girba*. L'obsession du développement et de la mutation économique s'est traduite par un manque d'intérêt généralisé pour les traits caractéristiques traditionnels de la population concernée. Il existe une frontière entre les institutions anciennes et les formes modernes. Il en résulte que la population adhère de moins en moins aux efforts nécessaires au développement. Dans le périmètre de *Khashm El Girba*, les plans avaient été établis sans tenir suffisamment compte des religions des populations concernées. Des recherches seront nécessaires pour évaluer selon une approche intégrée les efforts accomplis actuellement sur le périmètre. Il est également nécessaire d'étudier les obstacles qui freinent le développement de la production agricole ; il conviendrait de mettre tout particulièrement l'accent sur les problèmes de gestion de ressources en eau : besoins des plantes cultivées, moyens de parvenir à une utilisation rationnelle de l'eau, contrôle des mauvaises herbes, et rôle des eaux dans la propagation des endémies.

Syrie

Projet d'irrigation nouveau : Projet Euphrate

Projet de restauration : Projet Ghab

Le *Projet Euphrate*. Description non parvenue.

Le *Projet Ghab* est situé dans l'Ouest de la Syrie. On a drainé un marécage d'environ 12 000 ha, dont 35 sont dévolus à la culture du coton et de la betterave à sucre. La récupération de ces terres est le premier projet-pilote syrien dans le domaine de la restauration de sites de ce genre pour irrigation et drainage.

Les terres du Ghab sont très productives, et ce secteur dispose du plus important réseau de canaux d'irrigation du pays. Le sol est riche en calcium et en sels. Le climat est semi-aride. La pluviosité annuelle est en moyenne de 374 mm. La température oscille entre 30° C en été et 5° C en hiver.

La densité de population du Ghab est en lente augmentation, le gouvernement encourageant la population à cultiver les terres assainies.

La région est d'accès facile par la route et la voie ferrée. Des possibilités de logement existent dans les villages voisins édifiés sous l'égide du gouvernement. La ville de Hama, située dans la zone du Ghab, abrite un collège vétérinaire ; à Homs, en bordure du Ghab, existe un institut de pétrochimie. Il existe quelques centres de recherche agricole dans la zone en question.

Les études concernant le Ghab ont été réalisées avec la collaboration d'organisations internationales. D'autres études ont abordé les problèmes consécutifs aux inondations dues au calibrage insuffisant du canal de drainage principal, et qui ont entraîné une remontée de la nappe phréatique. Les facteurs à l'origine de ces débordements sont très complexes. La cause principale réside dans une conception défectueuse des canaux d'irrigation et de drainage, qui ne tenait pas compte des différences de niveau du sol ni des différences de fertilité. Comme autres raisons, on peut signaler le colmatage des canaux de drainage, le développement des adventices aquatiques et l'insuffisance de l'entretien. En résumé, les grands problèmes qui nécessitent d'entreprendre une restauration sont la salure et l'engorgement, eux-mêmes à l'origine de problèmes économiques, sociologiques et sanitaires.

4. INFORMATION ET DOCUMENTATION

Pouvoir accéder à l'information existante et aux connaissances acquises dans le domaine de l'irrigation, des régions irriguées et des problèmes liés à l'irrigation (grâce aux sources de documentation disponibles), est un préalable important à tout développement efficace de la recherche et à toute action de formation. Les participants ont observé que, bien que la région ait déjà fait l'objet de nombreuses recherches concernant les divers aspects de l'irrigation, ce qui ressort clairement des rapports présentés à la réunion par les différents pays, la documentation concernant ces recherches et l'information sur les institutions et les personnes concernées est extrêmement dispersée. La réunion a estimé nécessaire d'entreprendre à la fois au plan national et au plan régional, le regroupement de l'information concernant les actions de recherches et de formation entreprises dans le contexte du Projet 4 du MAB.

Il a été recommandé d'agir selon trois directions : (1) établissement d'un inventaire des institutions nationales de recherche et de formation dans le domaine de l'irrigation et du drainage ; (2) établissement de bibliographies nationales et création d'un réseau de documentation régional, en vue d'améliorer l'accessibilité de l'information scientifique et technique sur les actions de recherche intégrées dans les projets d'irrigation et de drainage ; et (3) amélioration de la diffusion de l'information concernant le Projet 4 du MAB et les actions du Programme MAB en général.

4.1 Inventaire des institutions nationales de recherche et de formation

La réunion a recommandé la préparation d'un inventaire des ressources de la région en matière de recherche et de formation, pour ce qui concerne les disciplines impliquées dans une approche intégrée des projets d'irrigation et de drainage. Cet inventaire devrait prendre pour base l'information fournie par les Comités nationaux du MAB pour les pays de la région, et il devrait se concentrer sur les ressources en institutions et en hommes. Il pourrait être préparé en collaboration avec la FAO, qui est en train de réaliser des inventaires de ce genre dans le même domaine, de façon à éviter tout double emploi. Il conviendrait également de rechercher la collaboration du PNUE. La réunion a également jugé souhaitable de préparer un rapport sur les besoins actuels de la région en institutions et en hommes dans les disciplines concernées par la recherche intégrée en matière d'irrigation et de drainage. Ces deux tâches pourraient être remplies par le Comité régional *ad hoc* de coordination (voir Chapitre 6).

4.2 Moyens disponibles en matière de documentation

En ce qui concerne la documentation et l'information scientifique et technique, la réunion a établi une distinction entre les actions nationales et régionales. Il a été proposé qu'au niveau national le Comité national du MAB pour chacun des pays de la région élabore une bibliographie (comportant si possible des résumés synthétiques de chacune des références citées) de toutes les recherches terminées ou en cours présentant une importance pour la réalisation et la coordination des actions du futur Projet 4 du MAB. Il faut que cette bibliographie soit distribuée aussi largement que possible aux institutions et aux chercheurs impliqués dans ce Projet MAB.

Au niveau régional, l'une des tâches du Comité régional de coordination proposé (voir Chapitre 6) serait d'inciter les pays participants à créer des centres de documentation et d'information scientifique et technique susceptibles d'aborder tous les domaines de recherche et toutes les disciplines concernés par l'impact écologique de l'irrigation dans les grands bassins fluviaux de la région. Les subdivisions à prévoir pourraient être : irrigation et drainage, socio-économie, sols, agriculture, flore et faune, santé publique, anthropologie, etc. Une autre tâche d'un centre de documentation pourrait être d'identifier les problèmes pratiques et les lacunes de nos connaissances dans le domaine de l'impact écologique de l'irrigation.

4.3 Diffusion de l'information sur les actions du MAB

En vue de faciliter la coopération au plan régional, il a été suggéré que les Comités nationaux du MAB publient des bulletins d'information nationaux, et qu'un bulletin régional soit publié, en anglais et en arabe. Le Comité national égyptien pour le MAB a proposé de se charger de cette publication, dans la mesure où il pourrait être aidé par l'Office régional de l'Unesco pour la science et la technologie dans les états arabes, et par le Secrétariat de l'Unesco pour le MAB. Il convient donc de transmettre au Comité national égyptien pour le MAB toute information utile concernant les actions du Programme MAB en général, et du Projet 4 du MAB en particulier. Il conviendrait également que les responsables des équipes de recherche constituées de spécialistes de pays extérieurs à la région soient précisément informés de la nécessité de rendre compte au Président du Comité national du pays hôte pour le MAB de la mise en route, du déroulement et des résultats de leurs travaux. Ce compte-rendu devrait être présenté régulièrement, au moins tous les six mois.

Enfin, la réunion régionale a recommandé que les organisations internationales, les gouvernements, les conseils et les instituts de recherche participant aux actions du Projet 4 du MAB dans la région unifient leurs efforts en vue d'améliorer la circulation de l'information sur les sujets concernant ce projet, et plus particulièrement pour intensifier leurs travaux bibliographiques.

5. FORMATION

La réunion a mis l'accent sur le fait que, pour être pleinement efficace, les travaux du Projet 4 du MAB doivent être complétés par des actions de formation à différents niveaux. Il conviendrait que cette formation ait lieu, non pas dans des salles de classe, mais surtout sur ou à proximité des sites de démonstration du MAB, là où il est plus facile de prendre conscience des problèmes pratiques et d'en tirer une expérience.

Il conviendrait également de s'intéresser à l'introduction de l'éducation sur les problèmes d'environnement dans le contenu des différents systèmes d'éducation des pays concernés.

Les participants sont parvenus à un large accord sur le fait que la formation doit se situer aux niveaux suivants :

- (1) Formation au niveau de l'enseignement supérieur grâce à des enseignements interdisciplinaires, réalisés sur le site de démonstration, à l'usage de scientifiques de niveau universitaire. Le thème serait en relation avec l'impact écologique de l'irrigation.
- (2) Formation de techniciens grâce à des cours de formation, réalisés là encore sur le site de démonstration lui-même, à l'usage de techniciens de niveaux variés. Il conviendrait de mettre l'accent sur l'approche intégrée des problèmes d'irrigation et de drainage. Mais il est hautement souhaitable que soient dispensés des enseignements ayant pour objet d'améliorer les compétences techniques spécifiques (techniques d'irrigation modernes, problèmes agronomiques, économie de l'eau, hygiène tropicale, etc.), sous réserve que soient suffisamment mis en avant les aspects interdisciplinaires.
- (3) Programmes pour les cultivateurs, organisés sur le site de démonstration, afin de montrer aux cultivateurs les résultats de bonnes pratiques d'irrigation au niveau de l'exploitation. Il conviendra dans ce cas de mettre l'accent sur l'importance de "l'interface terre-eau" à l'extrémité du canal terminal. Il conviendrait aussi de montrer les interrelations des divers autres sous-systèmes, et en particulier les désastres qui sont susceptibles de se produire du fait d'un entretien défectueux des canaux d'irrigation et de drainage.
- (4) Séminaires à l'usage des directeurs et des décideurs, consacrés à l'approche interdisciplinaire des divers problèmes rencontrés dans les grands projets de mise en valeur et de restauration. La réunion a admis que l'échec d'un grand projet est fréquemment imputable à l'incompétence de la direction. C'est plus particulièrement le cas des projets d'irrigation, dont la réussite exige impérativement une excellente gestion.
- (5) Des cours de formation destinés aux étudiants et aux techniciens dans le domaine de la collecte, du traitement et de l'analyse des données.

Il conviendrait que les actions de formation décrites ci-dessus bénéficient des encouragements et du soutien actif du Comité régional *ad hoc* de coordination proposé pour le Projet 4 du MAB. (Voir Chapitre 6).

La réunion a également suggéré que soient organisés des séminaires régionaux sur divers thèmes importants tels que : la salure et son contrôle, l'aménagement du sol et des eaux, les besoins en eau et leur contrôle, les problèmes sanitaires et la lutte contre les vecteurs, la pollution de l'eau et son contrôle, etc. Il faudrait que ces séminaires se réunissent de préférence à proximité des sites de démonstration du MAB ; seuls y participeraient des scientifiques et techniciens impliqués dans des projets de démonstration. Il a été admis que chaque pays devrait choisir un ou deux sites de démonstration sur lesquels les autres pays membres confrontés à des problèmes analogues pourraient bénéficier de certains moyens dans le domaine de la formation.

6. LES MECANISMES DE LA MISE EN OEUVRE ET DE LA COORDINATION

Comme il est indiqué dans les chapitres précédents de ce rapport, la réunion a défini des priorités pour ce qui concerne les actions de recherche et de formation dans les pays du Nord-Est de l'Afrique et au Proche et au Moyen-Orient, là où existent des projets de développement des grands bassins fluviaux basés sur l'irrigation. La réunion a commencé à déterminer les sites spécifiques sur lesquels pourraient être entreprises des actions de recherche et de formation intéressantes pour la région, et à définir les caractères principaux de ces actions. Dans la réalisation d'un programme de ce genre, les questions telles que les cadres régionaux de la coopération, ou encore les mécanismes de la coordination et de la réalisation aux niveaux national et régional, revêtent une importance déterminante.

6.1 Un réseau régional de projets de démonstration complémentaires

Le cadre de base qui est proposé pour l'organisation des actions du MAB dans la région comporte un nombre limité (1 ou 2 par pays) de projets de démonstration intégrés. Bien que chacun de ces projets de démonstration ait, d'un point de vue strictement administratif, un caractère essentiellement national, il est souhaité qu'il puisse remplir en fait une fonction régionale. Il conviendra de choisir les sites en fonction de leur représentativité vis-à-vis des conditions de l'environnement, et des problèmes susceptibles de se poser sur les autres sites d'irrigation de la région. L'échange de personnel et d'information à l'intérieur de cette région, et les diverses mesures prises en faveur de la formation au niveau régional, constitueront un aspect essentiel des activités du projet de démonstration.

6.2 La coordination au plan national

Liaison entre recherche intégrée et planification du développement. Pour ce qui concerne l'ensemble du processus d'élaboration des programmes de recherche et de formation, il est important de faire participer des aménageurs et des décideurs aux divers stades essentiels de la conception et de la réalisation des projets de terrain, afin de s'assurer que ces actions correspondent bien aux besoins réels du développement, et qu'il existe bien des mécanismes permettant une introduction rapide et efficace des résultats de la recherche dans le processus de planification. Il conviendrait que les Comités nationaux du MAB encouragent la création de procédures permettant de relier étroitement les fonctions de la recherche intégrée et les nécessités pratiques de la planification de l'aménagement et du développement. Il en résultera une insertion beaucoup plus facile dans le processus de développement des critères de l'environnement et des diverses options possibles pour l'aménagement : dans ces

conditions, ces procédures joueront un grand rôle dans le processus global de développement des pays de la région.

Les structures administratives traditionnelles adoptent souvent une approche de type sectoriel, ce qui se traduit par le fait que des services administratifs différents s'occupent des divers aspects d'un projet d'irrigation : c'est pourquoi la réunion a recommandé que les différents pays prennent en considération la création, pour chaque projet d'irrigation, d'une instance de coordination, dotée de pouvoirs de décision, et composée de représentants des divers ministères et agences concernés. Une telle instance devrait être constituée dès le début du stade de planification, avant que les recherches ne soient entamées.

Les Comités nationaux du MAB. Les Comités nationaux du MAB peuvent jouer un rôle appréciable pour faciliter la coopération régionale et internationale ; ils sont chargés de définir et d'organiser les actions de recherche sur les problèmes nationaux analogues à des problèmes du même genre existant ailleurs. La réunion a toutefois observé que, dans quelques pays de la région, les Comités nationaux du MAB n'étaient encore qu'à l'état embryonnaire, et ne disposaient pas de moyens leur permettant de jouer ce rôle. La réunion a fait appel à l'Unesco pour qu'elle accorde un soutien particulier permettant la mise en place de ces Comités dans tous les pays.

6.3 La coordination au plan régional : le Comité régional *ad hoc* de coordination pour le Projet 4 du MAB

Afin de renforcer les Comités nationaux du MAB de la région, et pour encourager la coopération entre les pays de cette région, de même qu'entre le Secrétariat du MAB et les pays en question, la réunion a considéré comme très souhaitable la création d'un Comité de coordination *ad hoc* pour la région, comportant un représentant de chacun des sept pays participants.

Les fonctions du Comité de coordination seraient les suivantes :

- (1) stimuler les pays afin qu'ils mettent rapidement en place des Comités nationaux du MAB, et qu'ils leur accordent le soutien financier nécessaire pour travailler efficacement ;
- (2) stimuler et poursuivre la coopération entre les Comités nationaux du MAB de la région ;
- (3) préparer des inventaires scientifiques et contribuer à la mise sur pied de centres de documentation et d'information conformément à ce qui est énoncé au Chapitre 4 ;

- (4) développer et maintenir des liens entre les chercheurs et les institutions concernés par les actions de recherche du Projet 4 du MAB dans la région ;
- (5) faciliter la coopération dans le domaine des aspects international et inter-régional du Projet 4 du MAB, et étudier les voies et moyens d'un échange d'information et de personnel à tous les niveaux ;
- (6) recommander l'emploi de méthodologies permettant de comparer entre eux les résultats des recherches ;
- (7) coordonner la diffusion des rapports provisoires et finaux concernant le Projet 4 du MAB ;
- (8) encourager et faciliter la formation de scientifiques, de techniciens, de cultivateurs, de gestionnaires et de décideurs, comme il est énoncé au Chapitre 5 (Formation) ;
- (9) encourager et faciliter l'organisation de séminaires et de cours de formation sur des thèmes spécialisés, comme il est énoncé au Chapitre 5 (Formation) ;
- (10) encourager et faciliter les voyages d'étude de spécialistes dans les pays membres pour appréhender certains problèmes spéciaux.

La réunion a suggéré que la structure et le mode de fonctionnement du Comité régional de coordination soient les suivants :

- (1) Le Comité sera constitué de sept membres à part entière, à raison d'un pour chacun des sept pays participants de la région, désigné par le Comité national du MAB. En outre, peuvent être invités des membres *ad hoc* ou un expert extra-régional originaires de pays extérieurs à la région, mais participant aux recherches du Projet 4 du MAB dans la région. Ces membres seront également désignés par le Comité national correspondant du MAB.
- (2) Les membres du Comité éliront en leur sein un président dont le mandat sera d'une année, avec possibilité de renouvellement. Le président sera l'un des membres du groupe international de consultants pour le Projet 4 du MAB, et il sera chargé de tenir informé, aussi souvent que nécessaire, le Conseil international de coordination du MAB du déroulement et des difficultés des travaux réalisés dans le cadre régional.
- (3) Le Comité de coordination se réunira une fois par an, si possible. Lorsque ce sera possible et souhaitable, le siège de la réunion sera fixé alternativement dans les sept pays membres.
- (4) Il conviendra de désigner des sous-groupes pour assurer en cas de besoin, le bon déroulement des opérations dans des secteurs déterminés. Si l'on souhaite parvenir à une collaboration régionale et internationale très poussée, les principes de base à respecter seront essentiellement la possibilité d'exécution et la souplesse.

En résumé, les fonctions principales du Comité de coordination consisteraient à superviser le développement d'ensemble et la cohésion des actions du Projet 4 du MAB

dans la région, dans le cadre des instructions et des avis du Conseil international de coordination. Un corollaire important résiderait dans le maintien des contacts avec d'autres tentatives régionales et avec d'autres actions inscrites dans le cadre d'ensemble du Programme MAB. On pourrait également mentionner certaines autres tâches spécifiques, par exemple celle de vérifier que les copies des documents concernant les données de base de la recherche, et les communications scientifiques provisoires ou définitives issues d'autres régions du globe sont multipliées et disponibles dans la région.

6.4 L'aide de l'Unesco

L'élaboration de propositions sérieuses concernant les projets de recherche, et en particulier des besoins en crédits, est évidemment du ressort des pays eux-mêmes. La réunion a admis que lors de l'exécution d'actions du type MAB, les pays de la région auraient certainement besoin de l'aide du Secrétariat du MAB. Elle fait appel au Secrétariat pour : (1) assister les Comités nationaux du MAB pour l'organisation de réunions régionales sur certains thèmes déterminés, et de visites de scientifiques et de consultants originaires ou non de la région ; (2) envisager la désignation d'un fonctionnaire régional de l'Unesco qui serait principalement responsable du Projet 4 du MAB, mais aussi des autres projets du MAB ; et (3) étudier avec le PNUJ la possibilité d'accorder un concours financier pour faciliter le fonctionnement des projets de recherche et de démonstration intégrés et des actions de formation et d'information connexes en cours dans la région.

7. RESUME DES RECOMMANDATIONS

En conclusion, la "Réunion régionale sur les besoins en matière de recherche et de formation intégrées dans le Nord-Est de l'Afrique et au Proche et au Moyen-Orient, sous l'aspect des effets écologiques de l'irrigation dans les grands bassins fluviaux" a formulé, auprès du Conseil international de coordination du Programme MAB et des organisations internationales coopérantes, les recommandations suivantes, destinées à être étudiées et mises en application par les Comités nationaux du MAB :

- (1) *Il convient de mettre sur pied, dans les pays du Nord-Est de l'Afrique et du Proche et du Moyen-Orient, des projets de recherche et de démonstration et des actions de formation, dans le domaine de développement à grande échelle des bassins hydrologiques basé sur l'irrigation.*
- (2) *Il convient d'accomplir de nouveaux efforts pour adopter une approche interdisciplinaire intégrée dans les études et les recherches concernant l'irrigation.*
- (3) *Il convient de créer dans chacun des pays de la région deux projets de démonstration du MAB, l'un concernant un périmètre d'irrigation nouveau, et l'autre un périmètre en service mais nécessitant une restauration. Il convient que ces projets soient situés dans des zones où il est à peu près certain que des travaux seront effectués, mais où les plans ne sont pas encore trop avancés, afin que la recherche puisse apporter son aide à la conception du dispositif. Le site devra être représentatif des conditions de l'environnement et des problèmes susceptibles de se poser dans d'autres périmètres d'irrigation de la région.*
- (4) *Pour qu'ils puissent fonctionner de façon efficace, il convient que les Comités nationaux du MAB bénéficient d'un concours adéquat de la part de leurs gouvernements.*
- (5) *Il convient de créer un Comité régional ad hoc de coordination pour le Projet 4 du MAB, afin de superviser le développement et la cohésion d'ensemble des travaux du Projet 4 du MAB dans la région. Il convient en particulier que ce comité apporte son concours aux Comités nationaux du MAB et assurer le maintien entre eux d'une coopération régionale ; qu'il crée et maintienne des liaisons entre les chercheurs et les institutions engagés dans les actions de documentation et de recherche du Projet 4 du MAB ; qu'il facilite la coopération internationale et inter-régionale ; qu'il encourage et facilite l'organisation de séminaires et de cours de formation s'adressant à des groupes-cibles différents ; qu'il coordonne la diffusion des rapports relatifs au Projet 4 ; et qu'il recommande l'utilisation de méthodologies permettant de comparer entre eux les résultats des recherches.*
- (6) *Il convient que les Comités nationaux du MAB encouragent la mise sur pied de procédures permettant d'associer étroitement les fonctions de la recherche intégrée et les impératifs pratiques de l'aménagement et du développement.*
- (7) *Il convient que les Comités nationaux du MAB de chacun des pays élaborent une bibliographie de toutes les recherches réalisées ou en cours d'exécution, et qui ont un caractère essentiel pour la réalisation et la coordination des actions futures du Projet 4 du MAB.*

- (8) *Il convient que les Comités nationaux du MAB apportent leur concours au Comité régional ad hoc de coordination dans la préparation d'un inventaire des institutions de recherche et de formation dans la région, inventaire qui mettra l'accent sur les ressources en institutions et en hommes dans le domaine des recherches concernant les projets d'irrigation et de drainage. Il convient de faire appel à la collaboration de la FAO et du PNUE.*
- (9) *Il convient de publier, en arabe et en anglais, un bulletin d'information régional. Le Bureau régional de l'Unesco ou le Comité national égyptien pour le MAB pourraient se charger de cette tâche. Lorsque ce sera possible, les Comités nationaux du MAB pourraient également publier des bulletins d'information nationaux.*
- (10) *Il convient que les organisations internationales, les gouvernements, les conseils de la recherche et les institutions qui participent au Projet 4 du MAB dans la région unifient leurs efforts en vue d'améliorer les voies actuelles de la circulation de l'information.*
- (11) *Il convient de mettre en place des centres de documentation et d'information scientifique et technique rassemblant tous les domaines et toutes les disciplines de la recherche concernés par l'impact écologique de l'irrigation dans les grands bassins fluviaux de la région. Dans l'attente de cette mise en place, il convient que les institutions de recherche existantes assument pour la région le rôle de services de documentation et d'information dans les secteurs de leur compétence propre ; par exemple, irrigation et drainage, socio-économie, sols, agriculture, flore et faune, médecine, anthropologie, etc.*
- (12) *Il convient d'organiser, de préférence sur les sites de démonstration ou à leur voisinage, des actions de formation s'adressant à différents groupes-cibles : scientifiques de niveau universitaire, techniciens de niveaux divers, cultivateurs, et directeurs et décideurs. Il convient aussi que les pays permettent l'accès à certains de leurs moyens de formation pour les autres états-membres confrontés à des problèmes similaires.*
- (13) *Il convient d'organiser des séminaires régionaux consacrés à divers thèmes importants tels que : la salure et son contrôle, les problèmes sanitaires et la lutte contre les vecteurs, la pollution de l'eau et son contrôle, etc.*
- (14) *Il convient que le Secrétariat de l'Unesco pour le MAB apporte son concours aux pays dans la réalisation des travaux du MAB, en fournissant une aide pour l'organisation des réunions régionales et pour les visites de scientifiques et de consultants, originaires ou non de la région. Il convient que le Secrétariat envisage de désigner un expert régional de l'Unesco qui serait principalement responsable du Projet 4 du MAB. Il convient en outre que le Secrétariat étudie avec le PNUE la possibilité d'accorder un concours financier visant à faciliter le fonctionnement des actions du Projet 4 en cours dans la région.*

ANNEXE 1

LISTE DES PARTICIPANTS

1. Délégues des pays de la région

AFGHANISTAN

Mohamed Afzal PAKMAL
Associate Professor of Sociology
Faculty of Letters and Humanities
Kabul University
Kabul

Mohamed Naim ASHRAFI
Vice Dean
Faculty of Economics
Kabul University
Kabul

Pir Mohamed AZIZ
Lecturer of Soils
Faculty of Agriculture
Kabul University
Kabul

EGYPTE

Abdel Halim A. EL DAMATY
Professor of Soils
Ain Shams University
Le Caire

Abdel Moneim EL MAHDY
Chairman of Botanical Resources
Laboratory
Desert Institute
Le Caire

Kamal H. HEFNY
Director
Institute of Ground Water Research
Ministry of Irrigation
Le Caire

IRAN

Ahmad DALAKI
Chief
Division of Environmental Research
Department of the Environment
Téhéran

Mozaffar DEGHAM
Unit Leader of Soil Ecology Group
Department of the Environment
Téhéran

Mehdi MONAJEMI
Soil and Water Expert
Agricultural Engineering Department
Ministry of Agriculture
Téhéran

IRAK

Saleh MUTLAK
Scientific Researcher in charge of
Environmental Pollution Unit
Research Institute of Natural Resources
Scientific Research Foundation
Baghdad

IRAK

Hikmat A. AL ANI
University Professor
Faculty of Agriculture
University of Baghdad
Abu-Ghraib

PAKISTAN

S.M. QURESHI
Member (Science) Pakistan Science
Foundation
Islamabad

Haider Ali CHAUDHARI
Professor
Faculty of Agricultural Economics and
Rural Sociology
University of Agriculture
Lyallpur

S.B. HASSAN
Director
Planning and Co-ordination Cell
Irrigation Drainage and Flood Control
Research Council
Lahore

SOUDAN

Musa M. MUSA
Research Professor in Soil Microbiology
Agricultural Research Corporation
Medani

Al Taj Fadlall ABIDEL RAHIM
Lecturer
Faculty of Agriculture
University of Khartoum
Khartoum

Salih A. AL ARIFI
Lecturer
Department of Geography
University of Khartoum
Khartoum

SYRIE

Said AL HAFFAR
Chairman of the Soil Department
Faculty of Agriculture
University of Damascus
Damas

Issam JANO
Vice President
Tichreen University Lata
Latakia

2. Experts de pays en dehors de la région

FRANCE

J. DAMAGNEZ
Directeur de recherche
Institut national de la recherche agronomique
Avignon

PAYS-BAS

M.G. BOS
Irrigation and Drainage Engineer
International Institute for Land Reclamation
and Improvement
Wageningen

3. Observateurs

EGYPTE

A.G. ABDEL SAMIE
Vice President
Academy of Scientific Research and Technology
Le Caire

A. EL KASSAS
Assistant Director General for Science
Arab Organization for Education, Culture
and Science
Head of MAB National Committee of Egypt

M. ABAZA
Research Engineer
Desert Institute
Materia
Le Caire

Hassan M. ABDEL ALL
Associate Professor Soil Microbiology
National Research Centre
Le Caire

M. Nabil EL AWADY
Associate Professor
College of Agriculture
Ain Shams University
Le Caire

Ismail H. EL BAGOURI
Associate Professor
Soils Department
Desert Institute
Le Caire

M.A. EL DEEB
Associate Professor
National Research Centre
Le Caire

EGYPTE

Fatma EL GOHARY
Associate Professor
National Research Centre
Water Pollution Control Department
Le Caire

Shafika S. NASSER
Associate Professor
Public Health and Nutrition
National Commission for Unesco
Le Caire

Hussein A. YOUNES
Researcher
Soil and Water Use Laboratory
National Research Centre
Le Caire

Mohamed YOUSRY
Researcher
Soil and Water Use Laboratory
National Research Centre
Le Caire

PAKISTAN

Nehal Waris KHAN
First Secretary
Embassy of Pakistan
Le Caire

SOUDAN

Mutamed A. AMIN
Lecturer
Faculty of Medicine
University of Khartoum
Khartoum

4. Représentants des organisations internationales non-gouvernementales

Conseil international d'unions scientifiques
(CIUS)

Edgar B. WORTHINGTON
Président
Comité scientifique pour la recherche
sur l'eau (COWAR)

Gilbert F. WHITE
Président
Comité scientifique sur les problèmes
de l'environnement (SCOPE)

5. Représentants des organisations des Nations Unies

Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUÉ)

Leatitia OBENG
PNUÉ
Nairobi
KENYA

Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

Clyde E. HOUSTON
Secrétariat de la FAO
Rome
ITALIE

Abdulla A. ARAR
Spécialiste de l'aménagement régional
Bureau régional de la FAO
Le Caire
EGYPTE

Organisation mondiale de la santé (OMS)

J.O. DEOM
Expert
Division du paludisme et autres maladies parasitaires
Secrétariat de l'OMS
Genève
SUISSE

Chen KUO
Conseiller régional
Hygiène de l'environnement et ressources en eau
Bureau régional de l'OMS pour la Méditerranée orientale
Alexandrie
EGYPTE

Organisation météorologique mondiale (OMM)

Mahmoud Hassan OMAR
Director
Micrometeorology and Agrometeorology Division
Egyptian Meteorological Authority
Koubry El-Quobba
Le Caire
EGYPTE

6. Unesco

Secretariat

F. DI CASTRI
Secrétaire, Conseil international de coordination du Programme sur l'homme et la biosphère
Unesco
7, Place de Fontenoy
75700 Paris
FRANCE

Ch. KEMAL REHEEM
Chef
Bureau régional de science et de technologie de l'Unesco pour les états arabes
8, Abdel Rahman Fahmy Street
Garden City
Le Caire
EGYPTE

G. GLASER
Spécialiste de programme
Division des sciences écologiques
Unesco
7, Place de Fontenoy
75700 Paris
FRANCE

S. BLOEMENDAAL
Expert associé en sciences de l'environnement
Bureau régional de science et de technologie de l'Unesco pour les états arabes
8, Abdel Rahman Fahmy Street
Garden City
Le Caire
EGYPTE

J. DA COSTA
Spécialiste de programme
Division des sciences de l'eau
Unesco
7, Place Fontenoy
75700 Paris
FRANCE

C. GISCHLER
Spécialiste en sciences de l'environnement (hydrologie)
Bureau régional de science et de technologie de l'Unesco pour les états arabes
8, Abdel Rahman Fahmy Street
Garden City
Le Caire
EGYPTE

C. Bouery BADR

Consultants

David BRADLEY
Director, Ross Institute of Tropical Hygiene
London School of Hygiene and Tropical Medicine
Londres
ROYAUME-UNI

E. EHLERS
Professor of Geography
Geographisches Institut
355 Marburg
REPUBLIQUE FEDERALE D'ALLEMAGNE

F. FOURNIER
Consultant de l'Unesco
Division des sciences écologiques
Unesco
7, Place de Fontenoy
75700 Paris
FRANCE

T. DE MEESTER
Senior Research Officer and Lecturer
Department for Tropical Soil Science
Agricultural University
Wageningen
PAYS-BAS

ANNEXE 2

ALLOCUTION D'OUVERTURE DE S.E. LE DOCTEUR MOHAMED HAFEZ GHANEM

Vice Premier Ministre et Ministre de l'Enseignement supérieur
Président du Comité national égyptien de l'Unesco

Monsieur le Représentant du Directeur général de l'Unesco, Messieurs les Délégués, Messieurs les Représentants des Organisations internationales, Mesdames, Messieurs.

C'est un plaisir pour moi de vous souhaiter la bienvenue de la part du Gouvernement égyptien pour la première réunion régionale qui se tient en Egypte dans le cadre du Programme sur l'homme et la biosphère en vue d'étudier les effets de l'irrigation sur l'environnement dans les zones arides et semi-arides.

Cette réunion donne l'occasion aux experts de sept pays de la région - pays traversés par de grands fleuves, qui dépendent de ces fleuves pour l'irrigation de leurs terres, et dans lesquels les projets d'irrigation ont soulevé certains problèmes et déclenché certains effets secondaires - de procéder à un échange d'informations et de connaissances techniques en vue de trouver les solutions les meilleures aux problèmes posés par les relations de l'homme avec son environnement, et par les relations dynamiques qui en découlent.

A cette réunion participent avec nous des représentants des agences spécialisées des Nations-Unies, du Programme des Nations-Unies pour l'environnement, et de certaines organisations non-gouvernementales. La présence de ces instances internationales concernées par les mêmes problèmes réhausse sans aucun doute fortement l'importance scientifique et pratique de notre réunion.

Mesdames et Messieurs,

Au cours de ces dernières années, les pays en voie de développement ont participé à une lutte acharnée en vue de rattraper le niveau de civilisation atteint par la communauté mondiale dans la dernière partie du 20ème siècle. Cette lutte est d'autant plus violente et implacable que les progrès réalisés dans les domaines de l'éducation et de la technologie moderne sont rapides et impressionnants. L'équilibre des systèmes d'environnement dans les zones arides et semi-arides n'aurait pas été capable de résister à la poursuite d'un mode d'existence de l'homme sur une telle échelle et à un niveau aussi élevé si l'homme n'avait pas eu recours à des méthodes nouvelles d'utilisation des cours d'eau qui lui permettent de vivre et de développer les régions concernées. Car, dans les pays situés dans les zones arides et semi-arides, la vie dépend étroitement des projets d'irrigation et de mise en valeur des terres. L'objectif de la pensée humaine et de son utilisation au service de la science moderne et de la technologie avancée réside dans un accroissement de la production agricole en vue de répondre à l'accroissement de la demande en aliments et en biens industriels grâce à une expansion horizontale de la mise en valeur des terres et à une expansion verticale du rendement

agricole de ces terres. Dans ce but, des barrages et des réservoirs ont été construits, et un contrôle de l'eau et des cours d'eau a été institué afin de parvenir à une utilisation optimum des eaux.

Il est indéniable que le résultat de l'intervention humaine et la mise en chantier de projets de ce type ne constituent pas un processus unique, mais qu'ils correspondent à une relation comportant deux aspects, et à une interaction mutuelle entre l'homme et l'environnement, favorable ou néfaste. La question qui se pose actuellement est de savoir comment réaliser l'intervention de l'homme et comment mettre en route des projets divers prenant en compte les relations avec l'environnement, et permettant ainsi de réaliser une utilisation optimum de la terre et de l'eau susceptible de demeurer bénéfique pour l'homme, actuellement, mais aussi dans l'avenir.

La mise en route de projets de ce genre, et le bénéfice ou le préjudice qui peuvent en découler, sont évidemment la conséquence de la pensée humaine et de son évolution. L'utilisation des terres pour la satisfaction des besoins de l'homme peut ne pas être compatible avec ses impératifs dans le domaine du peuplement ou du développement industriel. En outre, les méthodes de l'agriculture et l'application des diverses techniques d'irrigation ont elles-mêmes une importance déterminante pour ce qui concerne les rendements de la terre et les effets secondaires des techniques de culture ; cette remarque peut être vérifiée dans certains périmètres d'irrigation qui ont eu pour effet de provoquer une remontée de la nappe phréatique ou une salinisation du sol. De plus, la réalisation de ces projets peut exposer l'homme à certaines maladies, dont les plus importantes, dans notre région, sont la bilharziose et le paludisme. En Egypte, l'expérience que nous avons acquise montre que la mise en valeur de surfaces nouvelles nécessite une étude approfondie, portant non seulement sur la relation entre les eaux de submersion, le sol et les réserves en eaux sub-superficielles, mais aussi sur les peuplements humains qui seront installés dans les régions concernées et sur les relations nouvelles qui s'établiront du fait de projets impliquant une émigration et une réinstallation de populations.

Il existe un certain nombre d'exemples des interrelations consécutives à l'irrigation, et il en ressort que l'homme, par la vertu de la puissance de la pensée créatrice dont il a été doté par Dieu, est à l'origine des problèmes posés et qu'il est seul capable de les résoudre.

Notre réunion d'aujourd'hui nous offre une occasion d'étudier les problèmes posés par la mise en oeuvre de programmes et de projets dans les régions agricoles irriguées des divers pays concernés, et qui soulèvent de nombreuses questions. Comment contrôler l'eau des cours d'eau ? Comment faut-il étudier le sol et son utilisation, et quels sont les problèmes qui se posent

dans les domaines de l'homme, de sa santé et de ses maladies, de son logement, de sa vie et de ses relations, de son éducation et de sa formation ? Comment réaliser une coopération pour accomplir des projets conjoints ?

J'espère que vous parviendrez à trouver des réponses à ces questions, permettant ainsi à l'homme d'exercer un meilleur contrôle sur la terre, l'eau et l'agriculture au profit des générations actuelles et futures. Il est certainement vital pour les pays participants de poursuivre l'effort positif dont le début est

marqué par cette réunion.

En conclusion, je vous souhaite un agréable séjour en Egypte, bienfait du grand fleuve du Nil, et je souhaite la parfaite réussite de votre Conférence ; je remercie l'Unesco, l'Académie de la recherche scientifique et la Commission nationale égyptienne d'avoir organisé cette réunion.

Que la Paix et la Miséricorde de Dieu règnent sur vous.

RESUMES DES RAPPORTS NATIONAUX DES DELEGATIONS PARTICIPANTES

Toutes les délégations participantes ont soumis à la réunion des rapports sur la situation propre à leur pays. Tous ces rapports ont été discutés au cours de la réunion. Ces rapports nationaux devraient être établis conformément aux directives fournies auparavant aux Comités nationaux du MAB, et discutés avec un consultant de l'Unesco de passage dans les pays quelques mois avant la réunion.

AFGHANISTAN

L'économie de l'Afghanistan est avant tout agricole ; 85% environ de la population se consacrent à l'agriculture. La superficie cultivable potentielle est estimée à 14 millions d'hectares (22% de la superficie totale) dont 5,3 millions d'hectares sont potentiellement irrigables. Toutefois, 2 millions d'hectares seulement sont irrigués chaque année. Le climat du pays varie : frais et humide en haute montagne, très aride dans le Sud-Ouest.

Projets d'irrigation. Parmi les différents projets d'irrigation entrepris par le Gouvernement, le Projet de la vallée du Helmand est le plus important. Il a pour objet de mettre en valeur des terres nouvelles, mais aussi de restaurer des terres cultivées depuis longtemps. Le fleuve Helmand s'écoule des montagnes de l'Hindou-Kouch jusqu'à la dépression de Chakmansur-Seistan, sur une distance de 600 km environ. Une moitié environ du bassin-versant se situe à une altitude supérieure à 1 000 mètres. De grandes plaines de comblement alluvial, à topographie faiblement ondulée ou collinaire, s'étendent à partir des montagnes en direction du Sud-Ouest. La vallée du Helmand couvre une superficie de 260 000 km². La plupart des sols irrigables sont des sols sur dépôts alluviaux des vallées, qui sont les plus souvent des limons profonds, assez légers, bruns, à texture limoneuse ou limono-sableuse fine. D'autres secteurs sont occupés par des sols désertiques de plaines, le plus souvent des limons et des limons sableux, peu profonds, rougeâtres, fortement enrichis en carbonate de calcium, et reposant sur des dépôts d'alluvions graveleuses. Les sous-sols sont souvent peu perméables, et l'irrigation peut alors provoquer une salinisation du fait de la formation d'une nappe perchée.

Drainage. Du fait de techniques d'irrigation défectueuses, du mauvais drainage, ou d'une combinaison de ces deux éléments, on a pu observer localement la remontée des nappes phréatiques, la salinisation du sol et l'apparition de teneurs excessives en sodium échangeable : il en est résulté que de vastes secteurs de la vallée du Helmand ont été abandonnés. Pour maintenir une agriculture irriguée, tout programme nouveau ou de restauration devra prévoir des mesures convenables pour assurer le drainage.

Recherche. A la lumière des faits mentionnés, un certain nombre de projets de recherches ont été mis en route dans le cadre du Projet de la vallée du Helmand, mais aussi dans des périmètres

tels que le Projet d'irrigation Kunduz Khan Abad, dans le district de Kunduz (Afghanistan septentrional).

Selon le Comité national afghan pour le MAB, il conviendrait d'accorder la priorité aux thèmes de recherches suivants :

- (1) détermination de la consommation d'eau des cultures et des caractéristiques de la rétention d'eau des sols ;
- (2) efficacité de l'irrigation ;
- (3) évaluation de divers systèmes de culture et de leur impact sur les propriétés chimiques et physiques du sol ;
- (4) utilisation rationnelle des engrais ;
- (5) évaluation des sols soumis à la salure ;
- (6) détermination des propriétés chimiques et minéralogiques du sol.

REPUBLIQUE ARABE D'EGYPTE

Le bassin du Nil et l'impact de l'irrigation. Le territoire de la République Arabe d'Egypte couvre une superficie de 3,3 millions d'hectares, dont 4% environ sont cultivés avec l'aide de l'irrigation. La plus grande partie de cette zone est située dans le bassin du Nil ; par conséquent, l'irrigation dépend presque totalement de l'eau apportée par ce fleuve. L'écoulement annuel du Nil après son entrée en Egypte varie entre 45 milliards de m³ (en cas de forte sécheresse) et 150 milliards de m³ (dans ce cas, la vie et les propriétés sont menacées). L'écoulement annuel moyen au cours de ce siècle se situe à 84 milliards de m³, avec une pointe pendant les mois d'été.

Jusqu'en 1902, l'agriculture d'été dépendait presque entièrement de l'apport naturel du fleuve. Mais, dans le but d'utiliser plus rationnellement l'eau du Nil, on a entrepris la réalisation d'un grand nombre de projets de contrôle de l'eau, depuis l'ancien barrage d'Assouan en 1902, jusqu'à la construction du grand barrage d'Assouan en 1963. Le grand barrage d'Assouan a accru la quantité d'eau assurée de 22 milliards de m³. En fin d'opération, le quota égyptien sera de 55,5 milliards de m³ et le quota soudanais de 18,5 milliards de m³, alors que 10 milliards de m³ seront abandonnés pour compenser les pertes par évaporation et par infiltration dans la zone de réservoir.

Parallèlement à l'accroissement rapide de la capacité de stockage de l'eau, on a construit des milliers de kilomètres de canaux d'irrigation, transformant ainsi le système d'irrigation traditionnel du bassin en un système pérenne. De vastes surfaces de terres marécageuses salées du Nord du delta et également de terres désertiques situées en bordure de ce delta ont été récupérées et mises en culture. L'indice de culture est passé approximativement de la valeur 1,0 au début du siècle à la valeur 1,67 actuellement. Mais, par suite de

l'accroissement de la population, chaque personne ne peut maintenant disposer en Egypte que de 4 m³ d'eau par jour, contre 25 autrefois.

Actuellement, toute l'eau du Nil est utilisée par l'homme et, en pratique, toute l'eau rejetée par les pompes dans la Méditerranée est une eau de drainage extraite des terres irriguées.

Ces transformations qui résultent toutes des actions de l'homme ont eu un impact extraordinaire sur l'écologie du bassin du Nil en Egypte. La charge en limon a diminué de façon dramatique. La quantité totale moyenne de limon traversant le barrage d'Assouan au cours de la période 1929-1955 était de 134 millions de tonnes par an. En 1972, 2,72 millions de tonnes seulement ont traversé le barrage, et 4,40 millions de tonnes le barrage du delta, près du Caire. Les sédiments sont un des éléments clés dans la détermination des caractères de l'écosystème, et, en tant que site d'une activité microbiologique intense, ils jouent un rôle important dans le recyclage des éléments nutritifs.

Un autre grand changement a été celui lié à l'augmentation de la superficie des terres soumises à la salure. Bien qu'une grande partie des terres salées puisse être mise en valeur du fait de l'irrigation pérenne, certaines terres cultivées en d'autres points du bassin du Nil se sont salées, en grande partie du fait d'un excès d'eau d'irrigation, d'un drainage insuffisant et de l'intensité de l'évaporation en période estivale.

L'amélioration de cette situation et la prévention de toute dégradation ultérieure du sol peuvent être atteintes en réduisant la quantité d'eau apportée sur les terres et en améliorant le drainage du sol. Des recherches ont montré que le drainage par poteries est mieux adapté et plus économique que le système à ciel ouvert, et, en conséquence, une superficie de 500 000 ha environ est en cours d'équipement avec des drains en poterie à titre de premier stade d'une amélioration à poursuivre.

Parmi les problèmes qui prennent de plus en plus d'importance figure celui de la prolifération des plantes aquatiques. La jacinthe flottante (*Eichhornia crassipes*), la plus commune, peut se multiplier rapidement par reproduction végétative. Avant 1958, la jacinthe était inconnue dans le delta, mais, en 1965, la prolifération avait atteint un point dangereux, et de nombreux canaux d'irrigation et drains étaient colmatés, menaçant la productivité des terres. Les autres effets néfastes des adventices aquatiques sont : les pertes subies par la pêche, l'obturation des prises d'eau des pompes, les pertes d'eau (du fait de la transpiration foliaire qui peut dépasser l'évaporation de la surface d'eau libre), les effets sanitaires (ces végétaux constituent un bon habitat pour les moustiques du paludisme), et les perturbations apportées à la navigation, à la pêche et aux activités récréatives. Il est possible de lutter contre les adventices aquatiques par des moyens mécaniques, biologiques et chimiques. L'une des origines de la recontamination après traitement se situe dans les drains des terrains privés lorsque les cultivateurs ne nettoient pas leurs fossés. La plupart des adventices aquatiques d'Egypte sont l'objet de mesures de lutte depuis le début de 1976.

Pénétration de l'eau de mer. La modification du régime hydrologique et l'importance progressivement

croissante de l'irrigation et du drainage consécutivement à la construction du grand barrage, ont entraîné des changements de pression hydrostatique liés à l'absence de recharge, d'où des différences considérables de charge entre eau douce et eau salée. De plus, l'abaissement du niveau de la nappe phréatique, de 1 mètre environ, dans les zones côtières du delta du Nil a bouleversé le délicat équilibre naturel entre eau salée et eau douce. Il en est résulté une pénétration de l'eau de mer salée vers l'intérieur des terres le long des zones côtières du delta du Nil, où les roches sous-jacentes, assez perméables, sont hydrauliquement reliées à la mer. Dans ces conditions, l'eau douce de la nappe s'est salée, et la productivité du sol a diminué. En de nombreux sites du delta, on procède à une surveillance continue de la conductivité électrique des eaux de la nappe dans des sondages profonds choisis comme tests. On a ainsi découvert que l'eau salée avait atteint à travers la nappe aquifère côtière une ligne située à plus de 15 km de la côte.

La gestion de l'eau et les diverses méthodes d'irrigation en Egypte. En Egypte, l'eau du Nil est désormais utilisée jusqu'à la dernière goutte ; on s'attend même à une pénurie dans un proche avenir. Il est donc impérativement nécessaire d'économiser cette eau, et d'en rechercher de nouvelles sources. Parmi les mesures possibles, on peut citer : la réduction maximum des pertes d'eau ; la construction de dispositifs nouveaux de stockage et de transport ; l'utilisation et la gestion rationnelles de l'eau, assorties d'un choix judicieux des cultures (les betteraves à sucre exigent moins d'eau que la canne à sucre, par exemple) ; l'exploitation des nappes souterraines profondes ; l'extension de l'agriculture pluviale (possibilités limitées le long de la côte Nord de l'Egypte) ; et l'exploitation de techniques non traditionnelles telles que le dessalement de l'eau de mer grâce à l'énergie nucléaire.

Le point de départ qui s'impose est la réduction maximum des pertes d'eau et l'efficacité de la gestion. Les recherches ont montré que le système d'irrigation traditionnel, très répandu, et comportant des sillons de faible longueur et des ados de bordure, est à l'origine de pertes d'eau importantes ; ce système gaspille de 10 à 20% de la superficie des terres disponibles, du fait de l'importance des bordures, des levées de terre et des fossés, et il interdit l'utilisation d'un outillage agricole moderne. Une étude comparée de divers systèmes de distribution de l'eau, tels que l'irrigation en sillons courts et en sillons longs, l'irrigation par aspersion, et l'irrigation au goutte à goutte, a montré que le système des sillons de grande longueur est le moins coûteux, mais que, lorsque le prix de l'eau entre en ligne de compte, les irrigations par aspersion et au goutte à goutte sont les plus avantageuses. Le système du goutte à goutte nécessite moins de travail, mais la méthode par aspersion suppose une dépense en énergie plus élevée.

Le développement des ressources naturelles dans les zones désertiques et les transformations écologiques dans les zones nouvellement mises en valeur. La vallée du Nil, verte et cultivée, est entourée par un véritable désert. Une frange de largeur variable fait partie du bassin du fleuve, et les processus d'érosion hydrique et

éoliène dans les franges désertiques affectent l'équilibre écologique des secteurs irrigués. En Haute-Egypte, le loess provenant du désert, poussé par le vent, se dépose sur des terres fertiles, obstruant les canaux d'irrigation et les champs nivelés. Il n'y a pas moins de 218 ouadis (lits de cours d'eau à sec), dont les bassins occupent de 1 à 240 km² de surface, pour déboucher dans la vallée du Nil, de sorte que les averses torrentielles entraînent parfois d'importantes masses de sable et de cailloux jusque dans les parcelles irriguées. Dans le nord, le delta est cerné de zones de dunes sableuses vives qui envahissent çà et là la zone irriguée. On a réalisé de nombreuses études concernant les problèmes de conservation du sol et de l'eau dans la frange désertique de la vallée du Nil. Il est recommandé d'appliquer des mesures de conservation du sol dans le lit des ouadis, sur les bas de versant de l'escarpement de la vallée, et dans les plaines côtières, afin d'empêcher le colmatage des voies de circulation de l'eau nécessaires à l'irrigation. Dans d'autres secteurs de la frange désertique, il conviendrait de mettre en oeuvre des mesures de conservation de l'eau pour aider au développement de la population locale.

L'impact de l'irrigation sur les terres de parcours et sur les plantes fourragères. L'accroissement de la population de l'Egypte nécessite que les ressources en terre et en eau soient utilisées plus efficacement qu'elles ne le sont aujourd'hui. Les efforts qui ont été tentés en vue de parvenir à une meilleure utilisation des eaux de pluie et de l'eau des forages profonds pour l'irrigation ont eu pour effet une amélioration des pâturages et des plantes fourragères. Toutefois, les précipitations n'atteignent une valeur appréciable que dans la ceinture littorale (environ 200 mm par an), et l'eau de puits contient souvent des sels solubles. Les études réalisées sur divers projets ont permis d'obtenir quelques résultats intéressants :

- (1) A l'origine, on avait obtenu des rendements plus élevés en trèfle d'Alexandrie (*Trifolium alexandrinum*) en ajoutant à l'eau douce utilisée pour l'irrigation de l'eau soit salée (4 000 ppm de sels solubles) soit carbonatée sodique (375 ppm). Toutefois, au cours des dernières années, les rendements ont progressivement diminué par suite de l'effet dégradant des eaux salées ou alcalines sur le sol (sol sableux et limon argileux). Des résultats analogues avaient été obtenus dans des expériences effectuées avec la luzerne (*Medicago sativa*).
- (2) La mise en culture d'un sol salé à alcali récemment mis en valeur grâce à de la luzerne et de l'orge (*Hordeum vulgare*) a entraîné un accroissement sensible de la flore microbienne totale. En outre, dans les sols d'un autre secteur (*wadi natrum*), les seuils atteints par la flore microbienne, et les teneurs en azote total, se sont élevés au fur et à mesure de la progression de la culture.
- (3) L'eau salée des drains peut être utilisée pour l'irrigation des sols à texture légère, sous réserve que soient prises un certain nombre de mesures pour lutter

contre la salure et assurer un drainage suffisant. Il est recommandé de la mélanger avec l'eau douce du Nil. Il est également recommandé d'utiliser des plantes dotées d'une grande tolérance vis-à-vis des sels (p. ex. les plantes de pâturages).

- (4) Lors de l'irrigation des plantes fourragères et des pâturages dans les zones récemment mises en valeur, il est recommandé de ne pas sur-irriguer, afin d'empêcher le lessivage des éléments nutritifs, et de ne pas irriguer trop longtemps chaque fois, pour éviter de favoriser les plantes hygrophiles telles que les carex ; en outre, il ne faut pas non plus irriguer souvent et par petites quantités, ce qui favoriserait le développement des plantes à enracinement peu profond. Il est préférable de cultiver des végétaux élevés réagissant vigoureusement à l'irrigation, tels la luzerne, le trèfle ladino, la grande fétuque, le sorgho, le *Pennisetum*, et divers *Panicum* et de leur fournir assez d'eau pour maintenir la croissance du végétal, enfin de leur apporter suffisamment d'engrais compte tenu de l'augmentation des besoins en éléments nutritifs.
- (5) Beaucoup de plantes des pâturages extensifs ont une tolérance au sel, et sont par conséquent bien adaptées à la culture des terres salées ou à l'utilisation d'eaux salées pour l'irrigation. Dans les régions plus sèches, il est recommandé d'avoir recours à des plantes résistantes à la sécheresse pour accroître la production.
- (6) La végétation naturelle des terrains de parcours et des pâturages, et les cultures fourragères ont un effet positif sur le sol, en particulier sur les terres récemment mises en valeur, par suite de l'augmentation ou du maintien des teneurs en azote et en matière organique du sol, par suite de l'amélioration de la conservation du sol du fait du renforcement du couvert végétal, et par suite de l'amélioration de l'aération, de la perméabilité et de la structure du sol.
- (7) Les terrains de parcours naturels peuvent généralement être améliorés par une meilleure gestion du mode d'exploitation (clôture !), par le resemis (naturel et artificiel), par l'installation de systèmes de dissémination de l'eau (barrages de diversion, citernes), par le développement de ressources en eau (puits), et par l'apport d'un complément de nourriture aux animaux.

Les modifications écologiques dans les secteurs récemment mis en valeur. L'agrosystème des terres récemment mises en valeur est artificiel. Les cultures traditionnelles, qui sont particulièrement adaptées aux conditions de fertilité de la vallée et du delta du Nil, s'adaptent moins bien aux conditions écologiques de ces zones nouvelles où les sols sont moins fertiles. Par conséquent, l'équilibre naturel est bouleversé, ce qui provoque la succession de réactions néfastes déjà signalée. Dans ces conditions nouvelles de déséquilibre, de graves proliférations de nuisances se produisent fréquemment.

Pour éviter de courir le risque d'obtenir de mauvais rendements culturels et celui de la prolifération des nuisances, il conviendrait de cultiver les plantes traditionnelles sur le mode expérimental avant d'en généraliser l'introduction. Il conviendrait que les programmes de recherche sur les zones d'extension comportent des analyses exhaustives de l'écosystème naturel tel qu'il existait dans toute sa complexité avant la mise en valeur, en prenant en compte les sols, le couvert végétal, la faune, les ressources en eau, etc. Il conviendrait également d'évaluer le rôle des insectes, des bactéries, des champignons et des nématodes existants dans les conditions nouvelles créées par la culture. Si certains devraient se transformer en nuisances ou en germes pathogènes, il faudrait rechercher les moyens de lutter contre eux. Des expériences concernant l'amélioration de la structure et de la fertilité du sol devraient être réalisées, ainsi que des essais de multiplication en vue de tester et de sélectionner des variétés, et des souches adaptées. Il conviendrait d'accorder la préférence aux variétés denses et à croissance rapide, de façon à lutter efficacement contre les mauvaises herbes. Il est important de choisir un système de rotation culturale correctement adapté aux conditions écologiques des terres mises en valeur. Il faudrait également réaliser des études sur le comportement écologique des adventices et des nuisances les plus dangereuses, afin de découvrir les méthodes de lutte les plus efficaces.

La pisciculture en rizières. En Egypte, la pisciculture réalisée dans les rizières (riz irrigué) revêt une grande importance pour l'économie nationale, car elle fournit à la population des protéines relativement peu onéreuses, elle est susceptible de produire un complément de revenu au plan national, elle contribue à la mise en valeur des sols salés, et elle peut améliorer la production du riz du fait des excréments des poissons, d'une diminution du nombre des insectes nuisibles, et d'un accroissement de l'aération. Mais toutes les rizières ne se prêtent pas à cette pratique. Si la totalité des superficies cultivées en riz en Egypte (1 million d'hectares) était également convenablement utilisée pour la pisciculture, le rendement annuel minimum du poisson serait de l'ordre de 60 000 tonnes.

Les problèmes socio-économiques de la mise en valeur et du peuplement. Les objectifs du Projet égyptien pour la mise en valeur des terres et le peuplement (R.A.S.) peuvent être ainsi résumés : (1) accroître la superficie cultivée et alléger la pression démographique ; (2) créer des communautés nouvelles stables dans les zones mises en valeur qui servent de modèles pour l'amélioration des anciennes communautés rurales sous l'aspect économique et social.

Le RAS se propose de mettre en valeur 0,65 millions d'hectares de désert inculte et de terres marécageuses, et de réaliser un environnement physique et humain moderne et adéquat. Les régions retenues pour cette mise en valeur ont été divisées en zones, et chaque zone en aires de colonisation de 2 500 ha chacune. Ces aires sont dispersées dans toute l'Egypte. Les actions du RAS comportent des opérations dans les domaines du génie rural, de l'agriculture et de la socio-économie.

Les opérations socio-économiques sont exécutées en accord avec la politique agraire du Gouvernement. Les terres sont classées selon leur niveau de productivité. Lorsqu'elles sont submarginales, elles demeurent propriété du gouvernement, mais si elles dépassent un niveau minimum de productivité, elles peuvent être distribuées sous forme de fermes familiales à des colons choisis parmi les nomades locaux, et à des colons issus des communautés anciennes, en fonction de certains critères. Après avoir été louée pendant quelques années, la terre est remise à son propriétaire. Lorsqu'il faut plusieurs années d'investissement avant de percevoir un revenu, comme c'est le cas pour les pépinières, les secteurs expérimentaux, etc., la terre peut demeurer sous la forme de fermes d'état.

Actuellement, 400 000 ha environ de terres ont été transformées de l'état de désert à celui de terres irriguées, et plus de 400 communautés ont été créées dans les zones mises en valeur, procurant ainsi un niveau de vie convenable à un demi-million de personnes environ. Il y a eu également des résultats négatifs. Engorgement et salinisation ont endommagé le sol et les cultures dans plusieurs des zones mises en valeur (dans le Nubareya occidental en particulier) ; la pollution de l'eau, les maladies, et la prolifération des adventices dans les zones cultivées soulèvent également des problèmes.

IRAN

Le plateau iranien couvre une superficie de 1,64 million de km². Les deux tiers de ce plateau sont dans des conditions climatiques arides ou semi-arides. La zone aride peut être subdivisée en un secteur Sud et un secteur Centre. Le secteur Sud s'étend du Gouter au Khouzestan. Il est situé au-dessous de l'isohypse 500 mètres, et les températures estivales y sont extrêmement élevées (la température moyenne de l'été est de 26,2° C), alors que les hivers sont doux. La variation diurne est faible. Les précipitations se produisent principalement en hiver et elles sont très irrégulières (en moyenne 180 mm par an). Le secteur centre est également désertique et connu sous le nom de plaine de Kavir. C'est une vaste zone qui s'étend de Téhéran jusqu'aux frontières de l'Afghanistan et du Pakistan. Les données climatiques y sont rares, mais la variation diurne est élevée. La zone semi-aride occupe une partie du plateau iranien, ainsi que les plaines de Moghan et de Gorgan. Cette région comporte aussi des secteurs montagneux dont les altitudes se situent entre 1 000 et 1 500 mètres ; les pluies y sont faibles, mais les températures sont en moyenne plus faibles.

Les types de sols des zones arides et semi-arides. Les sols ont une morphologie désertique typique : le développement du profil n'affecte que la partie supérieure du sol. Sur de vastes superficies, on observe l'existence d'une croûte superficielle dure, et du carbonate de calcium secondaire peut s'accumuler à des profondeurs variables dans le profil selon les variations des précipitations, c'est-à-dire par lessivage de la partie superficielle du sol. Comme dans la plupart des sols arides et semi-arides, le taux de saturation en bases est élevé, et le pH est en conséquence

généralement supérieur à 7. Salure et alcalinisation se manifestent localement.

Irrigation. Les enquêtes agricoles réalisées en Iran ont montré que quelque 33 millions d'hectares sont potentiellement aptes à fournir une production agricole. Le reste est constitué de montagnes, de déserts improductifs ou de lacs. 26,2% seulement de la superficie cultivable sont en permanence productifs. 33,2% sont soumis à la culture sèche, et 39,4% sont inutilisés par suite d'un mauvais drainage, de la pénurie d'eau, de la salure ou de raisons socio-économiques. L'horticulture occupe 1,2% environ de la superficie.

L'un des traits caractéristiques de l'Iran est la fourniture d'eau au moyen de l'ancien système *Qanat* qui fait appel à des canaux-sources et par des puits artésiens modernes, profonds ou non. Une étude récente a montré que ces ressources en eaux profondes étaient considérables en Iran. En outre, on a mis en route un certain nombre de grands projets d'irrigation ou de fourniture d'énergie électrique. La superficie totale des terres récemment mises en culture s'élève à 648 600 ha, et l'objectif visé porte sur 212 800 ha à équiper avant 1982.

IRAK

L'Irak peut être subdivisé en 5 régions physiographiques : les montagnes, le secteur des collines de piémont, le désert, la "Gezira" et la plaine de Mésopotamie. Cette dernière est une plaine d'alluvions déposées par les fleuves jumeaux : l'Euphrate et le Tigre. Elle s'étend dans sa plus grande longueur sur plus de 500 km²; sa superficie représente environ 25% de la superficie cultivable totale de l'Irak. L'irrigation a été pratiquée dans ce secteur depuis 6 000 ans environ, et, aujourd'hui encore, elle est étroitement dépendante de l'eau des "fleuves jumeaux".

Le climat de l'Irak est aride, avec des étés secs et torrides et des hivers doux. La pluviosité est faible dans le Centre et le Sud de l'Irak (100-150 mm par an), plus importante dans le Nord du pays (jusqu'à 1 000 mm). La plus grande partie du pays est dotée d'un climat franchement désertique avec de fortes variations diurnes de la température. En été, l'évaporation oscille entre 15 et 25 mm par jour. On estime que plus de 50% de la zone alluvionnaire sont affectés par la salure et l'alcalinisation.

Terres cultivées et sol. La superficie cultivable dans la plaine de Mésopotamie est évaluée à 8 millions d'hectares. L'irrigation porte annuellement sur 3,3 millions d'hectares environ. La zone intéressée par la culture pluviale est évaluée à 4 millions d'hectares, alors que la culture en sec type *dry-farming* représente la moitié de cette superficie.

Les sols de la plaine de Mésopotamie ont des textures qui vont de l'argile lourde, dans les bas fonds, aux limons sableux grossiers sur les bourrelets de berge. Ils contiennent des quantités élevées de chaux et de gypse (le pH est élevé), mais la fertilité naturelle est faible. 3,7% environ de la superficie totale des terres arables d'Irak sont fortement affectés par la salure, 48,3% le sont modérément, et 18,8% faiblement. Le reste, soit 30% environ,

qui n'est pas affecté par le sol, se situe essentiellement dans le nord du pays.

Erosion et aménagement des terres. Le bassin de l'Euphrate, du Tigre et de leurs affluents s'étend pour une part dans les montagnes où les précipitations peuvent atteindre des intensités élevées. L'érosion qui en résulte provoque un transport de sédiments important et nuisible dans les rivières, les canaux d'irrigation et les réservoirs. Le Gouvernement met actuellement en oeuvre des mesures de protection visant à réduire l'érosion dans les bassins-versants, grâce au reboisement et à des moyens mécaniques (terrasses, barrages), ainsi que par une amélioration de la gestion des terres conformément aux méthodes scientifiques.

Projets d'irrigation et de drainage. Même dans la plaine de Mésopotamie, l'agriculture traditionnelle reposait sur un système faisant appel à la jachère. La culture occupait chaque année 60% de la superficie irrigable (85% en hiver, 11% en été et 5% de façon pérenne). La raison d'être de ce système résidait principalement dans l'insuffisance des ressources en eau. Toutefois, une telle pratique a des incidences néfastes sur les terres laissées en jachère, car, par suite de l'insuffisance du drainage, les nappes phréatiques tendent à remonter, provoquant une salinisation grave dans les zones les plus basses. Des efforts importants ont été accomplis en vue de moderniser le système d'irrigation, en particulier grâce aux mesures suivantes :

- (1) amélioration des systèmes d'irrigation traditionnels grâce à la mise en place d'un réseau de drainage ;
- (2) création de projets d'irrigation et de drainage entièrement nouveaux, susceptibles de stimuler l'amélioration des techniques agricoles (l'amélioration affecte d'ores et déjà une superficie totale de 3,2 millions d'hectares) ;
- (3) organisation de projets intégrés comportant un développement entièrement nouveau des terres et de la communauté. L'accent a été mis avec insistance sur l'importance des projets de ce type.

Eaux profondes. Pour répondre à la nécessité d'accroître les disponibilités en eau d'irrigation pendant les périodes de basses eaux des fleuves, pour mettre en valeur de nouvelles terres, et pour satisfaire la consommation d'eau de l'homme et des animaux, on a mis en place un grand nombre de puits busés afin d'utiliser des eaux de nappe.

Recherches en irrigation. Les recherches entreprises en Irak dans le domaine de l'utilisation de l'eau et de la gestion de l'irrigation, ont commencé à une époque relativement récente. Les expérimentations ont débuté en 1961. Beaucoup de travaux ont été consacrés aux besoins en eau des plantes, grâce à l'utilisation des méthodes modernes telles que les techniques nucléaires. Des recherches ont également été réalisées sur l'évapotranspiration et sur les méthodes d'irrigation. (Grand Projet Mussayeh).

Actions futures. Le problème des déficits croissants en eau devra être abordé dans l'avenir selon deux directions : le revêtement des canaux d'irrigation afin de réduire les pertes d'eau importantes consécutives à la percolation en profondeur (qui provoquera un engorgement en un autre point) ; et la construction de réservoirs pour le stockage de l'eau. La capacité de stockage actuelle se situe au voisinage de 13,25 milliards de m³, et on a dressé des plans en vue d'accroître ce chiffre, et d'atteindre une capacité totale de 42,55 milliards de m³.

Un autre plan important est celui concernant la construction d'un canal de drainage de Bagdad jusqu'à la mer. Ce canal, baptisé "le troisième fleuve", rejettera à la mer toutes les eaux de drainage salées recueillies dans les zones irriguées du Centre et du Sud de l'Irak. On pense que ce projet pourrait être achevé dans les 5 ans à venir, si Dieu le veut.

PAKISTAN

L'économie du Pakistan, essentiellement agricole, est sous la dépendance quasi totale de l'irrigation. 70% environ de la superficie totale cultivée sont situés dans les zones d'irrigation du système de l'Indus. Dans leur majorité, les sols ont des textures favorables et un potentiel de productivité élevé. De plus, le climat est propice à un mode de culture étalé sur l'ensemble de l'année. L'irrigation a eu un impact considérable sur les conditions socio-économiques. Cependant, malgré ce bienfait que constitue l'irrigation, certaines pratiques non scientifiques d'aménagement du sol et des eaux ont eu pour conséquence de soulever des problèmes qui ont handicapé la production agricole. Engorgement et salure font partie de ces grands problèmes.

La plaine de l'Indus, située au Sud de l'Himalaya et du massif de Sel, regroupe les principales zones irriguées du pays. Elle constitue une unité physiographique importante. Elle est subdivisée en deux parties : la zone Nord, correspondant à la haute plaine de l'Indus, occupe une superficie de 34 millions d'acres environ (13,8 millions d'hectares), et la zone Sud de 14 millions d'acres environ (5,7 millions d'hectares).

Précipitations. Au Pakistan, les précipitations annuelles moyennes se situent entre moins de 4 pouces (100 mm) dans la zone Sud, et plus de 30 pouces (760 mm) au pied des montagnes, dans le Nord. L'évaporation est un facteur non négligeable des besoins en eau des cultures et des pertes enregistrées dans les réservoirs et les lacs de barrages. Après les mois d'hiver relativement secs, l'humidité tend à augmenter pendant tout le printemps. Elle atteint des valeurs élevées au moment de la mousson, puis décroît brutalement fin septembre ou début octobre.

Les sols. On observe de forts contrastes dans les sols du Pakistan. Des études pédologiques ont été réalisées sur plus de 90 000 miles carrés*. Les sols à texture limoneuse sont les plus répandus, suivis des sols argilo-limoneux ; enfin, on peut signaler les terres franches, les argiles limoneuses et les sables limoneux.

* N. du T. 234 000 km² environ.

En ce qui concerne la fertilité, les sols présentent une déficience caractérisée en azote, en matière organique et en phosphore. Il existe aussi quelques plages à carence potassique, en particulier dans la région rizicole et vers la base des montagnes. En règle générale, les sols sont correctement pourvus en oligo-éléments, mais on a pu détecter dans certaines régions une déficience en cuivre et en zinc. Lorsque la pluviosité atteint ou dépasse 20 pouces (510 mm), on a observé également une carence en bore assimilable.

En ce qui concerne l'utilisation des terres, sur les 187 millions d'acres (79,8 millions d'hectares) de la superficie totale, 75 millions seulement (30,4 millions d'hectares), soit 38% environ, peuvent être mis en culture. 48 millions d'acres seulement (19,4 millions d'hectares), soit 24%, sont actuellement cultivés. Deux tiers de la superficie cultivée sont irrigués, et un tiers laissé à la culture pluviale.

Rendements des cultures. Les deux principales saisons de culture sont l'été et l'hiver. Dans la zone irriguée, parmi les cultures importantes semées en été figurent le riz, le maïs, le coton et la canne à sucre. Les cultures d'hiver sont le blé, les céréales, le tabac et l'orge. La production agricole est fortement axée sur les cultures de subsistance. Dans les secteurs de culture pluviale, les cultures principales d'été sont le maïs, le mil et l'arachide ; les cultures d'hiver sont le blé, l'orge et les céréales. Au Pakistan, les rendements des cultures sont parmi les plus faibles du monde. On considère que les causes principales de cet état de fait sont : l'insuffisance des disponibilités en eau d'irrigation en général, mais plus particulièrement aux périodes critiques du développement de la plante ; la salure et l'alcalisation des sols, l'absence de drainage, et le caractère défectueux des techniques de culture et d'irrigation. Les taux de culture se situent entre 90 et 100%.

Irrigation et drainage. Dans le bassin de l'Indus, l'eau destinée à l'agriculture provient de trois origines différentes : les précipitations, les eaux superficielles et les eaux de nappes. Les pluies efficaces constituent un complément utile et assez fiable des apports de l'irrigation. Elles varient de 1 pouce (25 mm) à 17 pouces (432 mm). La contribution actuelle de la pluie aux cultures dans les zones irriguées est estimée à environ 6 millions d'acres-pieds (MAF) (0,07 x 10¹¹ m³).

L'eau de l'Indus et de ses principaux affluents (Jhelum, Chenab, Ravi et Sutlej) constitue la source principale de l'irrigation. L'Indus est l'un des grands fleuves du monde avec une longueur totale de 2 000 miles (3 220 km) depuis sa source dans les lointaines montagnes du Tibet jusqu'à l'océan. La superficie totale du bassin est de 364 700 miles carrés environ (710 000 km²) dont 204 000 miles carrés (528 000 km²) correspondent à la plaine de l'Indus. Les affluents Chenab, Ravi et Beas, prennent leur source en Inde, tandis que le Jhelum a son origine au Cachemire avant de traverser le Pakistan. Depuis la mise en oeuvre de la Charte des Eaux de l'Indus en 1960, seuls l'Indus et ses affluents de la rive Ouest - Jhelum et Chenab - sont impliqués dans le développement futur du Pakistan. Le total des

ressources disponibles pour une utilisation future est actuellement limité dans ces cours d'eau à 139 MAF environ ($1,7 \times 10^{11} \text{ m}^3$). Actuellement, 100 MAF environ ($1,23 \times 10^{11} \text{ m}^3$) de l'écoulement annuel sont dirigés vers un système de canaux. Une proportion considérable de ces ressources en eau est perdue par suite de l'évaporation et de la percolation en profondeur.

Par conséquent, les ressources en eau nettes ne permettent pas de satisfaire les besoins des cultures. Pour compléter les ressources en eau de surface, on a de plus en plus exploité les ressources en eaux profondes. Ces eaux présentent un avantage supplémentaire, en ce sens que les prélèvements en profondeur peuvent être effectués en fonction des besoins, donc conformément au calendrier des cultures. Le développement des ressources en eaux profondes s'est aussi avéré être une nécessité pour enrayer et supprimer l'engorgement provoqué par une forte recharge de nappes consécutive aux irrigations de la plaine de l'Indus. Le recours aux eaux de nappes grâce à des puits busés se développe actuellement sur une grande échelle aussi bien dans le Nord que dans le Sud de la plaine de l'Indus. La superficie globale commandée par le dispositif d'irrigation totale environ 38,5 millions d'acres (15,4 millions d'hectares) dont la CCA (superficie cultivée commandée) représente 33,5 millions d'acres (13,6 millions d'hectares). L'irrigation pérenne est permise dans ce secteur sur 22,3 millions d'acres environ (9 millions d'hectares), alors que les 13,2 millions d'acres restants (5,3 millions d'hectares) bénéficient d'un apport temporaire, généralement de mi-avril à mi-octobre.

Selon le Projet pour l'étude des sols du Pakistan, la CCA peut, dans l'optique de l'agriculture irriguée, être subdivisée en 4 classes : classe I (très bonne), on estime qu'elle représente environ 38% de la superficie ; classe II (bonne 51% ; classe III (moyenne 6,2% ; classe IV (mauvaise) 5%. On considère que les terres de la classe I ne présentent pas de contre-indication à leur utilisation agricole, et qu'elles disposent d'un potentiel de productivité élevé ; les terres de la classe II ne présentent que quelques contre-indications mineures de types variés, et sont dotées de potentialités élevées ; les classes III et IV présentent des limitations de plus en plus graves.

Drainage. Des travaux de drainage de surface sont devenus nécessaires pour protéger les terres cultivées des effets de quantités excessives d'eau de ruissellement des orages ou d'eau de submersion. Lorsque cela s'est avéré nécessaire, on a par conséquent creusé des drains de surface individuels. Il existe désormais un vaste réseau de drains à ciel ouvert dans les zones irriguées de la haute plaine de l'Indus, et, à un degré moindre, dans la basse plaine. Récemment, il s'est également révélé nécessaire de mettre en place un système de drainage superficiel efficace pour évacuer les eaux saumâtres pompées dans les zones salées à nappe phréatique élevée, qui ne peuvent pas être utilisées pour l'irrigation.

Dans le pays, la nécessité d'un drainage en profondeur est apparue après la réalisation de grands ouvrages de diversion en vue de l'irrigation. Comme on pouvait s'y attendre, en l'absence de tout système de drainage profond, la nappe phréatique s'est mise à monter, déclenchant ainsi des problèmes d'engorgement et de salinisation.

Engorgement et salure. Avant l'introduction dans la plaine de l'Indus d'un système d'irrigation contrôlée par un barrage, il existait un équilibre dynamique entre la recharge et la vidange de la nappe. Dès la mise en service du système de canaux pérennes, cet équilibre fut perturbé. L'eau de percolation profonde dans les terres irriguées par ces canaux constituait un apport supplémentaire pour la recharge, apport plus considérable que la vitesse de décharge de l'aquifère. En conséquence, les nappes remontèrent dans le secteur irrigué par canaux. Sur de vastes superficies de la haute plaine de l'Indus, la vitesse de remontée des nappes se situait entre 0,5 et 2 pieds (15 et 60 cm), ou même plus, par an. Dans la basse plaine de l'Indus, la vitesse de la remontée était moins élevée ; mais les nappes phréatiques antérieures étaient moins profondes, du fait de la faible altitude et de la proximité de la mer. Dans les secteurs où la nappe vint affleurer la surface, créant ainsi les conditions d'un engorgement, l'aptitude au drainage des sols diminua, et la productivité agricole des sols en fut affectée. En outre, l'augmentation de l'évaporation à partir de nappes peu profondes, qui avait pour conséquence une accumulation rapide des sels du sol dans l'eau d'irrigation au niveau de la zone racinaire, provoquait l'aggravation du problème. Dans les secteurs où l'apport d'eau d'irrigation était insuffisant pour lessiver les sels vers le bas, il se créait un environnement stimulant la salinisation de la surface des terres. Au fur et à mesure de la remontée de la nappe dans les zones irriguées, la superficie des terres affectées par la salure s'accroissait, ainsi que celle des terres abandonnées par l'agriculture.

Selon les estimations récentes, dans la haute plaine de l'Indus, 8,2 millions d'acres environ (3,3 millions d'hectares) sont affectés par l'engorgement, tandis que 6,7 millions d'acres environ (2,7 millions d'hectares) sont modérément affectés par la salure. Dans la basse plaine de l'Indus, une superficie de 8 millions d'acres (3,2 millions d'hectares) est affectée par l'engorgement alors qu'une surface de 4,8 millions d'acres (1,9 millions d'hectares) est gravement touchée par la salure, tandis que 8,3 millions d'acres (3,4 millions d'hectares) sont modérément salés. L'extraordinaire ampleur du problème nécessitait des recherches exhaustives réalisées sur une grande échelle. Ces recherches ont commencé en 1954 dans la haute plaine de l'Indus, et elles furent étendues ultérieurement de façon à couvrir la totalité de la zone irriguée par canaux dans le pays, afin de procéder à une évaluation du problème dans un contexte global, et d'élaborer des méthodes et des techniques permettant une résolution définitive du problème. Le programme de recherches comportait : des études sur les sols et leur salure ; le rassemblement et l'analyse de données sur les eaux de nappes ; l'exécution de forages-tests et d'enregistrements électriques pour l'étude des conditions géologiques sub-superficielles ; des tests de pompage pour déterminer les caractéristiques de l'aquifère ; la collecte d'échantillons d'eaux de nappes à des profondeurs différentes, et leur analyse chimique ; des études sur l'infiltration dans les cours d'eau et les canaux, etc.

La planification du premier grand Projet de lutte contre la salure et de mise en valeur (SCARP) a été réalisé en 1958. Un programme

décennal de lutte contre la salure et l'engorgement avait été formulé en 1957, et il admettait la nécessité du développement des ressources en eaux souterraines, pour permettre un drainage en profondeur, pour compléter l'irrigation et accroître ainsi la production agricole. L'engorgement et la lutte contre la salure furent l'objet d'une impulsion nouvelle en 1973, lorsque, conformément aux directives du gouvernement actuel, un Programme accéléré de lutte contre l'engorgement et la salure fut mis en chantier (SCARP). Ce programme est dans une certaine mesure conforme aux recommandations exposées dans le Programme d'action proposé auparavant par le groupe d'étude de la Banque Mondiale.

Dans l'hypothèse de la réalisation de ce programme, il devrait être possible de couvrir une CCA de 14,2 millions d'acres environ (5,7 millions d'hectares) au cours de la période de 1974 à 1985. Cette situation laisserait encore une superficie de 13 millions d'acres environ (5,3 millions d'hectares) qu'il faudrait mettre à l'abri du danger au cours d'une période ultérieure de 15 à 20 années, après 1985. Le Programme accéléré est actuellement en cours de révision, afin de modifier les priorités relatives de certains projets à la lumière des dernières situations connues en matière d'engorgement et de salure, et afin d'actualiser les prévisions de coûts en fonction de l'infiltration monétaire récente. Selon les propositions récentes, il est prévu que la totalité de la zone restante non encore envisagée jusqu'à présent et qui couvre plus de 22 millions d'acres (8,9 millions d'hectares) soit couverte dans un délai de 21 ans. On estime que le programme comportera le creusement de 38 000 puits busés nouveaux, le remplacement ou la restauration de 21 000 puits busés, l'ouverture de 10 500 miles (16 900 km) de drains à ciel ouvert, de 37 000 miles (59 500 km) de drains en poteries, et le recalibrage de 650 miles (1 050 km) de drains à ciel ouvert déjà existants. Les résultats de la mise en oeuvre du programme SCARP sont tout à fait prometteurs, plus particulièrement sous l'aspect des problèmes de drainage, malgré les difficultés que soulèvent la corrosion et l'entartrage des forages. Dans le cadre de SCARP-I, mis en oeuvre au cours des 13 dernières années, la nappe phréatique s'est abaissée pour atteindre les limites de sécurité grâce au pompage dans les puits, et elle est désormais bien contrôlée. Elle se situe actuellement à 8,6 pieds environ (262 cm) au-dessous de la surface du sol, ce qui écarte le risque d'engorgement dans la zone du projet. Pour ce qui concerne la mise en valeur des terres, les résultats ont été très encourageants pendant les premières années du projet. 45% environ de la zone concernée ont été mis en valeur au cours des 9 premières années. Mais par la suite les progrès réalisés ont été plutôt lents : on a attribué ce fait à l'alcalisation des sols.

Du fait du drainage du sol, de la mise en valeur de zones fortement affectées par la salure, et de la disponibilité pour l'irrigation de quantités d'eau plus importantes grâce au pompage des nappes au moyen des puits, ainsi que des apports nouveaux dont a bénéficié l'agriculture : engrais, semences de bonne qualité, techniques culturales améliorées, etc., l'intensité de l'irrigation s'est accrue et les rendements des cultures ont augmenté. En conséquence, la valeur brute de la production

agricole (cultures et bétail) s'est élevée. Mais le pompage des eaux de nappe et leur utilisation ont toutefois posé quelques problèmes. Il a été montré que l'utilisation de l'eau des puits avait provoqué des modifications néfastes dans les caractéristiques chimiques et physiques des sols de certains secteurs. Dans ces secteurs, les cultivateurs ont transformé les caractères de l'agriculture. Les cultures de rente sensibles ont été écartées, et remplacées par des cultures plus résistantes et moins rentables. Dans certains cas, les dommages subis par les terres étaient tels que même les végétaux résistants aux sels ne pouvaient plus se développer. On a considéré que le risque de dégradation du sol est imputable aux normes trop lâches qui ont été adoptées pour définir la qualité de l'eau d'irrigation.

Gestion de l'eau. Les bassins-versants qui constituent le bassin de l'Indus sont extrêmement étendus et variés. Ils sont en butte à un déboisement excessif et généralisé, et à une surpécoration intense. Les dégâts provoqués à la couverture végétale des bassins-versants ont été à l'origine d'une accélération de l'érosion du sol, et les rivières charrient des quantités considérables de sédiments, en particulier lors des crues. On a calculé que les rivières Chenab et Jehlum transportent annuellement 4 000 à 7 000 tonnes de terre par mile carré (1 600 à 2 700 tonnes par km²). Cela se traduit pour l'Indus par l'une des charges solides les plus élevées du monde. C'est la raison pour laquelle on accorde aux retenues de Mangla et de Tarbela des espérances de vie très courtes, respectivement 100 et 55 années seulement ! Dans les zones sableuses de la plaine de l'Indus, l'érosion éolienne prend un caractère sérieux, car les sables soufflés soulèvent des problèmes graves de fonctionnement et d'entretien du système d'irrigation. C'est particulièrement le cas dans le secteur de Thal Daab, dans la zone Nord.

Compte tenu de ces éléments, il est tout à fait essentiel de parvenir à une gestion scientifique des bassins-versants si l'on veut que les retenues d'eau, les barrages, les canaux et les installations hydro-électriques, nouveaux ou existants, soient fiables et qu'ils aient une vie utile de longue durée. Des études récentes sur les pertes qui se produisent dans les systèmes d'irrigation ont montré que les pertes intervenant entre l'entrée et la sortie d'un canal représentent environ 25% de son débit de tête, alors que, dans les cours d'eau, elles se situent au voisinage de 15%. Jusqu'à présent, il n'a pas été possible de réaliser dans des conditions à la fois efficaces et économiques un revêtement des canaux principaux susceptible de réduire de façon convenable les pertes par infiltration. Pour les canaux les plus importants, on a pu réaliser un revêtement de certains biefs à des prix prohibitifs, mais le problème n'a pas été résolu pour autant. Les pertes en eau au niveau de la parcelle sont, elles aussi, énormes. Des études récentes réalisées dans le cadre du Projet expérimental de mise en valeur de Mona ont montré que l'efficacité de l'irrigation (rapport entre la quantité d'eau stockée dans la zone racinaire et la quantité d'eau apportée au champ), mesurée sur les parcelles des cultivateurs, pouvait varier de 0 à 100%. A partir de 64 observations individuelles,

la médiane de l'efficience de l'application se situait au voisinage de 20%.

Erosion et conservation du sol. L'érosion est un processus qui détruit l'essentiel de la productivité du sol. Toutes choses égales d'ailleurs, ses effets néfastes sur l'économie rurale se traduisent en général par la dégradation progressive des terres productives et par la diminution des revenus de l'exploitation. Dans les cas extrêmes, elle a pu conduire à une situation sub-marginale, à l'abandon des terres, à l'exode rural, à la disparition de la communauté et à d'autres distorsions d'ordre économique et social.

Plus de 25% de la superficie du bassin de l'Indus sont soumis à une forme quelconque d'érosion liée aux effets de la pluie et du vent. L'érosion hydrique se manifeste surtout dans le Nord du pays, alors que l'érosion éolienne soulève des problèmes tout aussi graves dans les zones arides du Sud et dans le secteur de Thal dans le Nord. Les premières tentatives en vue de lutter contre l'érosion tendraient à ne faire appel qu'à une seule méthode de lutte. On considèrerait par exemple que le terrassement des terres était à lui seul une mesure de protection. Toutefois, lorsqu'il est appliqué inconsidérément, il peut provoquer plus de mal que de bien. Il en est de même des autres méthodes de lutte utilisées isolément dans des conditions qui nécessiteraient d'avoir recours à une gamme de techniques. L'approche actuelle de la lutte contre l'érosion implique la planification d'un système d'utilisation des terres et l'application coordonnée d'un ensemble de mesures de lutte. En deux ou trois ans, cette approche a permis de contrôler dans une très large mesure l'érosion qui se manifestait dans les secteurs de démonstration des Départements de la conservation du sol et de l'Aménagement des bassins-versants. Il apparaît clairement que, dans beaucoup de secteurs de démonstration comme dans les parcelles de nombreux cultivateurs, des mesures ont été prises pour lutter contre l'érosion et pour améliorer les terres dont la qualité agronomique était en voie de déclin rapide. A la suite de l'adoption des mesures de lutte contre l'érosion, de nombreuses exploitations évoluent actuellement dans le sens d'une amélioration des rendements.

Flore et faune. Avant le développement considérable de l'irrigation par canaux, il existait quatre grandes associations biotiques : le complexe aquatique des cours d'eau et des plaines d'inondation, la plaine xérique tropicale à épineux, les dunes sableuses xériques, et le complexe des villages. Avec le développement généralisé d'un système de canaux d'irrigation, un certain nombre d'habitats ont subi des transformations. La plupart des plaines à épineux tropicaux ont été transformées en terres agricoles irriguées, et ainsi reliées à l'habitat des bords de cours d'eau par le système des canaux. Les villages sont devenus plus nombreux et plus complexes, reliés les uns aux autres par un système de routes et de voies ferrées. Les dunes sableuses, très étendues, n'ont pas subi de modification physique, mais elles ont été de plus en plus soumises au pâturage. En outre, la prolifération des peuplements humains a conduit tout naturellement à davantage de contacts entre l'homme et les

grands mammifères. Il en est résulté une pression accrue de la chasse vis-à-vis, à la fois, du gibier originel et de ses prédateurs. L'essentiel de ces transformations s'est vraisemblablement produit pendant un certain temps de manière lente et irrégulière dans ces régions ; ce qui caractérise le siècle actuel, c'est l'accélération du processus. Certains grands mammifères, qui n'avaient probablement jamais été très nombreux, ont apparemment complètement disparu de la région par la chasse et la capture. C'est le cas pour le caracal, le tigre, la hyène tigrée, le chat viverrin, le nilgaut, le goval et l'antilope quadricorne.

Le reste de la faune de la plaine à épineux tropicaux a subi une décroissance d'effectifs grave, du fait de la destruction de son habitat. Quelques zones relictées conservent de maigres populations du petit mulot indien, de la gerbille de Wagner, de la gerbille du désert, et du renard du Bengale. On peut s'attendre à ce que ces zones relictées, comme leur faune, disparaissent avec l'accroissement de l'irrigation et le développement des machines destinées au nivellement des terres. Certains animaux sont parvenus à survivre assez facilement à la périphérie des terres cultivées : ce sont le porc-épic indien à cri-nière, le lièvre indien, et peut-être le hérisson à longues oreilles.

Par contre, certains représentants survivants de la faune des cours d'eau et des plaines d'inondation ont apparemment tiré profit d'un accroissement considérable de l'habitat qui leur est offert. Cet habitat nouveau est constitué par les rives humides des canaux, les terrains cultivés, les forêts plantées irriguées et les zones marécageuses nouvelles. Les espèces qui ont apparemment accru leur effectif ou qui se sont répandues vers l'Ouest sont : le chacal d'Asie, le chat sauvage, le sanglier, le rat géant à queue courte, et la gerbille indienne.

Tenure des terres et réformes foncières. Au Pakistan, les terres peuvent être classées en quatre grandes catégories : les terres d'état, les terres du gouvernement, les terres allouées provisoirement, et les terres privées. Les terres d'état sont celles qui n'ont jamais été cultivées. Elles peuvent être utilisées de temps en temps, mais sans que le droit de le faire ait été reconnu ni enregistré. Les terres du gouvernement sont, soit des terres d'état reprises par le gouvernement pour être mises en valeur ou vendues, soit des terres privées qui ont été reprises par le gouvernement. Les terres qui sont concédées à un individu à titre provisoire dans des conditions définies par le gouvernement sont dites terres allouées provisoirement. Les terres privées sont celles qui ont été attribuées de façon permanente par le gouvernement (contre le paiement d'un revenu foncier annuel) ou dont le gouvernement a reconnu qu'elles appartenaient à un individu déterminé, une famille, un village ou une société. En 1972, une nouvelle loi de réforme foncière a été édictée. Elle visait à réduire les disparités de revenus grâce à une redistribution des terres qui se trouvaient entre les mains de gros propriétaires fonciers, en vue d'accroître la production agricole et de créer une relation de bénéfice mutuel entre le propriétaire foncier et l'exploitant. La taxe sur l'eau et la totalité des taxes agricoles sont

désormais payées par les propriétaires fonciers qui sont également responsables de la fourniture et du paiement des semences. Le coût du reste des investissements est partagé également entre les propriétaires fonciers et les exploitants. Des commissions foncières prennent actuellement des dispositions pour s'assurer que les propriétaires fonciers remplissent convenablement leurs obligations en ce qui concerne la fourniture des semences aux exploitants et le paiement de 50% du coût des engrais et des pesticides.

Peuplement humain et irrigation. La plaine de l'Indus a été le théâtre de progrès successifs en matière de techniques et d'organisation de l'irrigation. Depuis 1859, plusieurs projets d'irrigation ont été réalisés dans cette région, mettant en oeuvre l'irrigation sur une superficie globale de 38 millions d'acres (15,4 millions d'hectares). Ces projets sont des exemples de l'évolution des concepts et des techniques dans la planification régionale et le développement des régions sèches. Associé aux besoins régionaux et à la technologie, chacun de ces changements a profondément influencé la nature de l'occupation ultérieure.

A la suite de l'introduction d'une irrigation de type pérenne dans la plaine de l'Indus, on a pu observer un accroissement de la part relative et de la valeur des cultures d'été. L'accroissement des superficies consacrées aux cultures d'été a modifié l'économie de la plaine, qui est passée du type économie de subsistance à celui d'économie de commercialisation, dans laquelle l'exportation du coton a joué un rôle important. L'extension de l'agriculture irriguée dans la plaine a entraîné un changement profond dans la nature du peuplement régional. La colonisation planifiée des terres nouvellement irriguées grâce à des colons pionniers et la création d'exploitations et de villages nouveaux sont devenues des éléments nouveaux de la structure de peuplement existante.

Un processus de redéveloppement et de colonisation s'est manifesté dans le Thal, région où le développement intégré de l'agriculture et de l'industrie sous la surveillance planifiée d'une seule agence représente une importante transformation de la conception de la politique du gouvernement en matière d'irrigation. La mise sur pied d'une organisation agricole nouvelle et le développement rapide d'industries dans les zones récemment irriguées ont ajouté quelques traits particuliers à la morphologie des peuplements dans la plaine.

A la suite de la mise au point de la charte de l'eau de l'Indus, la construction du barrage de Mangla sur la Thelum a été entreprise. Elle a nécessité l'évacuation de la vieille cité de Mirpur et de 282 villages afin de créer une retenue de 100 miles carrés (259 km²). La plupart des propriétaires fonciers affectés par cette construction ont été réinstallés aujourd'hui dans des secteurs de colonisation du Pakistan. La ville de Mirpur a été remplacée par la nouvelle Mirpur, ville nouvelle construite pour abriter 15 000 habitants, entièrement équipée de toutes les commodités : routes, électricité, adduction d'eau, réseau d'égouts, hôpital, mosquées, écoles, collèges, constructions administratives, immeubles d'habitation et centres commerciaux, etc. En outre, sept hameaux ont été construits

pour abriter la population déplacée des villages voisins. La quasi totalité des travaux prévus dans le cadre de ce projet ont été réalisés. Une organisation similaire connue sous le signe d'Organisation de repeuplement du barrage de Tarbela est actuellement en fonction dans la zone de Tarbela. Elle est engagée dans la tâche prodigieuse et difficile que constituent l'évaluation et l'acquisition de quelque 85 000 acres de terrain, comportant habitations, arbres, etc., qui font partie des districts habités, des terres tribales, etc. du périmètre du Projet du barrage de Tarbela. De 1967 à 1972, une superficie suffisante a pu être dégagée dans les districts habités de Lyallpur Jhang et de Multan pour permettre l'attribution d'autres terres aux personnes affectées par le Projet du barrage de Tarbela. Mais l'idée de s'installer dans ces régions ne les intéressait généralement pas, et il leur fut accordé une compensation financière. Cependant, la réinstallation de ces personnes déplacées dans des hameaux et des villes de la périphérie de la retenue s'est poursuivie avec pour résultat le fait que ces villes sont maintenant bruyantes de vie.

L'impact de l'irrigation sur la santé. Le développement de l'irrigation et du drainage a eu une incidence sur la situation sanitaire dans un vaste secteur de la plaine de l'Indus. Les pluies de mousson provoquent la formation de nombreuses flaques d'eau peu profondes qui, sous ce climat chaud fournissent un habitat particulièrement favorable à la multiplication des moustiques vecteurs du paludisme. Les mares et zones marécageuses, les nappes phréatiques affleurantes, et les flaques abandonnées par l'irrigation sont autant de zones de multiplication supplémentaires. La construction de nouvelles retenues, de canaux et l'apport d'eau d'arrosage accroissent encore les zones de prolifération des moustiques. Le paludisme constitue déjà une menace grave, et des mesures sont en cours pour empêcher l'apparition de facteurs favorables à l'accroissement de la population de moustiques. Cependant, dans le cadre de l'ensemble des études sur l'irrigation et le drainage, il est nécessaire de se pencher avec attention sur les recherches concernant la lutte contre les vecteurs de maladies et leur éradication.

Les institutions chargées de l'exécution des recherches. Il existe dans le pays plusieurs institutions concernées par la recherche dans les domaines de l'irrigation, du drainage et de la mise en valeur, et des techniques de gestion de l'eau. L'Institut de recherches sur l'irrigation du Gouvernement du Punjab, situé à Lahore, a exécuté depuis 1924 des recherches dans les domaines de l'hydraulique, de l'irrigation, du drainage, de la mise en valeur, etc. Il a énormément contribué à la compréhension du problème de l'engorgement et de la salure et à la recherche de solutions adaptées. Les sujets sur lesquels l'Institut travaille actuellement sont : l'infiltration dans les canaux et le revêtement de ceux-ci, l'évaporation et l'évapotranspiration, et l'exploitation des eaux de nappes par forages.

La Direction de la mise en valeur des terres du Gouvernement du Punjab, également installée à Lahore, exécute actuellement des

recherches sur les problèmes relatifs à l'aptitude de l'eau à l'irrigation, aux techniques de mise en valeur des sols salés et sodiques, aux besoins en eau des plantes cultivées, au drainage, aux techniques d'irrigation, à l'incidence de la salure sur les rendements des plantes, et à la détermination des caractéristiques des sols dégradés et des sols mis en valeur.

Les travaux réalisés sur le Projet expérimental de mise en valeur de Mona (MREP) comportent des recherches sur l'utilisation rationnelle des terres et des eaux, la mise en valeur des sols salés et le développement de l'agriculture.

Le Conseil de la recherche sur l'irrigation, le drainage et le contrôle des crues (IDFCR) veille à l'organisation, à la promotion, à la coordination et à l'exécution de recherches dans les domaines de l'irrigation, du drainage, de l'hydraulique, des forages, de la mise en valeur, de la prévention des crues, etc. Depuis sa création, ce Conseil a accordé la première priorité aux études sur l'engorgement et la salure. Une monographie, assortie d'une bibliographie, a été réalisée : "Les problèmes d'engorgement et de salure au Pakistan" ; actuellement, sont en cours d'étude dans divers laboratoires du Punjab et du Sind plusieurs thèmes de recherches concernant les domaines parrainés par le Conseil ; récemment a été mis en place à Haïderabad un institut national, l'Institut pour le drainage et la mise en valeur au Pakistan (DRIP), chargé d'exécuter des recherches dans les domaines du drainage des terres cultivées, de la lutte contre la salure et de la mise en valeur des terres, de l'utilisation et de la gestion des eaux, et de l'évaluation économique et technique des méthodes de drainage et de mise en valeur.

Le Département de l'irrigation et du drainage de l'Université d'agriculture de Lyallpur effectue des recherches sur les pertes d'eau dans les cours d'eau, sur les techniques d'irrigation des champs ayant subi un nivellement traditionnel, ou un nivellement de précision, sur l'efficacité de l'irrigation, sur les systèmes d'irrigation superficielle utilisant de l'eau saumâtre, sur l'utilisation de l'analyse économique en vue du choix de la méthode d'irrigation la plus efficace, sur la détermination des besoins en eau du blé, sur la relation entre les techniques d'aménagement des eaux au niveau de l'exploitation et l'engorgement et la salure, etc. Certaines recherches sur des thèmes concernant l'irrigation, l'hydrologie, et l'hydraulique ont également été mises en route récemment à l'Université de génie civil et de technologie de Lahore. Les instituts d'agriculture installés à Lyallpur, à Tando Jam et à Tarnab réalisent des recherches sur des sujets exclusivement agricoles. Certains travaux sur les exigences en eau d'irrigation des plantes cultivées et sur la gestion de l'eau au niveau de l'exploitation sont également en cours dans ces instituts.

La vulgarisation. Il a été pris conscience du fait qu'un service de vulgarisation, trait d'union indispensable entre le chercheur et le paysan, utilisateur final, constitue l'un des impératifs indispensables à la réussite d'un projet de développement. Grâce aux efforts

des vulgarisateurs, les découvertes de la recherche concernant les relations entre le sol et l'eau sont transférées jusqu'aux cultivateurs. Pour former des agents de vulgarisation compétents, dans le secteur public et le secteur privé, l'Université d'agriculture de Lyallpur a mis en route un programme intitulé "mouvement d'aide à la conduite de l'exploitation agricole". Il s'agit d'un mouvement bénévole auquel participent des personnes appartenant à tous les métiers orientés vers les oeuvres sociales. Tous les participants subissent une formation préalable de un à deux mois. Au cours des 18 derniers mois, 200 orienteurs ou chefs orienteurs ont été formés et opèrent désormais sur le terrain. Ce mouvement est en voie d'extension aux écoles rurales.

Les problèmes de la recherche et des études. L'action de grande envergure déclenchée dans la plaine de l'Indus a eu des incidences à la fois favorables et défavorables sur l'écosystème. Des efforts de recherche méritoires ont été accomplis autrefois dans le pays pour comprendre et résoudre les problèmes écologiques soulevés par l'application généralisée de l'irrigation. Parmi les problèmes qui doivent être pris en considération et qui peuvent aussi présenter de l'intérêt pour les pays du Moyen-Orient, on peut citer les suivants :

- (1) Les méthodes conventionnelles de revêtement des canaux sont coûteuses, et souvent inapplicables.
- (2) La sédimentation dans les cours d'eau, conséquence de l'érosion du sol dans les bassins-versants constitue un problème grave. Il faut y ajouter le problème de l'érosion éolienne dans les zones sableuses de la plaine de l'Indus.
- (3) Les forages constituent l'élément principal du développement de l'utilisation des eaux profondes, et du programme de drainage et de mise en valeur du Pakistan. La conception des puits et le matériel utilisé dans la construction de forages sont devenus un sujet de controverse, du fait des résultats médiocres fournis par les puits par suite de la corrosion et de l'entartrage. Des travaux considérables ont été accomplis en vue de l'élaboration d'une technique et de la mise au point d'un matériel convenant à ces puits, mais il n'a pas encore été possible de trouver de solutions satisfaisantes. Il est donc encore nécessaire d'effectuer des recherches concertées sur ce sujet.
- (4) Dans les secteurs où la nappe d'eau utilisable qui surmonte la nappe saumâtre est relativement peu épaisse, l'eau saumâtre remonte dans la nappe d'eau douce du fait du pompage. Dans ces conditions, il faut restreindre le pompage au complément nécessaire au drainage, et le forage doit être conçu de façon telle que l'eau salée ne puisse être pompée avec l'eau de bonne qualité qui la surmonte. Il convient de conserver deux circuits distincts d'évacuation, le plus important canalisant l'eau de bonne qualité, l'autre l'eau salée prélevée plus profondément.

- (5) Dans certains secteurs, l'utilisation d'eaux de forages a provoqué des modifications néfastes des caractéristiques chimiques et physiques des sols. On peut considérer que la raison de cet état de fait réside dans l'utilisation de normes insuffisamment strictes dans l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation.
- (6) Il est nécessaire d'envisager une étude des végétaux à durée de développement courte susceptibles de tirer bénéfice du caractère fortement saisonnier des disponibilités en eau. Il devrait être possible, par exemple, de multiplier les sorghos à haut rendement susceptibles de remplacer le maïs lorsque les ressources en eau sont peu abondantes.
- (7) Les sols présentent des déficiences caractérisées en azote, en matière organique et en phosphore, mais l'importance des carences varie d'un sol à l'autre. Pour pallier ces déficiences en éléments nutritifs dans la zone racinaire, on utilise des engrais sans se soucier des types de sols. Une étude détaillée de l'effet des engrais dans les divers types de sols et avec d'autres cultures est par conséquent nécessaire.
- (8) Par suite du caractère défectueux des techniques de culture et d'irrigation, les pertes d'eau au niveau de l'exploitation agricole sont énormes. L'efficacité de l'irrigation est très faible. Pour accroître les quantités d'eau mises à la disposition des plantes cultivées, il est tout à fait nécessaire d'améliorer la "gestion de l'eau à la parcelle".
- (9) Les services de vulgarisation actuels limitent leur intervention aux plantes cultivées et, dans une certaine mesure, aux techniques culturales. Pour ce qui concerne les techniques d'irrigation et l'utilisation de l'eau, il faut que les services de vulgarisation couvrent la totalité des problèmes d'utilisation de la terre et des eaux, ainsi que leurs interactions.
- (10) Dans le domaine des problèmes sociaux et économiques qui se posent dans différents secteurs géographiques de la plaine de l'Indus, la recherche scientifique est absente ; il est nécessaire de pouvoir établir des plans rationnels en vue du développement de cette région.

SOUDAN

Le Nil constitue l'un des traits majeurs du Soudan. Des quatre pays qui se partagent le bassin du Nil, c'est le Soudan qui occupe la fraction la plus étendue. Le Nil Blanc, le Nil Bleu et leurs affluents traversent une vaste plaine argileuse dans une partie du Centre et du Sud du Soudan. Le milieu du cours du Nil se situe aux confins du désert du Nord du Soudan et de l'Égypte. Le Nil constitue la principale voie de communication entre le Centre et le Sud. Il fournit l'eau nécessaire à la quasi totalité des terres irriguées, ainsi qu'aux éleveurs nomades au cours de la saison sèche.

Sur la plus grande partie du pays règne un climat de type tropical continental. Vers le Sud, il passe progressivement à un climat équatorial pluvieux et, vers le Nord, au désert. Les différences de climat et de constitution géologique sont à l'origine de variations dans les types de sols et d'une répartition de la végétation par zones. La végétation passe du type désertique (moins de 50 mm de pluie par an) à la forêt tropicale humide modifiée (plus de 1 250 mm de pluie par an).

Les types de sols du Soudan subissent l'influence du climat, de la nature de la roche mère, du relief, du drainage et de la végétation. Les terres qui ont déjà été soumises à l'irrigation et retenues dans l'optique du développement sont pour la plupart situées dans la plaine argileuse du Centre, sous une pluviosité annuelle moyenne comprise entre 300 et 500 mm, et le long du Nil et de ses affluents principaux. L'ensemble de cette zone est caractérisé par la présence d'argiles de couleur sombre, fortement gonflantes (et sujettes au retrait), à teneur élevée en argile et à perméabilité faible (groupe des vertisols). Ces sols sont en général fertiles quoique pauvres en azote. Les ressources en sols du Soudan sont considérables mais 12,5 millions d'hectares seulement sont mis en culture, soit 1/8 de la superficie des terres cultivables. Dans le désert et la zone semi-désertique du Nord vivent surtout des nomades ; dans le Centre (zone semi-désertique et savane boisée mixte), on observe la prédominance d'une utilisation des terres de type mixte, associant l'élevage des animaux et la culture pluviale itinérante traditionnelle. Dans le Sud, sur la plaine argileuse plus humide, la culture pluviale est plus fiable que dans le Nord, mais l'élevage demeure l'occupation principale.

En ce qui concerne la tenure des terres, conformément à la loi de 1905, les terres dégradées, les forêts et les terres inoccupées doivent toutes être considérées comme propriété du gouvernement. Cependant, les lois foncières actuelles ne donnent pas toujours satisfaction. Les lois concernant l'héritage ont été à l'origine de la constitution d'unités de travail non-économiques, et il a été reconnu officiellement qu'elles multiplient les propriétés privées.

La productivité de la grande plaine argileuse, sous les pluies naturelles et en agriculture traditionnelle, est très faible. La présence d'importantes ressources en sols fertiles et la disponibilité de l'eau du Nil et de ses affluents pour l'irrigation font que la seule réponse logique au développement agricole du pays doit être recherchée dans l'irrigation. Les ressources en sols du Soudan, c'est-à-dire les terres susceptibles de permettre un développement agricole ultérieur, sont évaluées à 117 millions d'hectares, soit 55% de la superficie du pays. A l'heure actuelle, l'irrigation porte sur un peu plus de 1,5 million d'hectares, soit 0,54% seulement de la surface du pays, et 13% de la surface cultivable. Vers 1980, la superficie irriguée pourrait être portée à 2,25 millions d'hectares, ce qui ne représentera encore qu'une faible fraction de la zone irrigable. En ce qui concerne les ressources en eau, le Nil et ses affluents représentent la source d'eau la plus importante en vue d'une irrigation pérenne. La part des eaux du Nil attribuée au Soudan,

fixée en accord avec l'Egypte, représente 20,3 milliards de m³ à Sennar. Sur ce total attribué au Soudan, 2 milliards de m³ seulement sont distribués aujourd'hui, mais on estime que, lorsqu'un certain nombre de projets agricoles nouveaux auront été réalisés dans le cadre du plan décennal, les besoins en eau dépasseront 9 milliards de m³. La part d'eau actuelle du Soudan doit par conséquent être complétée. Le complément d'eau correspondant doit être obtenu grâce à des travaux de conservation de l'eau, travaux qu'il est prévu d'effectuer sur le cours supérieur du Nil. Etant donné que la part de l'agriculture représente 89% environ des exportations totales du Soudan, l'expansion de l'agriculture revêt une importance décisive. Ce développement implique l'extension des superficies irriguées, l'intensification de la culture dans les zones déjà irriguées, et la diversification des cultures pour éviter les risques d'une économie reposant sur une monoculture.

L'impact de l'irrigation sur les cultures et les sols est évident, et il a déjà fait l'objet d'études intensives dans le passé, et encore actuellement. Jusqu'à présent, il a été confirmé que les risques de salinisation, si fréquemment associés à l'irrigation dans de nombreux pays du Proche et du Moyen-Orient, ne se manifestent pas sur les argiles lourdes irriguées du Soudan.

L'expérience du Soudan dans le domaine de l'irrigation. Au Soudan, l'utilisation de l'irrigation remonte aux temps préhistoriques, lorsque les anciens Nubiens mirent au point et adoptèrent certaines techniques d'irrigation, telles que l'irrigation, contrôlée ou non, par bassins. Ces techniques furent remplacées ultérieurement par le système shaduf (un balancier actionné à la main, comportant un poids à une extrémité et un seau destiné à puiser l'eau à l'autre extrémité) et par le système sagia (une roue à eau actionnée par un boeuf). Le Nil est le berceau de toutes ces techniques, qui se sont progressivement répandues le long de ses affluents et des autres cours d'eau de l'Est et du Sud du Soudan.

Les techniques modernes et sophistiquées de l'irrigation à grande échelle n'ont pas été appliquées avant le début du 20^{ème} siècle. En 1925 prit fin la construction du barrage de Sennar ; en conséquence, la superficie irriguée globale dans la Gezira dépassa 1 million d'hectares. Depuis 1925, les superficies irriguées du Soudan sont passées à près de 2 millions d'hectares. Cette expansion est due à la multiplication des projets de pompage, de dimensions variées, et à la construction de 3 barrages : ceux de Jebel Awlia, El Roseires et Khashm el Girba.

Au Soudan, on observe le plus souvent les systèmes d'irrigation suivants : irrigation par gravité, par pompage, par déversement, et par les systèmes traditionnels. L'irrigation par gravité est employée couramment dans les deux grands projets d'irrigation du Soudan : le Projet de la Gezira et le Projet de Khashm Girba. Le Projet de la Gezira est situé dans la plaine de la Gezira, au Sud de Khartoum, entre le Nil Bleu et le Nil Blanc. Ce projet couvre une superficie totale de 1 million d'hectares si l'on y inclut le Projet Guneid situé à l'Est du Nil Bleu et irrigué par pompage. Ce projet avait été créé à l'origine en vue de

la production du coton destiné aux marchés mondiaux, mais, vers les années 1960, une politique ambitieuse de diversification des cultures fut mise en oeuvre, et il en est résulté que le blé et l'arachide ont joué un rôle de plus en plus important dans l'économie régionale de la Gezira. Les superficies consacrées au blé et à l'arachide sont en extension, l'objectif étant fixé à 300 000 hectares de blé et à 225 000 hectares d'arachides et de légumes pour 1974/1975. Les autres plantes cultivées dans la Gezira sont le dolique, les légumes, philipesara, et le riz. Outre les bénéfices perçus par le gouvernement et par les exploitants, dont l'effectif atteint 96 018 et auxquels s'ajoutent les familles, le projet a également permis de créer environ 24 000 emplois permanents et 500 000 emplois saisonniers. Le Projet de la Gezira constitue sans aucun doute un grand succès, et il a eu un fort impact sur l'économie nationale. En outre, son développement a entraîné une métamorphose complète des schémas économiques antérieurs, car les habitants du périmètre ont été initiés à des réalités nouvelles et à un niveau de vie plus élevé.

Le Projet Khashm el Girba est situé sur la rive Ouest de la rivière Atbara, à 200 miles à l'Est de Khartoum. Le projet occupe une superficie totale légèrement inférieure à 250 000 hectares, irrigués par gravité (à l'exception certaines périodes de basses eaux) à partir du barrage de Khashm el Girba. Ce projet est relativement récent, et il doit sa création à la nécessité de réimplanter la population nubienne de la province du Nord qui avait perdu ses terres à la suite de la construction du grand barrage d'Assouan. L'accord de 1959 sur les eaux du Nil, entre le Soudan et l'Egypte, a permis au Soudan d'entreprendre ce développement massif. Outre la réimplantation des nubiens, un autre objectif du Projet Khashm el Girba réside dans la production de deux cultures importantes : le blé et la canne à sucre, outre le coton et l'arachide. De plus, le Projet constitue une tentative méritoire en vue d'aider les pasteurs nomades vivant sur le périmètre ou dans ses environs à améliorer leur bien-être. Malheureusement, cette tentative n'a pas encore été totalement couronnée de succès.

L'irrigation par pompage est très répandue au Soudan et elle est pratiquée le long du Nil, du Nil Bleu, du Nil Blanc, et sur les rives de quelques autres cours d'eau saisonniers. Les cultures pratiquées grâce à ce système d'irrigation sont : le coton, l'arachide, la canne à sucre, le sorgho durra, l'hibiscus, les légumes et les fruits. Les secteurs d'irrigation par pompage sont : le Projet Suki, les projets de pompage du Nord et des provinces du Nil, les projets de pompage du Nil Bleu et du Nil Blanc, le Projet Hibiscus, et plusieurs plantations sucrières irriguées (plantation sucrière de Guneid et de Khashm el Girba). Dans le Projet Suki, un programme de peuplement massif est en cours, en tant qu'élément d'un plan de développement agricole.

Le développement des projets d'irrigation par pompage sur les bords du Nil Bleu et du Nil Blanc, initialement très rapide, a subi un ralentissement vers la fin des années 1950 et au cours des années 1960. Entre 1958 et 1963, la superficie irrigable ne s'est accrue que de 20 170 hectares, portant ainsi la surface totale à 444 250 hectares. On estime que ce

déclin doit être attribué aux résultats économiques décevants de nombreux projets de pompage, et plus particulièrement aux faibles rendements de 1957/1958, suivis de la chute des cours pendant la saison 1958/1959. En 1968, le Gouvernement prenait le contrôle de la gestion de la plupart des projets privés situés le long du Nil Bleu et du Nil Blanc. Cette mesure était dictée par le désir du Gouvernement d'améliorer la productivité et d'introduire des relations de production modernes entre les exploitants et la gestion.

L'irrigation par déversement correspond au débordement, contrôlé ou non, des eaux des crues naturelles dans certains deltas ou dans les plaines d'inondation déprimées des cours d'eau saisonniers. Ce type d'irrigation est pratiqué dans le Gash, le Boraka, à Abu Habil et dans quelques dépressions isolées du Nil et des provinces du Nord. Avec un système d'irrigation de ce genre, ce sont les crues annuelles qui déterminent la superficie des terres cultivées chaque année. Par conséquent, lorsque les crues sont faibles, les surfaces productives sous irrigation par déversement diminuent, et les paysans sont confrontés à des difficultés dans le domaine économique.

Certaines méthodes traditionnelles d'irrigation sont encore utilisées au Soudan, entre autres la roue à eau, ou sagia, et le shaduf. Les superficies soumises à ces types d'irrigation sont restreintes, et une part importante de leur production consiste en cultures de subsistance.

Parmi les projets d'irrigation futurs figure le Projet Rahad (superficie totale de 22.500 hectares environ) qui doit être irrigué par pompage dans le Nil Bleu. Un programme de peuplement massif a été mis en train dans le cadre des plans de développement agricole.

Le Soudan s'est également engagé sur la voie du développement de la production de la canne à sucre sous irrigation. Il est prévu que, en 1985, le Soudan ne produira pas moins de 1,5 millions de tonnes de sucre. Cette production sera le fait de sept projets nouveaux, en plus de ceux qui existent déjà : les plantations sucrières du Nord-Ouest de Sennar, le grand Assalaya, le Kenana, le Melut, le Managabla et le Renh/Gelhab.

Les grands projets d'irrigation récents. Les caractéristiques principales et les grands problèmes des Projets de la Gezira, de Khashm el Girba, de Suki et de Rahad seront brièvement passés en revue.

1. Le Projet de la Gezira a démarré en 1911 avec 125 hectares de coton irrigué par pompage. Sa superficie était de l'ordre de 1 million d'hectares en 1972, l'irrigation étant de type par gravité à partir des barrages de Sennar et de Rosari construits sur le Nil Bleu. Au début du projet, le coton constituait la principale culture de rente, dont les bénéfices sont partagés entre les 3 partenaires : gestion, gouvernement et exploitant. On constate une augmentation du sorgho durra, des légumes, de l'arachide, du riz et des plantes fourragères, alors que la production du coton et du sorgho régressent sensiblement. Les services d'action sociale ont démarré en 1950, financés par un prélèvement de 2% sur le revenu net du coton. Les exploitants et les autres personnes qui

vivent sur le périmètre en sont les bénéficiaires.

Etant donné qu'il n'y avait pas d'exemple antérieur pour illustrer les tendances du développement en matière de production agricole et de traitement des produits, le projet s'est trouvé confronté à un certain nombre de problèmes. Comme toutes les grandes organisations, il a eu ses problèmes de gestion et ses problèmes humains. L'une des difficultés principales dans ce sens est constituée par le système d'attribution des terres aux exploitants, qui nécessite d'être révisé. Les exploitations doivent être remembrées. Les autres problèmes sont : les ressources en main-d'oeuvre (tous les exploitants sont sous la dépendance du travail salarié), le revenu des exploitants (qui devrait s'accroître), les maladies (en particulier le paludisme et la bilharziose) et le système de gestion (il est nécessaire de développer la vulgarisation agricole pour aider l'exploitant à faire fonctionner lui-même son exploitation). Le fait d'introduire une culture irriguée nouvelle dans une région où n'avaient été pratiquées précédemment que des cultures pluviales de sorgho et de sorgho durra a déclenché toute une gamme de problèmes nouveaux concernant le travail du sol, la production végétale et la lutte contre les prédateurs et les maladies.

Le Projet de la Gezira (qui ne constitue par elle-même qu'une très faible partie du pays) a beaucoup retenu l'attention des chercheurs. La recherche agronomique dans les environnements irrigués implique la définition scientifique de l'environnement concerné, et la détermination du type d'interaction existant entre certaines plantes particulières et cet environnement. Ensuite, pour améliorer la production végétale, les conditions de l'environnement doivent être aménagées grâce aux techniques culturales. En ce qui concerne l'aspect agronomique, des expérimentations classiques sur les rotations ont été effectuées dès 1926. Outre leur intérêt pour ce qui concernait le coton, ces rotations ont permis de définir les principes à appliquer dans la Gezira lors de l'introduction de plantes nouvelles quelles qu'elles soient, ou en vue de l'intensification de la production. A partir des principes ainsi établis, on a pu élaborer un certain nombre de types de rotations faisant appel à des cultures telles que le blé, l'arachide et les fourrages nouveaux. On a mis récemment au point un ensemble d'expérimentations très élaboré pour intégrer des facteurs tels que les traitements par pulvérisation, l'azote et la date de semis, afin d'évaluer le rôle de ces facteurs dans les variations saisonnières du rendement du coton. L'utilisation rationnelle de l'eau, si importante dans un projet de cette dimension, est aussi l'objet de recherches de type agronomique. Elle devient même le sujet capital lorsque les ressources en eau sont limitées.

Les sols de la Gezira sont des argiles très lourdes à fentes de retrait. Il a été observé qu'ils étaient très pauvres en azote et en matière organique. Les travaux consacrés à l'étude de ces sols sont poursuivis depuis plusieurs années. On a pu montrer que leur productivité résulte de façon générale de leur taux d'argile élevé et de la faiblesse de leurs teneurs en sels et en sodium. On a étudié parallèlement un classement de ces sols

en fonction de la culture irriguée et des résultats des recherches portant sur leurs paramètres chimiques et physiques. Compte tenu de la faiblesse des teneurs en azote de ces sols irrigués, il apparaît que l'azote est un élément nutritif clé ; une grande partie des premiers travaux consacrés au sol avait pour but de préciser les diverses formes de l'azote, leurs teneurs respectives, leurs variations saisonnières et l'incidence des techniques culturales sur cet élément. Plus récemment, on a entrepris des études sur les aspects microbiologiques des transformations de l'azote et sur sa fixation biologique.

Des études de détail ont été entreprises concernant les incidences de l'irrigation sur l'accroissement de la salure. Il a été confirmé que les dangers de salinisation n'ont pu être mis en évidence, dans les argiles irriguées grâce à l'eau du Nil Bleu. Il a été montré en outre que l'irrigation entraînait invariablement une amélioration dans les profils des argiles de la Gezira pour ce qui concerne d'une part la teneur en sels, d'autre part la teneur en sodium. Parmi les autres résultats importants de ces recherches, il faut citer le fait que l'irrigation des sols arides et semi-arides intensifie leur activité microbiologique globale. Les études consacrées à la faune du sol ont également montré que la culture irriguée des argiles lourdes avait une incidence sur les trois grands groupes écologiques de nématodes parasites des végétaux.

La production de fourrage en culture irriguée a commencé à prendre une importance significative vers les années 1930 dans le Nord et le Centre du Soudan. Il a été observé que la productivité est fortement accrue par l'irrigation. En conditions expérimentales, on a pu récolter des tonnages records de luzerne (*Medicago sativa*) (100 tonnes/ha/an en matière verte). On a obtenu dans les mêmes conditions environ 100 tonnes/ha de sorgho "Abu Sabin" en 3 coupes et 70 tonnes/ha de maïs vert. Toutefois, par suite de l'existence de certains facteurs limitants, parmi lesquels figurent en particulier une gestion défectueuse et des moyens financiers insuffisants, on ne dépasse pas 50% de ces valeurs lorsqu'on opère dans les conditions de l'exploitation normale.

L'introduction dans la culture irriguée de légumineuses en tant que fourrage présente un intérêt particulier : c'est l'aptitude de ces végétaux à améliorer le bilan d'azote du sol, par suite de leur capacité à fixer naturellement l'azote atmosphérique. Cette remarque met tout particulièrement l'accent sur l'importance de l'introduction des légumineuses dans la rotation. Cette conception n'est toutefois valable qu'en présence de systèmes de fixation d'azote très efficaces, et sous réserve que le système cultural ne néglige pas la conservation de l'azote du sol. Dans diverses régions du pays, des travaux ont donc été mis en route en vue de préciser le comportement des plantes cultivées et des végétaux naturels en matière de nodulation, et dans le but d'évaluer l'aptitude de ces plantes à enrichir le sol. Les progrès réalisés dans ce sens conduiront en définitive à la sélection de souches de rhizobium ayant un potentiel élevé de fixation d'azote, et dotées d'une bonne stabilité et d'une aptitude convenable à la survie dans les conditions de climat et de sols de ces

régions semi-arides irriguées. Ce problème devient de plus en plus urgent, du fait que les très basses teneurs en azote des sols arides et semi-arides sont encore aggravées par le caractère plus intensif de la culture pratiquée récemment sur les argiles grâce à l'irrigation.

Pour de nombreuses raisons, il est important que les inoculats de rhizobium utilisés dans les recherches, mais aussi en dernier ressort pour la production agricole, soient préparés non pas seulement dans les pays développés, mais également dans les pays concernés (centres de ressources microbiennes). Pour pouvoir utiliser pleinement le potentiel photosynthétique élevé des légumineuses dans les conditions des sols irrigués du Soudan (c'est-à-dire avec la contrainte due à l'insuffisance des disponibilités en azote dans le sol, il convient d'exploiter efficacement les vastes ressources en azote de l'atmosphère.

2. Le Projet Khashm el Girba couvre une superficie totale de 120 000 km² dans le Centre du Butana, à l'intérieur de la zone semi-aride du Soudan. Cette zone est plate, monotone, et les sols qui la composent sont des argiles brun foncé à fentes de retrait. Salure et teneur en sodium sont faibles. L'eau d'irrigation provient du Nil et de l'Atbara. Le Projet Khashm el Girba est beaucoup plus récent que le Projet de la Gezira. Bien que leurs objectifs soient analogues (culture intensive sous irrigation du coton, de l'arachide, du blé et de la canne à sucre), ce projet présente une caractéristique propre d'une très grande importance : c'est la réimplantation de la population de Wadi Halfa et la fixation des nomades, visant à les transformer en cultivateurs fixés. Dans la première phase du projet, 50 000 personnes de Wadi Halfa ont été réparties sur quelque 85 000 hectares, dans 25 villages et une ville nouvelle centrale (New Halfa). Au cours des phases ultérieures, l'implantation s'est poursuivie avec 12 000 personnes environ, appartenant aux tribus Butana locales et à d'autres tribus voisines. Si l'on excepte cet élément majeur constitué par le peuplement, le projet Khashm el Girba diffère du Projet Gezira par le fait qu'il comporte une rotation plus intensive, sans jachère, qui exclut le sorgho durra. L'un des traits communs à tous les projets irrigués du Soudan, et qui est également présent à Khashm el Girba, est l'absence d'intégration du bétail dans le système. On persuade les nomades de Khashm el Girba de se séparer de leur bétail pour devenir des cultivateurs à plein temps. Il semble que cette question fasse quelque progrès. Un autre problème majeur est la prolifération inquiétante des mauvaises herbes.

3. Le Projet Suki est un autre projet récent qui s'est engagé dans un programme de réimplantation extrêmement ambitieux. Sa superficie couvre 40 000 hectares, qui sont irrigués grâce à des pompes électriques. Ce projet se consacre à la culture du coton et de l'arachide. Le Projet Suki est confronté à plusieurs problèmes qui ne sont pas exceptionnels au cours des premières années du développement. Ces problèmes ont trait les uns à des questions d'administration, les autres à l'irrigation. En outre, les paysans sont novices en matière de techniques de culture sophistiquées,

et par conséquent, ils manquent pour l'instant de compétence et probablement aussi d'un attachement sentimental pour le projet. C'est pourquoi il s'est posé des problèmes de peuplement. Auparavant, il existait sur le périmètre du projet 93 villages. Du fait du développement, quelques emplacements de villages ont été modifiés, quelques autres ont été regroupés, et quelques aires nouvelles ont été prévues. En définitive, il existe actuellement 23 villages sur le périmètre du projet. Mais étant donné qu'ils sont propriétaires de leur bétail, la plupart des villageois vivent à l'extérieur du périmètre du projet. En effet, la rotation ne prévoit pas de place pour le bétail. Il en découle une situation tout à fait inhabituelle pour le nouvel exploitant. Ou bien il laisse son bétail pâturer sur les terres qui lui sont allouées, ou bien il le vend. Etant donné que la vente du bétail est plutôt impopulaire parmi les populations traditionnelles, et en particulier chez les semi-nomades, les villageois décident en général de rester dans leurs anciens villages, qui sont bien drainés et entourés de terrains de parcours. Cette situation provoque un certain absentéisme et favorise la dépendance vis-à-vis de la main-d'oeuvre salariée qui ampute les profits du cultivateur. De plus, un certain nombre de villages nouveaux sont dépourvus d'attrait, du fait de leur diversité ethnique ; les tribus de pasteurs nomades arabes tels que les Ganasma estiment difficile de vivre dans le même village que les groupes de soudanais de l'Ouest. Il en résulte que la plupart des membres du premier de ces groupes continuent de vivre dans leurs farigs (camps) provisoires, sous leurs tentes.

4. Le Projet Rahad est un projet tout récent qui vise également le développement d'une agriculture basée sur l'irrigation. Sa superficie représente 150 000 ha sur la rive orientale de la rivière Rahad. L'eau est pompée dans le Nil Bleu. La première phase doit démarrer en 1977/1978. Il faudra 3 ans pour achever ce projet. Il est prévu d'y implanter 70 000 personnes sur un secteur à l'origine très peu peuplé. Il est donc nécessaire de créer des centres de peuplement pour permettre un accès équitable à un certain nombre de commodités dans le cadre d'arrière-pays très différents. Il faudra que la densité de ces peuplements soit suffisamment élevée pour permettre l'installation d'un minimum d'infrastructure matérielle et sociale, comportant des dispensaires et des écoles. Il est prévu de développer un système de peuplements interdépendants qui pourrait parvenir à s'administrer lui-même. Mais la Gezira n'a pas fait l'objet d'un peuplement de masse, ni d'une planification de ce genre. Les autres problèmes de caractère social ont trait à l'adaptation du possesseur d'animaux à un système essentiellement orienté vers la production du coton et de l'arachide. Des études préliminaires concernant l'intégration des animaux dans le système de culture ont été effectuées, mais la situation n'est pas encore éclaircie. On s'attend à ce que l'introduction de l'irrigation provoque des transformations généralisées dans l'écologie de la zone concernée : l'irrigation proposée, du type gravitaire (par canaux), va interférer avec les déplacements des animaux sauvages dans le Parc National voisin de Dinder, sans parler des incidences de l'intensification des activités humaines dans

cette région (la chasse, pour se nourrir ou se distraire). L'irrigation et les pulvérisations d'insecticides auront un impact considérable sur la propagation des maladies, et elles sont susceptibles d'influer sur l'équilibre écologique de la région.

Les possibilités existantes dans les domaines de la recherche et de la formation. L'histoire de la recherche au Soudan remonte à 1903, date de la création du Laboratoire d'accueil de la recherche tropicale. Les recherches réalisées par cette organisation mettaient l'accent sur la chimie agricole et l'entomologie. En 1904, la Ferme de recherches de Shambat était installée sous l'égide du Département de l'agriculture. En 1918 apparaissait la célèbre Ferme de recherches de la Gezira ; elle devait abriter en fin de compte la direction de la recherche agronomique au Soudan. Actuellement, il existe au total 4 stations et 6 sous-stations de recherches régionales. Toutes ces stations de recherches sont administrées par l'Organisation de la recherche agronomique, instance semi-autonome responsable auprès du Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des ressources naturelles. La recherche dans le domaine de l'agriculture est également du domaine de compétence de l'Université de Khartoum, du Conseil national de la recherche par l'intermédiaire de son Conseil de la recherche agronomique, et du Ministère de l'irrigation et de l'énergie hydro-électrique, qui est chargé des recherches et des études sur l'hydrologie et le débit du Nil. Bien que les recherches couvrent un large éventail d'activités, il reste encore un certain nombre de domaines de l'écologie qui ne sont pas totalement ou suffisamment abordés.

La formation en agriculture peut être subdivisée en plusieurs catégories : l'université et la post-graduation, les instituts agricoles techniques au niveau terminal de l'enseignement secondaire, les écoles d'agriculture au niveau enseignement secondaire, et les actions de formation agricole et connexe dans les écoles primaires. La Faculté d'agriculture, comme la Faculté des sciences, offre de plus en plus de possibilités de travail au niveau universitaire. De même, la formation est possible dans les stations de recherches gouvernementales qui sont des écoles de recherches agréées par l'Université de Khartoum. Les planificateurs en matière d'agriculture et d'éducation ont mis l'accent sur la nécessité de techniciens compétents et d'équipes de terrain confirmées. L'Institut agronomique de Shambat a commencé dès 1954 à former des agronomes généralistes dotés d'une formation pratique de niveau élevé, et capables d'appliquer sur le terrain des informations techniques. Deux autres instituts sont prévus : l'un à Abu Huggar, l'autre à Abu Haraz. On compte actuellement deux écoles secondaires agricoles opérationnelles. D'autres sont prévues. Au niveau de l'école primaire, le Gouvernement est en train de s'engager actuellement dans un programme d'éducation agricole visant à encourager les élèves à cultiver leur compétence agricole correspondant à leur environnement par le biais de travaux pratiques et théoriques.

SYRIE

A l'exception d'une région de superficie très restreinte, la Syrie appartient à la zone aride et semi-aride. La surface des terres arables y est limitée. Les sols ne sont pas fertiles ; le climat est très sec et chaud, avec une amplitude diurne considérable, de sorte que les conditions d'existence y sont très difficiles. Le facteur limitant de la production agricole est l'insuffisance des ressources en eau.

Désertification. Dans les régions à pluviosité élevée, la population est stable et fixée ; dans les zones plus sèches, on constate l'existence du nomadisme et d'une migration vers les régions disposant de pâturages et d'eau. Toutefois, par suite de l'accroissement de la pression qui s'exerce sur les terres, de la culture et de la surpécoration constante, le désert commence à gagner sur les régions habitées, provoquant la sécheresse et un abaissement de la nappe phréatique. La progression du sable et l'érosion éolienne sont susceptibles d'éliminer totalement le couvert végétal. La Syrie est donc confrontée à des problèmes de conservation du sol et de protection de la végétation. Le problème du pâturage a plus particulièrement retenu l'attention. A la suite de plusieurs études et de nombreuses mesures prises par les autorités compétentes, un certain nombre de zones protégées ont été créées. Dans certaines de ces zones, le Gouvernement syrien a tenté des efforts en vue de fixer les Bédouins. Plusieurs projets de peuplement existent, dont l'un prévoit l'introduction de la protection de terrains de parcours sur 20% de l'aire de nomadisme. Cinq autres ont été créés pour l'amélioration des pâturages et de l'élevage des animaux. Le Gouvernement a promulgué une législation spéciale concernant les projets et les programmes de conservation et de protection des aires de nomadisme.

Le Projet d'irrigation du Ghab. Le bassin de l'Aassy est l'un des plus importants bassins de Syrie, mais aussi l'un de ceux qui posent le plus de problèmes. La quantité d'eau qu'il collecte annuellement est en moyenne de 2 000 millions de m³, et son écoulement annuel moyen est de 1 500 millions de m³. Le bassin de l'Aassy comporte des secteurs de sols fertiles, à population dense. Le projet d'irrigation du Ghab est localisé à l'intérieur de ce bassin. La première expérimentation pionnière réalisée dans le domaine de l'irrigation et du drainage a constitué pour le pays une expérience de valeur. Le Projet Ghab couvre une superficie de 72 000 ha dont 25 000 consistaient auparavant en un marécage couvert de roseaux.

L'une des contraintes majeures réside dans la submersion annuelle de vastes superficies du fait de l'incapacité des principaux canaux de drainage à évacuer le volume important des eaux des crues hivernales. Les autres raisons du mauvais fonctionnement des canaux de drainage sont l'ensablement et le développement rapide des adventices aquatiques. La remontée de la nappe phréatique provoque l'engorgement durable de vastes superficies, accompagné d'une salinisation. Cet engorgement affecte la fertilité du sol. La dégradation des caractéristiques physiques et chimiques du sol a eu des incidences sur la productivité des cultures de coton et de betterave à sucre.

La mise en valeur du Ghab s'est également traduite par des modifications biologiques affectant l'environnement et la santé. Il s'est également posé des problèmes d'ordre social. C'est seulement grâce à des recherches interdisciplinaires intégrées que des solutions pourront être apportées aux problèmes ainsi posés.

RAPPORT RESUME CONCERNANT LE SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR L'IRRIGATION DES TERRES ARIDES
DANS LES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT : PROBLEMES D'ENVIRONNEMENT ET EFFETS SUR LE MILIEU

par E.B. Worthington, Président

du Comité des Recherches sur l'Eau, Congrès International des Unions Scientifiques
 (COWAR)

Le but principal de ce symposium, réuni à Alexandrie, était de confronter divers points de vue concernant les grands problèmes d'environnement posés par l'irrigation : ceux des ingénieurs ; des spécialistes en physique, chimie et biologie ; des spécialistes de la santé ; des docteurs ; des sociologues et des administrateurs. Les participants étaient au nombre de 250, dont la moitié n'étaient pas originaires de cette région. Quatre journées furent consacrées à des discussions approfondies, et une journée à une excursion permettant d'étudier les problèmes sur le terrain. Le symposium est parvenu à un certain nombre de conclusions, mises au point et rédigées par un groupe de travail demeuré sur place la semaine suivante, parallèlement à la Réunion régionale du Projet 4 du MAB. Ce groupe de travail publiera un rapport qui servira de base à l'établissement d'une Note Technique. Le rapport détaillé du symposium doit être publié ultérieurement.

Au cours de ces dernières années, il s'est manifesté une certaine tendance à souligner les effets néfastes des grands projets d'irrigation sur l'environnement et à sous-estimer les aspects bénéfiques de ces projets pour l'humanité. L'accroissement des maladies, la réduction de la pêche, les changements dans les manifestations de l'érosion, la salinisation des sols - éléments qui avaient été prévus et convenablement pris en compte - ont fait l'objet d'une certaine publicité, alors que les objectifs principaux des projets, fourniture de l'eau et amélioration du niveau de vie de millions de personnes, étaient considérés comme admis. Au cours de ce symposium, les travaux ont convergé sur la manière d'exploiter au mieux les possibilités offertes par l'irrigation et de maintenir la pérennité des effets positifs, ainsi que sur la manière de surmonter les difficultés susceptibles de se présenter.

Les réunions ont comporté 8 sessions, chacune d'elles étant confiée à un coordinateur choisi au sein de l'organisation internationale appropriée : COWAR, AIHS, AISS, IUBS, ICID et OMS. La base de la discussion était constituée par 30 communications, multipliées avant la réunion par les soins du Gouvernement égyptien afin d'être étudiées à l'avance ; dans ces conditions, la moitié environ du temps de chaque session a pu être consacrée à des discussions.

Les premières discussions ont porté sur les bases physiques de l'irrigation, c'est-à-dire sur l'hydrologie et les ressources en eau, d'un point de vue quantitatif mais aussi qualitatif, avant et après utilisation. En second lieu, on a envisagé l'interaction de cette eau avec les sols de divers types, interaction qui se traduit par des transformations de

l'environnement responsables d'une augmentation appréciable de la productivité agricole et de la prospérité de nombreuses régions, mais qui a parfois eu pour conséquence de transformer de vastes étendues de sols auparavant fertiles en terres presque incultes par suite de l'engorgement, de la salinisation et d'autres dégradations de la structure ou du chimisme du sol. On a étudié les remèdes possibles, et identifié les cas dans lesquels un complément de connaissances serait nécessaire. Toutefois, dans beaucoup d'autres cas, la cause des difficultés doit être recherchée dans la planification initiale ou dans la gestion ultérieure.

On a ensuite étudié les effets de l'irrigation sur le couvert végétal naturel des terres arides et sur leur vie animale, en particulier sur les poissons, les escargots et les insectes, dont certains ont un rôle appréciable dans la vie de l'homme soit en tant qu'aliments, soit à titre de vecteurs de maladies. On a également envisagé certains aspects de la productivité biologique, qui est fortement stimulée par l'irrigation, permettant ainsi à une proportion bien plus grande de l'énergie solaire d'être transformée en matière vivante par le biais de la photosynthèse. Il s'agit évidemment là de l'objet même de l'irrigation, sous une forme quelle qu'elle soit, qu'il s'agisse des plantes cultivées ou des élevages de poissons fournisseurs de protéines. Mais cet aspect porte en lui-même certains problèmes de surproduction. On peut citer à titre d'exemple les algues et les adventices aquatiques qui soulèvent des problèmes tels que : l'eutrophisation (c.a.d. une production biologique considérable) trop rapide ; l'abondance des adventices aquatiques qui colmatent les rivières, les canaux et les retenues, et induisent la formation d'un habitat aquatique favorable aux escargots et aux moustiques.

La discussion a ensuite abordé les problèmes de l'efficacité et de l'inefficacité des méthodes d'irrigation, prenant en ligne de compte l'expérience des ingénieurs de différents pays réunis au Congrès de l'ICID à Moscou en août 1975. Il a été admis que l'eau destinée à l'irrigation donne lieu à un gaspillage considérable, atteignant et dépassant même parfois 50%. L'essentiel de ce gaspillage intervient au niveau des exploitations elles-mêmes. L'expérience dont on dispose maintenant souligne la nécessité d'une étude plus approfondie des aspects sociaux de l'irrigation. L'accent a souvent été mis sur l'économie et la science ; mais on a quelquefois oublié les aspects sociaux, et en particulier les réactions du paysan ou du groupe au bénéfice desquels les grands projets d'irrigation actuels ont été planifiés et mis en oeuvre.

Vers la fin de ce symposium, une session a été consacrée aux populations qui subissent actuellement l'impact de l'irrigation. Leur santé bénéficie de l'amélioration de la nutrition, mais elle peut être affectée par les maladies associées à l'irrigation, en particulier la bilharziose et le paludisme. Bien que ces maladies n'aient généralement pas une issue fatale, elles peuvent cependant occasionner une grande misère et une grande faiblesse, et elles constituent le principal facteur d'environnement responsable d'un amoindrissement des avantages de l'irrigation.

L'évolution des populations humaines, l'accroissement de leur effectif et les modifications de leur pyramide des âges, consécutifs au développement de l'irrigation constituent peut-être l'impact sur l'environnement le plus important de tous. Ce sujet était à l'arrière plan des pensées des participants, et il est apparu dans les discussions à plusieurs reprises. Le symposium n'est pas allé plus profond dans ce problème envahissant, et il n'avait certes pas à le faire, mais l'expérience prouve qu'il est systématiquement associé à toute nécessité d'un projet d'irrigation nouveau ou d'une extension d'un projet ancien. En premier lieu, l'irrigation attire et concentre la population des environs. Il

faut un certain temps pour que cette population s'adapte à son nouveau mode de vie, et il s'agit d'une adaptation sommaire compte tenu des risques sur le plan sanitaire et social. Mais, dès qu'une certaine prospérité est acquise l'effectif de la population augmente, souvent avec une rapidité extraordinaire, jusqu'au niveau correspondant aux limites des ressources nouvelles, et parfois au-delà. Si l'on considère l'exemple de l'Egypte, après plusieurs siècles d'utilisation de l'irrigation selon les méthodes traditionnelles en équilibre avec l'environnement, la population atteignait approximativement 2,5 millions de personnes en 1800. A la suite de l'introduction de la technologie moderne par Mohamed Ali au début du 19ème siècle, cette population a doublé chaque 50 ans jusqu'à 1950, date à laquelle elle atteignait 18 millions de personnes. Au cours des 25 dernières années, elle a doublé de nouveau, et il faut s'attendre à ce qu'il en soit de même une fois encore vers la fin de ce siècle. L'histoire de l'humanité offre jusqu'à présent peu d'exemples d'un problème de surpopulation qui ait été résolu sans catastrophe, qu'il s'agisse de tremblement de terre, de famine ou de guerre. Cependant, il existe dans le monde certaines situations prometteuses dans lesquelles on constate qu'un effort est accompli en vue d'obtenir un équilibre convenable entre la population et ses ressources, sur la base de l'irrigation.

EXPOSES DES ORGANISATIONS DES NATIONS UNIES

Programme des Nations-Unies pour l'Environnement (PNUÉ)

Mme Letitia Abeng, représentant le PNUÉ, a donné lecture du message suivant du Dr Mustapha Tolba, Directeur exécutif du PNUÉ :

"J'ai pris connaissance avec un grand intérêt de l'action entreprise par le MAB en vue de mettre en application les recommandations du symposium consacré aux effets sur l'environnement de l'irrigation des terres arides dans les pays en voie de développement, et je félicite le MAB de sa perspicacité dans l'organisation de l'atelier auquel j'ai l'honneur de présenter cet exposé. Mon point de vue est que les pays participants mettront au point un programme régional interdisciplinaire en vue de déterminer et d'évaluer les impacts écologiques majeurs des techniques d'irrigation. J'exprime tout particulièrement l'espoir que de cette réunion naîtront des recommandations de travail en vue d'aider les gouvernements dans le choix des actions à entreprendre pour prévenir toute nouvelle dégradation des terres consécutives à l'utilisation de techniques d'irrigation défectueuses. En Afrique du Nord en particulier, il s'avère vraiment nécessaire de réaliser une percée afin d'améliorer la production végétale, comme il est également nécessaire de le faire dans beaucoup d'autres régions où se posent les problèmes propres aux terres arides et aux déserts. Compte tenu de la poussée actuelle de la démographie, les terres utilisables constituent aujourd'hui une ressource de grande valeur. Le Programme des Nations-Unies pour l'environnement partage les préoccupations du Programme MAB et j'attendrai avec intérêt les résultats de cet atelier. Je souhaite que votre réunion soit couronnée de succès."

Organisation Mondiale de la Santé (OMS)

L'Organisation Mondiale de la Santé attache une importance considérable au développement des ressources en eau en général, ainsi qu'à l'impact écologique au sens le plus large qui résulte de ce développement. L'OMS porte un intérêt particulier au développement de l'irrigation, car elle est concernée par la santé et le bien-être des populations qui vivent dans les régions en cause et qui entrent en contact avec l'eau dans les projets d'irrigation, avec tous les aspects bénéfiques, mais aussi néfastes, du processus d'irrigation.

Dans cette optique, l'irrigation des terres arides et semi-arides revêt une importance toute particulière, du fait de la concentration et des migrations de populations qu'elle provoque. Par conséquent, l'OMS considère favorablement l'initiative prise par le Programme de l'Unesco sur l'homme et la biosphère (MAB) dans les domaines de la recherche sur les effets écologiques de l'irrigation et de la formation connexe. L'OMS se félicite également de la coopération internationale dans ce domaine, car elle estime que des progrès ne peuvent être accomplis que dans le cadre d'une

collaboration renforcée entre toutes les organisations intéressées à la solution des problèmes, qu'elles soient nationales, internationales ou non gouvernementales.

Très souvent, les effets négatifs de l'irrigation ne sont pas imputables à l'irrigation elle-même, mais à une utilisation irrationnelle ou à une gestion défectueuse. Il est évident que pour supprimer ou atténuer les obstacles, il faut que s'instaure dès le début de tout projet de développement des eaux, ou d'irrigation, une collaboration étroite entre les chercheurs s'occupant de la santé publique et les membres des autres disciplines. Par conséquent, l'OMS plaide en faveur d'une approche interdisciplinaire, et elle est convaincue que les réunions telles que celle-ci contribuent fortement à l'intégration de tous les éléments dont on dispose en matière de connaissances, d'expérience et de ressources.

Organisation Météorologique Mondiale (OMM)

L'OMM s'est fort intéressée aux études écologiques des régions arides et semi-arides ; l'OMM a travaillé en coopération étroite avec l'Unesco et la FAO, et récemment avec le PNUÉ, dans les importants domaines de l'écologie et de l'environnement au profit de l'espèce humaine. La série des études agro-climatologiques est le résultat d'une coopération entre l'Unesco et l'OMM. Quelques actions de l'OMM dans ces domaines sont exposés ci-après.

La Commission pour la météorologie agricole, qui est l'un des éléments constitutifs de l'OMM, est actuellement en train de préparer les rapports suivants : *les besoins en eau des plantes cultivées dans des conditions arides et semi-arides ; les aspects météorologiques des systèmes d'utilisation des terres et des systèmes d'aménagement agricole dans des conditions climatiques difficiles ; les facteurs météorologiques associés à certains aspects de la dégradation du sol et de l'érosion ; fréquence et impact des pénuries d'eau pour certains systèmes sol-plante déterminés (parmi lesquels les prairies) ; le blé et les conditions météorologiques ; le riz et les conditions météorologiques ; temps et climat en relation avec la production alimentaire mondiale.*

La Commission des applications spéciales pour la météorologie et la climatologie prépare actuellement les rapports suivants : *les fluctuations climatiques et l'homme ; application de la météorologie à la planification de l'utilisation des terres ; les besoins en observations et en réseaux pour différents objectifs ; les applications de la météorologie aux problèmes de la pollution atmosphérique aux échelles locale et régionale.*

En ce qui concerne la formation en matière de météorologie agricole, les actions suivantes sont actuellement en cours : un rapporteur sur la formation et l'éducation prépare des propositions concernant les moyens existant en matière de formation dans les universités et les collèges agricoles, en faisant appel à des conférences de l'extérieur, à des programmes de formation pour diverses catégories de

personnel agrométéorologique dans tous les centres régionaux de formation de l'OMM, et à des séminaires sous-régionaux ou du type atelier sur des problèmes pratiques dignes d'intérêt.

Un certain nombre de symposiums et de séminaires de formation sont en cours

d'organisation. Ce sont : les techniques de l'agrométéorologie dans l'analyse de la relation culture-climat ; les études de bilan hydrique et l'analyse du risque en agrométéorologie ; l'agrométéorologie du maïs ; météorologie et élevage animal, compte tenu des problèmes d'aménagement des prairies.

RECHERCHE SUR LE DRAINAGE DANS LE NUBAREYA OCCIDENTAL, REPUBLIQUE ARABE D'EGYPTE :

ETUDE D'UN CAS HYDROLOGIQUE CONCRET DE RESERVE D'EAU SOUTERRAINE¹

La construction du barrage d'Assouan en 1968 a permis d'introduire une agriculture irriguée de grande envergure dans la province du Nubareya occidental. 200 000 ha de terres environ sont concernés. Le niveau de la nappe a monté avec une rapidité étonnante dans certains secteurs des zones récemment mises en valeur. En certains endroits, la nappe qui se situait d'habitude à une dizaine de mètres de profondeur s'est élevée en deux ans jusqu'à quelques centimètres de la surface, et l'a même parfois recouverte. Il en a résulté l'apparition de problèmes graves d'engorgement et de drainage. Avant la mise en place d'un système de drainage, il a été nécessaire d'entreprendre des recherches pour bien comprendre le problème, et pour s'assurer que le système éventuellement mis en place aurait un comportement satisfaisant.

Pour étudier les aquifères et mesurer les fluctuations saisonnières de la nappe phréatique, on a procédé sur l'ensemble de la zone de Nubareya à l'installation d'un réseau de piézomètres (de surface et de profondeur) et de puits d'observation. Le niveau d'eau a fait l'objet de mesures de routine dans les piézomètres et les puits d'observation. Les résultats de ces mesures ont été utilisés pour établir une carte piézométrique et définir les secteurs caractérisés par des dômes ou des dépressions dans le toit de la nappe, préciser l'allure générale de l'écoulement, et prévoir la direction des flux et les fluctuations du niveau phréatique à l'échelle annuelle et mensuelle.

La zone étudiée occupe le secteur Nord-Ouest des 300 000 feddans² du projet de mise en valeur. Elle est limitée vers l'Est par le canal de Nubareya, et vers le Nord par la plaine côtière de Burg el Arab-Maryut. Vers le Sud, elle s'étend sur 90 km environ le long de l'autoroute Le Caire-Alexandrie, qui recoupe la zone en direction du Nord-Ouest.

Dans le secteur Nord, les dépôts deltaïques du Nil du début du Pléistocène jouent le rôle de couche aquifère principale. Ils sont constitués de sables grossiers, avec des quantités variables de galets et de gravillons, et leur épaisseur est de l'ordre de 20 mètres, au-dessous des dépôts deltaïques marginaux (fin Pléistocène). Dans cette zone, l'eau se trouve sous la forme de poches, de nappes artésiennes et de nappes phréatiques.

Le Plio-Pléistocène constitue la couche aquifère principale aux extrémités Sud du Projet. Il est constitué essentiellement de sables et de graviers deltaïques déposés à la fin du Pliocène. Des dépôts deltaïques contribuent aux ressources en eaux profondes des couches plio-pléistocènes.

Les données des puits d'observation révèlent une modification du niveau de la nappe phréatique en réponse à l'application d'une irrigation au voisinage immédiat des puits correspondants. Il semble se manifester une montée générale des niveaux de nappe au cours des mois d'été, et une descente en automne et en hiver.

Au cours des années qui ont suivi la mise en culture, la sur-irrigation a été une pratique courante dans la zone étudiée. Un excès d'eau par rapport aux besoins était apporté en vue de lessiver les sels minéraux nuisibles du sol, et de maintenir une teneur en sels acceptable dans la zone racinaire des plantes. L'eau en excès par rapport aux besoins s'élevait environ à 60 m³/ha/jour. Le système d'irrigation de la région repose principalement sur la submersion. Dans ce système l'efficacité de l'application est faible, car l'eau demeure trop longtemps à la surface du sol. Les eaux en excès percolent au-delà de la zone radulaire jusqu'à la nappe aquifère sous-jacente. Les infiltrations dans les canaux et les fossés non revêtus qui amènent l'eau d'irrigation sur le périmètre contribuent aussi à aggraver le problème. Aucun système de drainage convenable n'a été correctement maintenu. Du fait de la constante montée du niveau de la nappe, deux dômes se sont constitués. La carte piézométrique établie sur la zone en mai 1970 l'indique clairement. La pente de la surface piézométrique de ces dômes est de 1,25 m/km environ, alors que le niveau du toit de la nappe s'est élevé jusqu'à 14,50 mètres au-dessus du niveau de la mer. Le canal d'irrigation de Nubareya ne joue plus dans cette zone le rôle de source de réalimentation de la réserve profonde, comme c'est le cas dans le cours amont. En 1972, les dômes d'eau ont accru leur surface, et le niveau d'eau s'est encore élevé. Le dôme Nord-Ouest s'est ensuite déplacé vers l'Ouest au fur et à mesure que davantage de terres étaient irriguées dans le secteur de Maryut.

Ces faits suggèrent que l'excès d'irrigation et les pertes par infiltration dans les secteurs irrigués et dans les fossés non revêtus peuvent être considérés comme les causes principales de la recharge des dômes, et de l'écoulement latéral subséquent qui provoque la formation de mares stagnantes dans les parties basses.

Le problème du drainage de ce secteur n'est pas simple. La complexité du milieu est encore accrue par la couche superficielle peu perméable de limon sous laquelle se situent de minces niveaux d'argile partiellement imperméables qui s'amincissent latéralement

1. Résumé d'un texte préparé par le Dr M. Abaza, de l'Académie de la recherche scientifique et de la technologie, Le Caire.

2. 1 feddan = 42 hectares.

et se prêtent à des anastomoses avec plusieurs autres couches successives surmontant un niveau aquifère sableux. Il est douteux que le système de drainage par poteries suffise à lui seul à donner satisfaction. Il faudrait que l'espacement des drains soit très faible, de sorte que le système ne serait pas économiquement justifié. En outre, malgré le système de drainage par poteries, il faudrait s'attendre à certaines remontées de la nappe d'eau.

Il semble que la solution la plus pratique et la plus efficace consisterait en un système de drainage par pompage de l'eau dans des puits ; cette méthode a remporté certains succès dans d'autres pays, dans des régions présentant des caractéristiques physiques et géologiques analogues. Dans un tel système, il est facile de maintenir le niveau de la nappe d'eau à la profondeur voulue en ne pompant que l'équivalent des pertes de l'irrigation et du lessivage, lorsque c'est nécessaire.

IMPACT DES TECHNIQUES D'IRRIGATION ET DE DRAINAGE

SUR LA PROPAGATION DE LA BILHARZIOSE¹

La schistosomiase (ou bilharziose) est considérée comme l'un des grands problèmes de santé existant en Egypte. C'est la maladie endémique la plus sérieuse sous l'aspect à la fois de l'extension et de la gravité.

Il est bien connu que la méthode d'irrigation utilisée joue un rôle important dans l'extension de la bilharziose. On peut montrer que le passage de l'irrigation par bassins à une irrigation de type pérenne accroît la quantité d'eau à la disposition du vecteur (l'escargot) et qu'il facilite la prolifération de l'infestation. De même, un accroissement des superficies cultivées en riz contribue également à la propagation de la maladie. Certains auteurs ont même pu établir que l'irrigation constitue probablement l'élément le plus dangereux pour l'extension du problème de la bilharziose en Afrique. Il est certain que l'immense surface de terres incultes, mais potentiellement fertiles, des zones arides deviendra, après sa mise en valeur par l'agriculture irriguée, une région de bilharziose endémique si des mesures convenables ne sont pas prises en vue d'empêcher la prolifération des escargots dans le système nouveau d'irrigation, et de les détruire rapidement partout où ils apparaîtront. Mais, à l'heure actuelle, nous ne connaissons que peu de choses sur un certain nombre d'aspects de l'écologie des escargots, et les ingénieurs spécialisés en irrigation ne sont pas habitués à tenir compte de la dimension santé publique dans les projets d'irrigation, malgré le fait que leur objectif consiste en une amélioration du bien-être de l'ensemble de la population et en une élévation de son niveau économique.

Au stade actuel de nos connaissances, les efforts à accomplir pour lutter contre la bilharziose doivent s'orienter simultanément dans quatre directions, à savoir : l'amélioration des conditions sanitaires de l'environnement, la lutte contre les vecteurs, le traitement médical de l'homme, et l'éducation dans le domaine de la santé.

L'amélioration des conditions sanitaires de l'environnement. En Egypte, et plus généralement dans les pays en voie de développement, les canaux, les drains et les autres unités hydrologiques voient leur eau utilisée directement ou indirectement de diverses manières : pour la boisson, la toilette, la lessive, les ablutions rituelles et malheureusement aussi dans de nombreux cas pour le rejet des excréments. En outre, les agriculteurs, qui constituent la grande majorité de la population de ces pays, entrent nécessairement en contact, presque quotidiennement, avec l'eau des canaux du fait de la nature de leur travail.

L'amélioration des conditions sanitaires de l'environnement peut être réalisée de

diverses façons : (1) prévention de la mise en contact avec les cercaires ; (2) prévention de la pollution par l'homme (construction de latrines convenables dans les maisons du village) ; (3) faire en sorte que les villages nouveaux soient entièrement équipés d'installations sanitaires, et situés à une distance minimum de 500 mètres, ou même 1 000 mètres si possible, des voies d'eau existantes ; et localiser les nouvelles voies d'eau à la même distance des villages existants équipés de la même façon.

Lutte contre les vecteurs. La croissance et la multiplication des escargots peuvent être entravées par une altération de leur habitat, grâce aux moyens suivants : (1) irrigation par aspersion (ce qui résout le problème définitivement ; le coût de l'opération est très élevé, mais il permet un accroissement de la superficie cultivée de 40%) ; (2) obturation des voies d'eau inutiles ; (3) dessèchement ; (4) accroissement de la vitesse d'écoulement ; et (5) modification du niveau de l'eau.

Il convient de planifier les systèmes d'irrigation en respectant certaines règles : élimination des extrémités aveugles ; revêtement des canaux ; recouvrement des canaux ; évacuation des dépôts de limons ; élimination des mauvaises herbes, des algues et de la végétation ; remplacement des canaux et chenaux par des tuyaux ; application dans la mesure du possible d'une irrigation de type ascendant, plutôt que par écoulement libre.

On avait estimé que l'application de molluscicides constituerait la technique la meilleure pour lutter contre la bilharziose. Mais le repeuplement des cours d'eau par les escargots n'exige en général qu'une durée relativement brève, quel que soit le produit employé ou la méthode utilisée. Par conséquent, il est encore nécessaire d'effectuer beaucoup de recherches sur les divers aspects de la lutte chimique contre les escargots, en particulier pour ce qui concerne la réduction des coûts et la simplification des méthodes d'application.

Les barrières physiques et chimiques, intermittentes ou continues, que constituent de petites doses de molluscicides contribuent à arrêter ou à retarder le repeuplement des voies d'eau par les escargots.

Le traitement médical de l'homme. Les recherches progressent actuellement de façon satisfaisante dans le domaine de la mise au point de médicaments efficaces et peu onéreux, à prendre en une seule dose, de préférence par voie buccale, et dotés d'un effet curatif, ou, pour le moins, prolongé. Il conviendrait d'appliquer un traitement de masse en priorité aux

1. Résumé d'un texte préparé par le Dr Shafika Nasser, de la Faculté de Médecine de l'Université du Caire.

enfants et aux adolescents qui sont les plus exposés à l'infestation, et aux communautés vivant dans des conditions d'hygiène précaires.

L'éducation dans le domaine de la santé. L'éducation dans le domaine de la santé, qui fait partie de "l'éducation de base" est une mesure à longue échéance qui constituera sans aucun doute une direction d'attaque extrêmement importante. La mise en oeuvre de moyens de recherche et de formation en faveur des méthodes et des techniques d'éducation sanitaire devrait bénéficier d'une priorité élevée. Il faut informer le public des dangers de la bilharziose en ayant recours à toutes les méthodes possibles.

Il convient que la population prenne conscience des faits essentiels que sont le mode de transmission de la maladie et la manière d'éviter la contamination.

Il convient que l'éducation dans le domaine de la santé soit un des éléments du programme des études de toutes les écoles et de tous les collèges, et qu'elle fasse partie des cours de formation dans les camps militaires. La réussite aux examens portant sur l'éducation sanitaire devait être le préalable indispensable à l'obtention d'un diplôme d'enseignement supérieur. Une modification des habitudes de vie d'une communauté peut être à l'origine d'une réussite permanente dans la lutte contre la bilharziose.

METHODE ECOLOGIQUE ET METHODE DE L'HABITAT DANS LA LUTTE CONTRE LA BILHARZIOSE¹

La transmission de la bilharziose dépend de trois faits qui interviennent dans un même environnement aquatique limité : la présence d'oeufs de schistosome provenant d'excréments humains (ou de mammifères dans certains cas), la présence et la persistance d'hôtes intermédiaires déterminés, les escargots, et l'immersion de la peau de l'homme dans l'eau lorsque le cycle extrinsèque s'est accompli.

La lutte contre la bilharziose peut être réalisée en rompant en un point quelconque le cycle de transmission. Dans la pratique, au cours des deux dernières décades, on a surtout visé la destruction chimique des escargots et la destruction chimio-thérapeuthique des vers adultes chez l'homme.

Jusqu'à une époque récente, la lutte contre le schistosome a rarement fait appel aux approches orientées vers l'environnement. Les méthodes écologiques couvrent une large gamme d'habitats et de comportements humains associés dont les modifications ne sont pas souvent appréciées à leur juste valeur. Elles sont très étroitement liées les unes aux autres, et il se peut que les modifications écologiques ne suffisent pas à réduire la bilharziose si elles ne sont pas associées, par exemple, à l'éducation sanitaire (et vice versa). Les domaines à prendre en considération pour ce qui concerne les méthodes de la lutte écologique sont en premier lieu : l'altération physique des habitats à escargots, l'utilisation d'autres organismes, et l'amélioration de la situation sanitaire de l'environnement. En d'autres termes, les méthodes qui agissent sur l'environnement peuvent viser trois points particuliers de la transmission : réduire le nombre des hôtes intermédiaires grâce à une modification de l'habitat, réduire les contacts potentiellement dangereux de l'homme avec l'eau, et prévenir l'accès des oeufs de schistosome aux habitats à escargots.

La réduction du nombre des hôtes intermédiaires (diminution des escargots) est souvent obtenue par des molluscicides, mais cette technique est onéreuse. Il a été estimé que le coût annuel d'une application efficace en Egypte dans le cas d'une irrigation pérenne se situerait au voisinage de 1,35 à 2,25 dollars US par acre irrigué au minimum. De telles dépenses, importantes et réitérées, ne sont pas toujours justifiées, ni défendables dans une optique économique. Cependant, il est extrêmement difficile de transformer effectivement l'écologie d'un habitat à escargots au point de le rendre inacceptable, car il faut disposer de données sur les exigences écologiques de l'escargot. Lorsqu'il s'agit de modifier un habitat aquatique quel qu'il soit, la suppression de l'eau est la mesure la plus efficace. En quelques endroits, par exemple à Musayeb en Irak, on ne trouve pas d'escargots dans la zone irriguée

et ce fait est attribué au mode de gestion de l'eau. Dans ce cas, des quantités d'eau connues sont distribuées à chaque exploitation pour 5 jours en 24 heures, et l'apport s'arrête pour les 5 jours qui suivent. Le revêtement des canaux d'irrigation constitue rarement une solution radicale de la lutte contre la bilharziose, mais il tend à réduire la prolifération des escargots, et à minimiser les contacts avec l'homme.

Pour réduire les contacts entre l'homme et l'eau contaminée, il faut disposer de plus d'un robinet domestique si l'on souhaite réduire la dissémination de la bilharziose. Il peut aussi s'avérer nécessaire d'enclore les voies d'eau ou les mares contaminées, afin d'interdire aux enfants de s'y baigner et aux femmes d'y laver des vêtements. L'eau amenée par canalisations dans chacune des maisons est la solution la meilleure, mais elle est coûteuse. Lorsque l'installation d'un peuplement nouveau est décidée, les maisons doivent être implantées loin des canaux et des drains, et le peuplement sera pourvu d'une adduction d'eau domestique saine, dont la maintenance sera assurée.

Les méthodes qui agissent sur l'environnement en visant à réduire l'accès des oeufs de schistosome à l'eau ne sont rien d'autre que des pratiques élémentaires d'amélioration de la situation sanitaire. Néanmoins, l'amélioration de la situation sanitaire n'est une approche réellement prometteuse que dans les civilisations où les excréments humains sont une ressource de valeur. Une méthode qui semble efficace est celle du stockage sans risque de fuites jusqu'au stade de la destruction des oeufs de schistosome par l'ammoniaque.

En règle générale, l'utilisation combinée de méthodes de culture améliorées, du drainage, et du contrôle des eaux d'irrigation, a conduit à des résultats prometteurs, et, dans les secteurs ainsi traités, la diminution de la population des escargots a, en moyenne, dépassé 95%.

L'une des approches écologiques de la lutte contre le schistosome est la lutte biologique : c'est l'utilisation d'autres organismes pour attaquer la phase escargot dans la transmission. Elle peut être réalisée par prédation, compétition ou parasitisme. Les expériences sont encourageantes, mais, dans la pratique, les applications ont révélé une spécificité faible des agents biologiques décrits. Il sera encore nécessaire d'effectuer des recherches de longue durée sur ce point.

Il y a peu de projets-pilotes dans lesquels les méthodes écologiques aient été utilisées et évaluées sérieusement par comparaison avec d'autres approches, et en comparant diverses communautés, la réussite étant évaluée en se basant sur l'existence de la

1. Résumé d'un texte préparé par le Dr D.J. Bradley et le Dr G. Webb, de l'Institut Ross d'hygiène et de médecine tropicale, Ecole d'hygiène et de médecine tropicale de Londres.

bilharziose chez l'homme. Les évaluations les plus proches d'un résultat positif sont celles portant sur le travail récent accompli à Sainte Lucie, et sur le premier projet Leyte consacré à *Schistosoma japonicum*. D'autres programmes semblent avoir remporté un succès appréciable, mais sans qu'il ait été possible de les contrôler à partir de données chiffrées rigoureuses, par exemple en Chine, en Iran, au Japon, en Rhodésie, en Afrique du Sud et au Vénézuela.

Un cadre pour les décisions. Nous n'avons pas proposé l'application de nombreuses méthodes écologiques expérimentales de lutte contre la schistosomiase, parce qu'il ne nous semble pas qu'il faille leur accorder une priorité élevée. Il convient d'avoir une grande largeur de vue afin de s'adapter aux circonstances. Il ne serait pas sérieux de tenter une modification du type d'habitat qui exigerait beaucoup de travail et serait basée sur l'effort personnel dans un pays disposant d'un service de lutte contre les vecteurs à effectif réduit mais compétent et ne comportant pas de personnel local ; inversement, il serait tout aussi peu satisfaisant de tenter d'aménager les canaux d'irrigation grâce à un revêtement de ciment dans un pays très pauvre disposant d'un surplus de main-d'oeuvre. Il conviendrait que la succession dans le temps des profits attendus soit bien claire, et que, à la différence de ce qui se passe dans les premiers stades des projets d'éradication des maladies, on prenne soin de ne pas "surestimer" les modifications d'habitat. Les améliorations de la situation sanitaire et de l'adduction d'eau devraient émaner dans toute la mesure du possible de l'intérieur de la communauté, alors que les modifications de l'habitat des escargots devraient faire partie des techniques agricoles.

D'une façon générale, les méthodes écologiques constituent l'espérance à long terme de la lutte contre la bilharziose, et il convient de les appliquer constamment, et souvent en association avec d'autres techniques agissant plus rapidement. L'apport concomitant des mesures prises dans le domaine de l'éducation est un élément important, et l'entretien des ouvrages quels qu'ils soient a un caractère crucial.

Note sur les besoins en matière de recherche.
Les besoins principaux dans le domaine de la recherche sont les suivants :

- (1) Accroître notre compréhension de l'épidémiologie écologique de la transmission du schistosome jusqu'à ce que la

prévision soit utile. C'est rarement le cas jusqu'à présent : qui aurait songé que *B. truncatus rohlfsi* envahirait le lac Volta ? Nos connaissances sur les espèces introduites d'escargots qui déplaceraient ou diminueraient les hôtes du schistosome sont très limitées. Ce travail nécessite (a) un accroissement continu de nos connaissances de base, mais aussi (b) l'appoint solide de toutes les idées nouvelles et avancées sur l'écologie des mollusques, car nos connaissances sont très insuffisantes sur ce point.

- (2) Davantage d'études empiriques sur l'effet des mesures de lutte écologique ou intervenant sur l'environnement, non seulement par principe, mais aussi parce que l'absence d'études de ce genre tend à dissuader la population de s'y intéresser sérieusement.
- (3) Une analyse plus approfondie des circonstances sociales dans lesquelles les méthodes axées sur l'environnement peuvent être appliquées, et également des appoints culturels nécessaires pour parvenir à la réussite.
- (4) La mise au point (rarement par la recherche) de méthodes peu onéreuses permettant de réaliser des modifications d'environnement dans les domaines de l'irrigation, de l'adduction d'eau, et de l'amélioration de la situation sanitaire, en particulier là où il est possible d'utiliser des matériaux locaux. Il est nécessaire de développer les approches faisant appel à l'effort personnel lorsque le milieu social le permet.

Il apparaît désormais que les besoins en matière de recherche sont moins importants que la formation d'équipes et la mise sur pied de programmes pratiques dans les domaines où les mesures axées sur l'environnement seront bénéfiques pour la santé, dans la mesure où elles permettront de lutter à la fois contre la bilharziose et les autres maladies.

QUELQUES ASPECTS METEOROLOGIQUES DE LA RECHERCHE ET DE LA FORMATION EN ECOLOGIE
SOUS L'ASPECT PLUS PARTICULIER DE L'IRRIGATION DANS LES ZONES ARIDES ET SEMI-ARIDES¹

L'atmosphère constitue une part importante de tout système quelle que soit sa dimension. Les méthodes qui permettent d'étudier les écosystèmes en relation avec le temps et avec le climat varient selon leur dimension.

Dans le cas des écosystèmes de grande dimension, on étudie le macroclimat d'une superficie étendue en utilisant les éléments climatiques des réseaux de stations des services météorologiques nationaux (distances de 10 à 100 km) en relation avec les conditions générales de la végétation, et en ayant recours à différentes méthodes statistiques. Dans le cas des zones arides et semi-arides, les principaux éléments qui commandent l'aridité sont les précipitations et l'évapotranspiration. Pour les précipitations, on a recours aux paramètres suivants : variabilité, occurrence saisonnière, et durée des périodes de pluviosité fiable, en plus de la valeur de la moyenne. Les températures moyennes et extrêmes sont également utiles. Pour étudier les écosystèmes à l'échelle régionale, un certain nombre de recherches sont souhaitables : durée de la saison de végétation en relation avec l'ensemble radiation-développement de la culture, au cours des diverses périodes des saisons végétatives ; importance de l'évapotranspiration et du bilan hydrique au cours de diverses périodes. On trouve des exemples d'application de recherches de ce genre dans les études suivantes, auxquelles ont participé l'OMM, l'Unesco et la FAO :

1. Brichambaut et Wallen (1963). *Etude de l'agro-climatologie des zones semi-arides et arides du Proche-Orient*. Note technique n° 56 de l'OMM.
2. Cochemé et Franquin (1967). *Etude agro-climatologique d'une région semi-aride d'Afrique au Sud du Sahara*. Note technique n° 86 de l'OMM.

Dans le cas des écosystèmes de petite dimension, par exemple un champ cultivé, il est possible d'étudier les processus atmosphériques à petite échelle qui déterminent le microclimat d'un système. Le microclimat est gouverné par les courants turbulents horizontaux et verticaux à petite échelle qui prennent naissance dans la couche limite entre la terre et l'atmosphère. On peut obtenir une image convenable du microclimat en étudiant la variation diurne, mensuelle et annuelle de la turbulence, du bilan énergétique et du bilan hydrique. Malheureusement, il n'est pas possible de déduire ces données des observations faites par les stations des réseaux des services

météorologiques. Dans une optique micrométéorologique, il est nécessaire d'avoir recours à des instruments plus sophistiqués et plus coûteux. Les mesures de ce type sont réalisées dans des stations de recherches spéciales, convenablement équipées et dotées de personnel compétent, en vue d'étudier les relations entre les facteurs micrométéorologiques et les processus biologiques. La radiation nette est un élément important, car elle permet d'obtenir l'énergie disponible pour l'évapotranspiration. La radiation étant connue, il est important de savoir comment l'énergie disponible se répartit entre chaleur sensible (qui chauffe l'air) et chaleur latente (évapotranspiration). Ceci exige des observations de température et d'humidité à divers niveaux, réalisées dans des stations de recherches comme ci-dessus mentionné. Il est également important de mesurer la vitesse du vent, la température du sol et l'humidité du sol. Grâce à ces observations, les microconditions sont déterminées en utilisant deux approches : l'équation du bilan d'énergie, et la théorie de la turbulence. Dans les stations de recherches ou des études de ce genre sont réalisées, des observations écologiques et phénologiques simples sont souvent utiles pour relier les conditions micrométéorologiques et les conditions de la végétation, mais, pour des analyses détaillées, des mesures physiologiques sont nécessaires.

Pour ce qui concerne les climats à l'échelle intermédiaire ou locale, qui se situent entre le macro et le microclimat, il est nécessaire d'installer pour un temps limité des réseaux spéciaux ; il est également nécessaire d'avoir recours à des observations écologiques et phénologiques pour déterminer les relations recherchées.

Il existe des interrelations entre les conditions climatiques aux différentes échelles. Certains chercheurs, tels Thornthwaite et Pennan, ont tenté de mettre au point des formules approchées, dans lesquelles l'évapotranspiration potentielle, paramètre clé du microclimat, est donnée en fonction de paramètres météorologiques simples fournis par les stations opérationnelles des services météorologiques. Le classement des climats et des macroclimats locaux, sur la base de l'évapotranspiration est très utile, et peut être appliqué à des problèmes écologiques, car l'évapotranspiration joue un rôle très important dans les processus biologiques et hydrologiques. Ceci est valable dans le cas des climats arides et semi-arides.

Pour ce qui concerne l'irrigation, ce n'est pas seulement l'évapotranspiration

1. D'après Wallen (1974). *Etude rapide de la météorologie dans ses relations avec la biosphère*. Rapport spécial n° 4 de l'OMM sur l'environnement.

tentielle qui est importante, mais également l'évapotranspiration réelle. Pour ce qui a trait aux modifications de climat induites par l'irrigation, le rapport de Bowen (rapport de la chaleur sensible à la chaleur latente) s'est avéré utile, car il varie de façon appréciable entre zones irriguées et zones non irriguées.

Il est clair que les stations agro-météorologiques ont besoin d'observateurs compétents, d'agro-météorologistes et de micrométéorologistes qui effectuent les mesures dans des stations agro-météorologiques spéciales, et de spécialistes en agriculture qui participent à des opérations de ce genre.